

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Локомотиви»

В авторській редакції

ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Методичні рекомендації до лабораторних робіт

Дніпро
2022

УДК 629.424
Д 23

Укладачі:

Б. Є. Боднар, М. І. Мартишевський, Д. В. Бобирь

Рекомендовано до друку МКФ ТІ (протокол № 5 від 22.04.2022)
Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 571 від 15.11.2022)

Двигуни внутрішнього згоряння [Текст] : методичні рекомендації до лабораторних робіт / уклад. Б. Є. Боднар, М. І. Мартишевський, Д. В. Бобирь ; Укр. держ. ун-т. науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2022. – 42 с.

Методичні рекомендації до лабораторних робіт містять теоретичний матеріал, порядок та методику виконання лабораторних робіт.

Рис. 12. Табл. 8. Бібліогр.: 4. назв.

© Боднар Б. Є., Мартишевський М. І.,
Бобирь Д. В. укладання, 2022

© Українс. держав. унів.-т науки і
технол., оригінал-макет, 2022

Зміст

Передмова	3
Лабораторна робота 1 ВИЗНАЧЕННЯ ПОРЯДКУ РОБОТИ ЦИЛІНДРІВ І КУТА ЗСУВУ ФАЗ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ	6
Лабораторна робота 2 ПОБУДОВА КРУГОВОЇ ДІАГРАМИ ГАЗОРОЗПОДІЛУ ДИЗЕЛЯ Д50	10
Лабораторна робота 3 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІЖОГО ЗАРЯДУ В ПРОЦЕСІ НАПОВНЕННЯ ТА СТИСНЕННЯ.....	14
Лабораторна робота 4 ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ТИСКУ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДИЗЕЛЯ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ	19
Лабораторна робота 5 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ.....	23
Лабораторна робота 6 ВИЗНАЧЕННЯ ІНДИКАТОРНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ.....	31
Лабораторна робота 7 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ.....	35
Лабораторна робота 8 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ ...	37
Бібліографічний список	41

Передмова

Метою та завданням навчальної дисципліни є вивчення основних двигунів внутрішнього згорання (дизелів), задіяних в локомотивному господарстві, принципів розрахунку, конструювання та удосконалення систем такого виду.

Метою освоєння навчальної дисципліни «Двигуни внутрішнього згорання» є формування компетенцій відповідно до освітньо-професійної програми та придбання ними таких компетентностей:

- прагнення до збереження навколишнього середовища;
- здатність розрізняти типи та серії локомотивів, їх системи, агрегати та вузли з визначенням вимог до їхньої конструкції, параметрів та характеристик;
- здатність розробляти та впроваджувати технологічні процеси, технологічне устаткування і технологічне оснащення, засоби автоматизації та механізації при виробництві, експлуатації, ремонті та обслуговуванні локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів;
- здатність розробляти, оформлювати та впроваджувати у виробництво документацію щодо технологічних процесів будівництва, експлуатації, ремо-

нту та обслуговування локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів та інших інструктивних вказівок, правил та методик;

- здатність розробляти з урахуванням безпечних умов використання, міцнісних, естетичних і економічних параметрів технічні завдання і технічні умови на проектування локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів; складати плани розміщення устаткування, технічного оснащення та організації робочих місць; розраховувати завантаження устаткування та показники якості продукції;

- здатність аналізувати технологічні процеси виробництва й ремонту локомотивів як об'єкта управління, застосовувати експертні оцінки для вироблення управлінських рішень щодо подальшого функціонування підприємства з оцінкою якості його продукції;

- здатність організовувати експлуатацію локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів, з обґрунтуванням структури управління експлуатацією, технічного обслуговування та ремонту;

- здатність аналізувати техніко-економічні та експлуатаційні показники локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів з метою виявлення та усунення негативних чинників та підвищення ефективності виробничого процесу.

За робочою програмою дисципліни видання сприяє досягненню таких результатів навчання:

- ідентифікувати типи та серії локомотивів, їх системи, агрегати, вузли та вимоги до їх характеристик та параметрів;

- проводити випробування та визначати основні стендові та експлуатаційні техніко-економічні характеристики ДВЗ;

- розраховувати техніко-економічні та експлуатаційні показники локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів.

Основна мета методичних рекомендацій – вивчити особливості конструкції і роботи двигунів внутрішнього згоряння і їх системи живлення, а також засвоїти на практиці методи та приклади визначення їх технічного стану та техніко-економічних показників роботи.

Перед виконанням лабораторних робіт студенти повинні вивчити правила техніки безпеки на робочому місці.

Перед початком роботи механік (лаборант) перевіряє стан стенду, а викладач перевіряє знання студентів правил техніки безпеки в умовах роботи (випробувального стенду).

Під час проведення випробувань необхідно керуватися такими правилами техніки безпеки.

1. Категорично забороняється перебувати в площинах гойдання шатунів та обертання маховика та сполучних муфт або колекторів за наявності оголо-
ро-ж.

2. Не торкатися обертових і гарячих деталей двигуна.

3. У разі виникнення ненормальних стуків і шумів у двигуні, гальмі або в сполучній муфті двигун за вказівкою керівника переводиться на низьку час-

тоту обертання колінчастого валу двигуна, зменшення подачі палива з одночасно плавним зняттям навантаження. Після цього двигун треба зупинити для з'ясування причин і усунення несправності.

4. В аварійних випадках та у разі виникнення пожежі двигун повинен бути зупинений негайно навіть під навантаженням. Зупинка дизеля зазвичай проводиться виключенням подачі палива. Однак у разі виникнення несправностей у системі вимкнення палива, або під час роботи на мастилі при вимкненій подачі палива найбільш дійсним засобом зупинки є припинення подачі в двигун повітря. Зупинка двигуна зазвичай досягається вимкненням системи запалювання. Однак внаслідок перегріву ізоляторів запальних свічок можлива робота двигуна на режимах калільного запалення та при вимкненому електричному запаленні. В цьому випадку необхідно повністю закрити дросельну заслінку і, якщо можливо, різко навантажити двигун до повної зупинки.

5. Усі регулювання на двигуні, передбачені програмою випробувань, допускається виконувати лише у присутності викладача.

6. Під час проведення випробувань студенти повинні перебувати на своїх робочих місцях та можуть відходити лише на короткий час для занесення до протоколу результатів вимірювань.

7. Для забезпечення безпеки двигуна не слід допускати його перегріву і падіння тиску масла нижче допустимого. У цих випадках необхідно двигун розвантажити та перевести на режим холостого ходу при малій частоті обертання колінчастого валу.

8. Категорично забороняється: накидати на ходу приводні ремені вентилятора, генераторів тощо; курити, працювати з паяльними лампами, користуватися факелами у приміщенні лабораторії; проводити випробування на установці, яка не має надійного заземлення; працювати на установці, що не має захисних кожухів у обертаю

9. Необхідно суворо дотримуватись правил поведінки з отруйними речовинами: забороняється мити руки в бензині, засмоктувати бензин та дизельне паливо ротом у перепускний шланг, торкатися руками, змоченими в бензині до очей, носа та рота.

10. Необхідно своєчасно вмикати систему вентиляції лабораторії.

Звіт з лабораторних робіт необхідно виконувати з урахуванням таких загальних вимог:

- звіт виконується на стандартних аркушах паперу (210×297 мм);
- звіт повинен бути виконаний акуратним розбірливим почерком без скорочення слів (крім традиційно прийнятих);
- розрахункові формули необхідно спочатку навести в загальному вигляді з використанням буквених символів, дати розшифровку буквених символів, проставляючи одиниці виміру для величин, що мають вимір, а потім підставляти в формулу числові значення величин;

- при використанні у розрахунках значень параметрів, прийнятих з довідкових матеріалів, слід посилається на джерело інформації; літературу, яка була використана під час формування звіту, необхідно навести в кінці роботи;
- графіки, схеми, ескізи, креслення вшиваються поміж аркушами звіту після першого згадування в тексті;
- аркуші, ілюстрації, таблиці та графіки повинні бути обов'язково пронумеровані.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПОРЯДКУ РОБОТИ ЦИЛІНДРІВ І КУТА ЗСУВУ ФАЗ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ

Мета роботи: ознайомлення з будовою колінчастих валів двигунів, набуття навичок аналізу схем порядку роботи циліндрів.

Теоретичні відомості

Колінчастий вал є однією з найбільш відповідальних, напружених і дорогих деталей двигуна. У двигунах використовуються сталеві вали, виготовлені ковкою або штамповкою, а також чавунні, одержані литвом.

Колінчастий вал сприймає періодичні навантаження від тиску газів і сил інерції, ще викликають крутні, а також поперечні й осьові коливання, що вигинають вал, викликають спрацювання шийок і явища втоми металу в небезпечних перетинах.

Вал складається з корінних (опорних) і шатунних шийок, передньої і задньої частини, противаг.

З одного боку вала через фланець здійснюється відбір потужності, а другий кінець зазвичай служить для монтажу шестерень приводу насосів, а також антивібратора або маховика.

Розміри вала визначаються кількістю і діаметром циліндрів та товщиною стінок гільзи. Колінчасті вали транспортних дизелів звичайно мають число опор, що перевищує на одиницю число колін. Колінчасті вали мають канали для підводу мастила до корінних шатунних підшипників.

Конфігурація колінчастого вала двигуна проектується з урахуванням його функціонального призначення та необхідних габаритів на базі динамічного розрахунку. Для зниження нерівномірності зміни крутного моменту, поліпшення урівноваженості і зниження крутильних коливань у багатоциліндрових двигунах кривошипи колінчастого вала розташовують під певними кутами, що забезпечують найбільш рівномірну роботу двигуна.

При цьому намагаються також, щоб послідовно працюючі циліндри, по можливості, не були розташовані поруч, тому що при цьому збільшується навантаження на відповідні корінні підшипники колінчастого вала, знижую-

чи при цьому їхній ресурс. У комбінованих двигунах взаємне розташування колін вала може визначатися також прагненням ефективніше використовувати енергію випускних газів.

Таким чином, для кожного двигуна, у залежності від його конструкції, числа циліндрів і тактності, встановлюють одну або декілька найбільш раціональних конфігурацій колінчастого вала й один або декілька найбільш раціональних порядків роботи циліндрів.

Порядок роботи циліндрів деяких однорядних чотиритактних і двотактних багатциліндрових двигунів приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1

Характеристики роботи однорядних двигунів

Кількість циліндрів	Тактність двигуна	Кут між кривошипними, град.	Кут між спалахами, град.	Можливий порядок роботи циліндрів
6	4	120	120	1-5-3-6-2-4 1-4-2-6-3-5 1-3-5-6-4-2
10	2	36	36	1-10-2-8-4-6-5-7-3-9

Під час розгляду робочих циклів багатциліндрових двигунів приймають:

- напрямок обертання колінчастого вала – за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на вал з боку кінця основного відбору потужності;
- порядок нумерації циліндрів – від вільного кінця колінчастого валу.

Як приклад розглянемо колінчастий вал шестициліндрового чотиритактного двигуна, схема якого приведена на рис. 1.

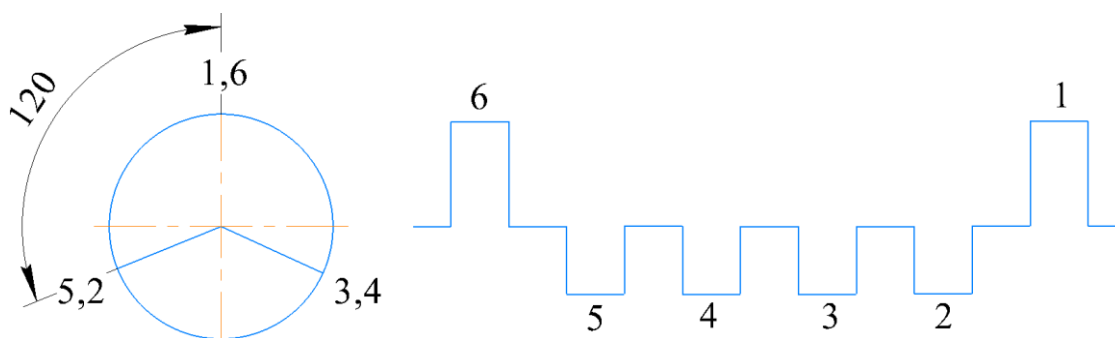


Рис. 1. Схема колінчастого вала шестициліндрового чотиритактного двигуна з порядком роботи 1-5-3-6-2-4

Коліно вала кожного циліндра багатциліндрового двигуна навантажене силами тиску газів у циліндрі, силами інерції шатунно-поршневої групи, а також крутним моментом, який складається з двох складових: одна з них, утворювана тангенціальною силою, що діє на кривошип даного циліндра, за-

лежить тільки від кута повороту вала, друга – викликана крутним моментом від інших циліндрів і залежить від числа циліндрів і порядку їхньої роботи.

Таким чином, навантаження кожного коліна вала утворюється досить складним шляхом і може бути виявлено тільки після деяких попередніх розрахунків.

Для наочного уявлення одночасної роботи циліндрів необхідно побудувати схему (рис. 2), на якій по горизонтальній осі відкласти кути повороту кривошипів циліндрів від початку циклу I-го циліндра.

1 цил.	1. Впуск		2. Стиснення		3. Розширення		4. Випуск		
2 цил.	2		3		4		1		2
3 цил.	3	4		1		2		3	
4 цил.	1	2		3		4		1	
5 цил.	4		1		2		3		4
6 цил.	3		4		1		2		

Рис. 2. Схема роботи циліндрів шестициліндрового 4-тактного двигуна з порядком роботи 1-5-3-6-2-4:

1 – впуск; 2 – стиснення; 3 – розширення; 4 – випуск

На відрізок прямої, що відповідає 720° , тобто тривалості циклу 4-тактного двигуна, необхідно побудувати прямокутник і горизонтальними прямими розділити його по висоті на шість смужок (прямокутників) по числу циліндрів. У верхній смужці, що відповідає першому циліндру, наносять схему (послідовність) здійснення робочого циклу в даному циліндрі.

Друга смужка показує послідовність тактів у другому циліндрі. Відповідно до положення кривошипа і порядку роботи циліндрів робочий хід у ньому почнеться через 480° . Тому межу прямокутника, що представляє такт впуску в цьому циліндрі, необхідно відкласти від ординати, що відповідає куту повороту вала, рівному 480° . Потім відкладають межі прямокутників, що представляють такт стиску, і т. д. Аналогічно поступають при визначенні робочих циклів в інших циліндрах.

Побудувавши схему, одержуємо уявлення про одночасно діючі на різні коліна вала сили.

Так, наприклад, аналіз схем, наведених на рис. 1 і 2 показує, що у разі знаходження кривошипа в першому циліндрі в положенні 0° від початку циклу, кривошип другого циліндра знаходиться в положенні 240° ; третього – 480° ; четвертого – 120° ; п'ятого – 600° ; шостого – 360° , а спалахи в сусідніх циліндрах відбуваються при повороті колінчатого вала на кут:

- у першому і другому – 240° ;
- у другому і третьому – 240° ;
- у третьому та четвертому – 240° ;
- у четвертому і п'ятому – 240° ;
- у п'ятому і шостому – 240° .

Такі кути між спалахами в двох розташованих поруч циліндрах призводять до того, що шийки 1-2, 2-3, 4-5 і 5-6 знаходяться в одних умовах навантаження, а шийка 3-4 в інших.

Шийка 0-1 між першим циліндром знаходиться під впливом сил тільки першого циліндра і шийка 6-0 – під впливом сил шостого циліндра.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з загальною конструкцією колінчатих валів дизелів типу Д50 та Д100, записати в звіт їх дані за формою табл. 2.

Таблиця 2

Основні технічні дані колінчатих валів

Тип дизеля	Матеріал колінчастого вала	Кількість шатунних шийок	Кількість корінних шийок	Кут між кривошипами в плані

2. Відкрити індикаторні крани всіх циліндрів і люки картера. Вставити валоповоротний важіль у гніздо колінчатого вала.

3. Провернути колінчатий вал у напрямку обертання до положення підходу поршня першого циліндра до внутрішньої мертвої точки (ВМТ), що визначається візуально, за кутомірною шкалою або через оглядовий люк картера дизеля при досягненні шатуном вертикального положення.

4. При цьому необхідно слідкувати через люк в корпусі паливного насоса високого тиску першого циліндра за положенням риски штовхача. Штовхач повинен почати рухатись безпосередньо перед ВМТ. Якщо штовхач при досягненні поршня ВМТ не рухався, слід зробити ще один оберт колінчатого вала. Таким чином поршень першого циліндра має бути встановлений в положення ВМТ початку робочого ходу. На кутомірній шкалі цьому положенню відповідає 0° .

5. Продовжувати обертати колінчатий вал у напрямку його обертання, одночасно слідкуючи за положенням поршнів наступних циліндрів та штовхачів паливних насосів високого тиску. При зрушенні штовхача та вертикальному положенні шатуна поршень встановлено в положення ВМТ початку робочого ходу.

6. Зафіксувати значення кута повороту на кутомірній шкалі.

7. Провести спостереження по всіх циліндрах. Визначити порядок роботи циліндрів. Накреслити схему колінчатого вала та схему роботи дизеля.

8. Провести визначення порядку роботи циліндрів дизеля типу 10Д100, накреслити необхідні схеми.

9. Зробити висновки.

Оформлення звіту по роботі

Звіт повинний містити: мету виконання лабораторної роботи, стислий її опис, таблицю результатів, схеми колінчатих валів, схеми роботи дизелів та висновки.

Контрольні запитання та завдання

1. Будова колінчастого вала.
2. Яким чином визначаються напрямок обертання та порядок нумерації циліндрів?
3. Яким чином визначається порядок роботи циліндрів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ПОБУДОВА КРУГОВОЇ ДІАГРАМИ ГАЗОРОЗПОДІЛУ ДИЗЕЛЯ Д50

Мета роботи: ознайомлення з будовою газорозподільного механізму дизеля та методикою побудови кругової діаграми газорозподілу.

Теоретичні відомості

У чотиритактному дизелі за два оберти колінчатого вала поршень чотири рази змінює напрямок руху між ВМТ і НМТ. При цьому в певному порядку здійснюються такти робочого циклу в циліндрах.

Газорозподільний механізм забезпечує необхідне чергування процесів робочого циклу в кожному циліндрі, а також необхідний порядок роботи циліндрів.

Механізм газорозподілу складається з впускних і випускних клапанів, їхнього приводу та розподільного вала, що одержує обертання від колінчастого вала дизеля. З метою збільшення прохідних перетинів клапани циліндрів одного призначення виконуються здвоєними. Відкриття клапанів відбувається під дією механізму приводу, а їхнє закриття здійснюється пружинами.

Виражені в градусах повороту колінчастого вала періоди відкриття та закриття впускних і випускних клапанів називають фазами газорозподілу. Їх умовне графічне зображення зветься круговою діаграмою газорозподілу. Додатково на кругових діаграмах зображують також початок і закінчення подачі палива.

Для позначення стану (положення) клапанів, а також органів паливоподачі, відведені спеціальні концентричні смуги (кільця). При відкритому положенні клапанів і дії органів паливоподачі відповідна частина смуги заштрихована. Крайнім верхнім і нижнім точкам на кожній смугі діаграми відповідає ВМТ і НМТ поршня в циліндрі. Стрілкою показується напрямок, в якому належить розглядати діаграму. Кругова діаграма газорозподілу чітко визначає межі процесів робочого циклу.

У точці s (рис. 3) із випередженням до ВМТ поршня, починається подача палива. З цього моменту з циліндрі відбуваються процеси спочатку згоряння палива, а потім розширення продуктів його згоряння.

У точці e з випередженням до НМТ поршня відкриваються випускні клапани і починається процес випуску. У точці d відкриваються впускні клапани і починається процес продувки циліндра, що закінчується після ВМТ у точці e' , коли випускні клапани закриваються.

У разі подальшого руху поршня до НМТ і відкритих впускних клапанів відбувається наповнення циліндра повітря. Воно закінчується після НМТ у точці d' , коли впускні клапани закриваються. З цього моменту всі клапани закриті і при русі поршня до ВМТ відбувається процес стискування до початку нового циклу в точці s .

У роботі проводиться перевірка фаз газорозподілу і побудова кругової діаграми дизеля Д50.

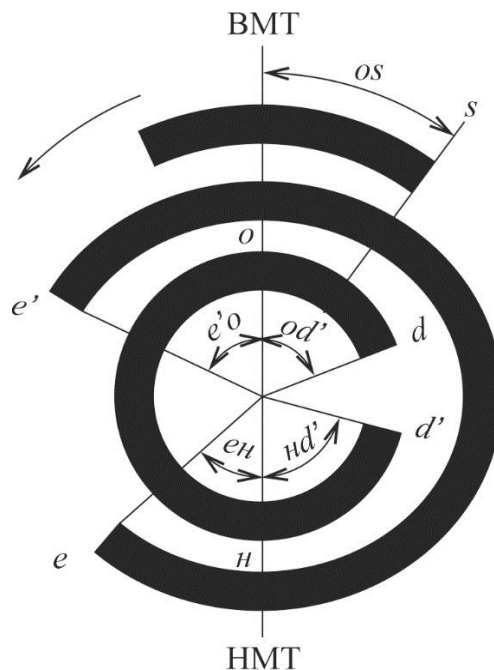


Рис. 3. Кругова діаграма газорозподілу дизеля Д50

Порядок виконання роботи

Визначення ВМТ поршня першого циліндра.

1. Зняти кришку клапанної коробки, відокремити нагнітальну і зливальну трубки форсунки, відвернути гайки кріплення, зняти фланець і вийняти форсунку. Встановити пристосування для визначення ВМТ (регляж) у форсунковий отвір циліндрової кришки і закріпити його. Закріпити індикатор у кронштейні регляжа.

2. Відкрити індикаторні крани всіх циліндрів і люки картера дизеля. Вставити валоповоротний важіль у гніздо колінчатого вала.

3. Провернути колінчатий вал в напрямку обертання до положення підходу поршня до ВМТ, що визначається за поворотом стрілки індикатора на 5-10 поділок шкали. Встановити шкалу індикатора нульовою міткою проти стрілки і помітити положення малої стрілки приладу. Поставити мітку 1 проти стрілки на кутомірній шкалі, нанесеній на ободі шківа приводу.

4. Повільно продовжувати обертання колінчатого вала в тому ж напрямку, спостерігаючи за положенням стрілки індикатора на регляжі. Спочатку стрілка обертається в одному напрямку, а потім змінює напрямок обертання. Необхідно припинити обертання колінчатого вала в той момент, коли стрілка індикатора повернулася в початкове (нульове) положення. Поставити мітку 2 проти стрілки на кутомірній шкалі. Відрізок дуги кутомірної шкали між мітками 1 і 2, поділити навпіл і поставити в цьому місці мітку 0, що відповідає ВМТ поршня першого циліндра.

Визначення кута випередження подачі палива для першого циліндра.

1. Відокремити трубку високого тиску від нагнітального штуцера секції паливного насоса високого тиску першого циліндра і встановити пристосування для визначення моменту подачі палива (моментоскоп).

2. За допомогою важеля заклинити рейки паливного насоса в положенні подачі палива. Включити паливний насос для створення тиску в паливному колекторі. Зняти люк на корпусі секції паливного насоса для спостереження за рухом штовхача.

3. Провернути колінчатий вал по ходу до появи палива в скляній трубці моментоскопа. Після цього провернути колінчатий вал у зворотному напрямку на $40...50^\circ$.

4. Провернути колінчатий вал по ходу обертання невеличкими поштовхами до початку пульсації палива в трубці моментоскопа. У цей момент обертання вала зупинити і поставити мітку S на кутомірній шкалі проти стрілки. Величина центрального кута, що відповідає відрізку дуги OS, відповідає куту випередження подачі палива для першого циліндра.

Визначення фази газорозподілу для першого циліндра.

1. Обертати колінчатий вал по ходу до моменту, коли ковпачок ударника випускного клапана не можна буде обертати рукою. Відзначити положення кутомірної шкали, що відповідає моменту відкриття випускних клапанів (мітка «е»). Поставити на кутомірній шкалі мітку НМТ поршня першого цилін-

дра (через 180° від мітки o). Відрізок дуги між мітками e і n відповідає куту випередження відкриття випускних клапанів.

2. Продовжувати обертання колінчатого вала до моменту, коли ковпачок ударника впускного клапанна втратить свободу обертання від руки. Відзначити положення кутомірної шкали, що відповідає моменту відкриття впускних клапанів (мітка d). Відрізок дуги між мітками d і o відповідає куту випередження відкриття впускних клапанів.

3. Обертати колінчатий вал до моменту, коли ковпачок ударника випускного клапана відновить свободу обертання від руки. Відзначити положення кутомірної шкали, що відповідає моменту закриття випускних клапанів (мітка e'). Відрізок дуги oe' відповідає куту запізнювання закриття випускних клапанів.

4. Продовжувати обертання колінчатого вала до моменту, коли ковпачок ударника впускного клапанна можливо буде повернути рукою. Відзначити положення кутомірної шкали, що відповідає моменту закриття впускних клапанів (мітка d'). Відрізок d' дуги між мітками d' і n відповідає куту запізнювання закриття впускних клапанів.

5. Записати результати виміру фаз газорозподілу за формою табл. 3. Накреслити фактичну кругову діаграму газорозподілу і позначити на ній характерні точки. Порівняти отриману діаграму з паспортною і зробити висновки.

Таблиця 3

Результати виміру фаз газорозподілу

Найменування		Початок відліку	Позначення дуги кутомірної шкали	Кути, що відповідають дугам	
				фактичні	паспортні
Кут випередження подачі палива		BMT	$s-o$		$29 \pm 1,5^\circ$
Впускні клапани	випередження відкриття (мітка d)	BMT	$d-o$		103°
	запізнення закриття (мітка d)	HMT	$d'-n$		76°
	період відкриття	—	$d-d'$		359°
Випускні клапани	випередження відкриття (мітка e)	HMT	$e-n$		58°
	запізнення закриття (мітка e')	BMT	$o-e'$		86°
	період відкриття	—	$e-e'$		324°

Оформлення звіту по роботі

Звіт повинний містити: мету роботи, стислий її опис, таблицю результатів вимірів, фактичну кругову діаграму газорозподілу та висновки.

Контрольні запитання та завдання

1. Будова газорозподільного механізму.
2. Кругова діаграма газорозподілу дизеля.
3. Яким чином визначається ВМТ поршня першого циліндра?
4. Яким чином визначається кут випередження подачі палива для першого циліндра?
5. Яким чином визначається фаза газорозподілу для першого циліндра?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІЖОГО ЗАРЯДУ В ПРОЦЕСІ НАПОВНЕННЯ ТА СТИСНЕННЯ

Мета роботи: набуття навиків вимірювання та розрахунку параметрів свіжого заряду дизеля.

Теоретичні відомості

Для надійної роботи двигуна необхідне якісне протікання процесів наповнення циліндра та стиснення свіжого заряду.

Процес наповнення відбувається циклічно, у чотиритактних двигунах практично впродовж такту впуску; у двотактних двигунах процес наповнення робочого циліндра проходить в зоні останньої третини ходу поршня біля НМТ за рахунок примусової подачі під тиском свіжого заряду. При цьому для заповнення циліндра свіжим зарядом використовується тільки частина всього об'єму циліндра, що відповідає корисній частині ходу поршня (без частки ходу поршня, втраченої до закриття вікон). Параметри свіжого заряду в кінці процесу наповнення звичайно встановлюють шляхом розрахунків з використанням дослідних даних.

Тиск в кінці процесу наповнення δ_a трохи нижче тиску повітря перед входом у двигун δ_s . Це зниження пояснюється аеродинамічними втратами за рахунок високої швидкості руху повітря по впускних органах дизеля в період усмоктування (до 70 м/с в прохідних перетинах впускних клапанів), а також неможливістю вирівнювання тисків через малий період часу наповнення.

У чотиритактних двигунів без наддуву δ_a складає (0,85...0,90) δ_s , з наддувом – (0,92...0,96) δ_s .

Температура свіжого заряду T_a в кінці наповнення

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T + \gamma T_a}{1 + \gamma}, \quad (3.1)$$

де T_s – температура повітря перед входом у дизель, К;

ΔT – підігрівання повітряного заряду від стінок циліндра; для дизелів Д50
 $\Delta T = (5 \dots 10)$ К;

γ – коефіцієнт залишкових газів;

$T_{\tilde{a}}$ – температура залишкових газів; для попередніх розрахунків температуру $T_{\tilde{a}}$ прийняти 800 К.

Коефіцієнт залишкових газів – це відношення кількості залишкових газів $M_{\tilde{a}}$ (у молях) до кількості свіжого заряду M_3 (у молях)

$$\gamma = \frac{M_{\tilde{a}}}{M_3}. \quad (3.2)$$

Коефіцієнт залишкових газів характеризує кількість газів, що залишилися в циліндрі після його очистки. Для дизелів Д50 – коефіцієнт $\gamma = 0,02$.

Критерієм оцінки процесу наповнення циліндра служить коефіцієнт наповнення η_i , що представляє собою відношення дійсної кількості свіжого заряду, що надійшов у циліндр, до кількості заряду, що могла б поміститися в робочому об'ємі V_h при параметрах $\check{\theta}_s$ і T_s повітря перед впускними органами двигуна.

Приймаючи припущення про однакову теплоємність свіжого заряду і продуктів згоряння для практичних розрахунків коефіцієнта наповнення можна застосувати наступну формулу:

$$\eta_i = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{\check{\theta}_a}{\check{\theta}_s} \cdot \frac{T_s}{T_a} \cdot \frac{1}{1 + \gamma}, \quad (3.3)$$

де ε – степінь стиснення;

$\check{\theta}_a$ – тиск в кінці наповнення, МПа;

$\check{\theta}_s$ – тиск повітря перед впускними органами, МПа;

T_a – температура в кінці наповнення, К;

T_s – температура повітря перед впускними органами, К.

Ступінь стиснення – відношення повного об'єму циліндра до об'єму камери згоряння

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}, \quad (3.4)$$

де V_a – повний об'єм циліндра, м³;

V_c – об'єм камери згоряння, м³.

Степінь стиснення повітря дизеля Д50 складає 12,5.

Під час визначення коефіцієнта наповнення тиск і температуру δ_s і T_s , перед впускними органами замінюють у двигунів:

– 4-тактних без наддуву – на тиск $\delta_0 = 0,1013$ МПа і температуру $T_0 = 293$ К;

– 4-тактних з наддувом і 2-тактних – на тиск δ_s и температуру T_s повітря наддування у впускному колекторі.

Коефіцієнт наповнення η_i дає оцінку конструкції і властивостям самого двигуна, без урахування умов навколишнього середовища.

Значення η_i залежать від тактності та швидкохідності двигуна, досконалості системи газорозподілу; для 4-тактних двигунів знаходяться в межах 0,7...0,9 (менші значення притаманні для швидкохідних двигунів). Параметри робочого тіла в кінці наповнення суттєво впливають на характеристики стиснення.

Стиснення свіжого заряду в циліндрі двигуна починається після закінчення наповнення і являє собою складний процес, що відбувається при безупинному зменшенні об'єму циліндра, частковому витіканню заряду через нещільності поршневих кілець та теплообміні між зарядом і стінками.

Процес стиснення є *політропним*, причому показник політропи стиснення в реальному циклі внаслідок зазначених причин змінний по всій лінії стиснення. Істинні значення показника політропи в процесі стиснення при нормальних умовах відповідно до дослідних даних змінюються в межах від 1,1 до 1,5.

Для спрощення розрахунків приймають, що процес стиснення – *політропний* з постійним середнім показником політропи n_1 , величина якого відповідає такій же роботі стиснення, як і при змінному показнику.

Розрахунковий тиск δ_c в кінці процесу стиснення

$$\delta_c = \delta_a \cdot \epsilon^{n_1}. \quad (3.5)$$

Тиск в циліндрі двигуна в кінці процесу стиснення може бути визначений за допомогою спеціального манометра – *максиметра*, що являє собою переносний манометр з незворотним клапаном та спеціальним пристосуванням для встановлення манометра на індикаторний кран циліндра. Під час вимірювання тиску δ_c подача палива ПНВТ в циліндр – відключена.

За відомі значення тиску на початку стиснення δ_a і в кінці стиснення δ_c значення показника політропи n_1 після перетворень виразу (3.5)

$$n_1 = \frac{\ln p_c - \ln p_a}{\ln \epsilon}. \quad (3.6)$$

Слід зазначити, що значення показника політропи стиснення за формулою (3.6) є приблизним, а сам розрахунок має сенс тільки в певному діапазоні зміни параметрів інтенсивності теплообміну, частоти обертання колінчатого вала дизеля та втрат свіжого заряду через нещільності поршневих кілець.

Температура в кінці процесу стиснення

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{\eta-1}. \quad (3.7)$$

Температура робочого тіла в кінці його стиснення для забезпечення надійного запуску холодного дизеля повинна перевищувати на 200...300 К температуру samozapalювання палива, тобто бути не менше 740...860 К.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з загальною конструкцією дизель-генераторної установки, її технічними даними і схемою підключення використовуваних в лабораторній роботі приладів. Схему підключення приладів приведено на рис. 4.

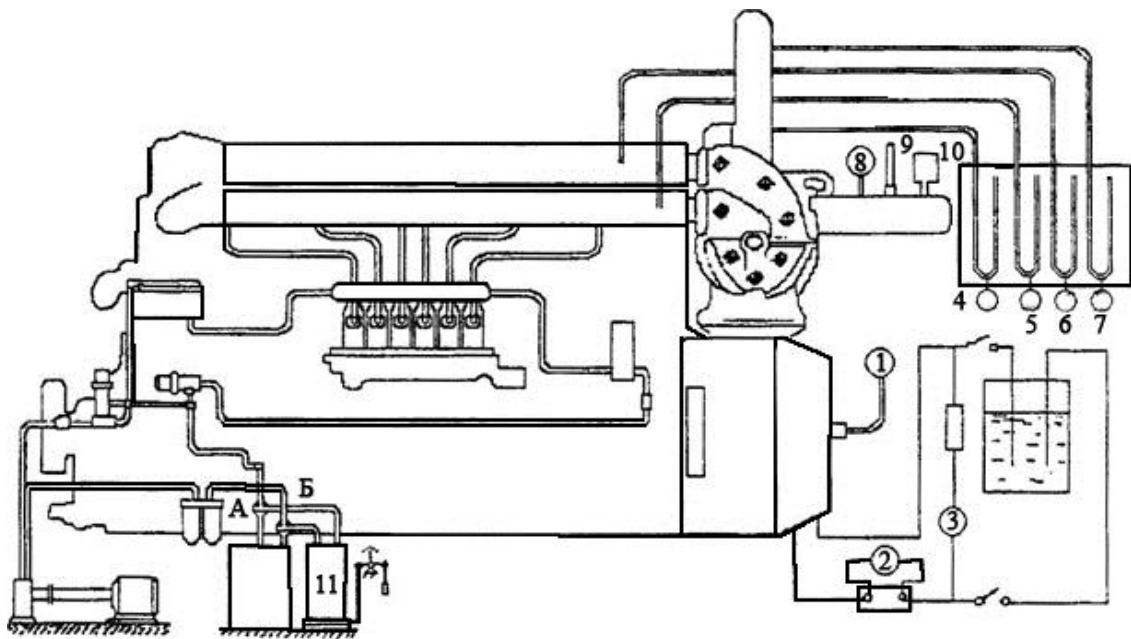


Рис. 4. Схема підключення стаціонарних приладів для вимірювання параметрів дизель-генераторної установки:

1 – тахометр; 2 – амперметр; 3 – вольтметр; 4 – ртутний манометр повітряного ресивера; 5,6 – ртутні манометри вихлопних колекторів; 7 – водяний манометр вихлопної труби; 8 – барометр; 9 – термометр; 10 – психрометр; 11 – витратомір палива вагового типу; А та Б – крани витратоміра

2. Записати в звіт лабораторної роботи технічні дані приладів за формою, наведеною у табл. 4.

Технічні дані приладів

Найменування приладу	Тип приладу	Ціна поділки	Діапазон вимірювання	Примітки

3. Перевірити підключення максиметра, датчиків тиску та температури повітря наддування. Відкрити індикаторний кран циліндра. Встановити за допомогою барометра та термометра тиск і температуру атмосферного повітря.

4. Відключити паливні насоси високого тиску поворотом відповідних викиачів.

5. Дотримуючись встановлених правил обслуговування, за допомогою генератора провести обертання колінчатого вала дизеля.

6. Вимірити максимальний тиск стиснення, частоту обертання колінчатого вала дизеля. Тиск стиснення при частоті обертання вала двигуна 270 хв^{-1} повинен бути не менше $2,9 \dots 3,0 \text{ МПа}$. Зниження тиску нижче вказаної норми свідчить про пропуск газів поршневими кільцями.

7. Провести розрахунки параметрів свіжого заряду та коефіцієнта наповнення в кінці стиснення в процесі пуску дизеля.

8. Підключити паливні насоси високого тиску. Провести пуск дизеля. Після стабілізації температурного режиму та виключення подачі палива в циліндр за сигналом керівника роботи записати значення тиску і температури повітря наддування, максимального тиску стиснення в циліндрі, фіксуючи при цьому частоту обертання колінчатого вала дизеля.

9. Виконати розрахунки за формулами (3.1), (3.3), (3.6), (3.7) для робочого режиму.

Оформлення звіту по роботі

Звіт повинний містити: мету роботи, схему включення і характеристики вимірювальних приладів, стислий опис виконаної роботи, розрахунки і висновки.

Контрольні запитання та завдання

1. Що являє собою ступінь стиснення, коефіцієнт залишкових газів, коефіцієнт наповнення?

2. Які параметри визначають величину температури свіжого заряду в кінці наповнення?

3. Які параметри визначають величину коефіцієнта наповнення?

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ТИСКУ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДИЗЕЛЯ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

Мета роботи: придбання навичок вимірювання максимального тиску та температури, вивчення приладів для вимірювання.

Теоретичні відомості

Максимальний тиск згоряння p_z , а також максимальна температура циклу T_z і пов'язана з нею температура відпрацьованих газів є важливими характеристиками робочого процесу дизелів. Величини тиску та температури згоряння свідчать про правильність і своєчасність подачі палива в циліндр і активно впливають на індикаторні та ефективні показники двигуна.

Визначити величину максимального тиску газів у циліндрі можна за допомогою максиметра або застосовуючи електронну вимірювальну апаратуру. При цьому, на відміну від попередньої роботи, паливний насос високого тиску циліндра, що досліджується, має бути підключений.

В експлуатації під час визначення максимального тиску двигун повинен працювати на максимальних робочих оборотах з повним навантаженням. Максимальний тиск у циліндрі дизеля Д50 при ефективній потужності генератора 680 кВт повинен складати 4,7...5,7 МПа. Регулювання величини максимального тиску проводять зміною кута випередження подачі палива. У разі його збільшення тиск згоряння палива в циліндрі підвищується, у разі зменшення – знижується.

Кут випередження регулюється зміною зазору між штовхачем і стаканом паливного насоса. У разі зменшення цього зазору кут випередження подачі палива в циліндр збільшується, а у разі збільшенні його – зменшується. Подачу палива в циліндр змінюють також поворотом регулюючої серги рейки паливного насоса.

У відрегульованого дизеля різниця у величинах тиску згоряння по окремих циліндрах не повинна перевищувати 0,3 МПа. Необхідно враховувати, що у разі регулювання тиску згоряння в одному з циліндрів змінюється тиск згоряння і в інших циліндрах через перерозподіл навантаження між ними. Тому після регулювання одного з циліндрів необхідно перевірити величину максимального тиску згоряння у всіх інших.

Від температури відпрацьованих газів у великій мірі залежать надійність деталей випускної системи та якість роботи турбокомпресора. Середня температура відпрацьованих газів залежить від тактності двигуна, його навантаження та частоти обертання колінчатого вала. На величину температури відпрацьованих газів сильно впливає також якість організації процесу згоряння,

в першу чергу, тривалість догорання палива та кількість палива, що згоряє на лінії розширення.

Вимірювання температури вихлопних газів має в експлуатації двигунів велике значення. Заданій потужності та постійній частоті обертання відповідає певна для даного двигуна температура відпрацьованих газів.

У дизеля Д50 за потужності генератора 590...620 кВт температура відпрацьованих газів в окремих циліндрах не повинна перевищувати 490 °С. За технічними умовами різниця температур вихлопних газів різних циліндрів не допускається більш 30 °С.

Температура відпрацьованих газів дизеля залежить від кількості поданого в циліндр палива. На величину температури впливає також і кут випереження подачі палива в циліндр, котрий є можливість регулювати на стенді. Так у двигуна Д50 при повороті коректора на муфті приводу паливних насосів на півоберту відбувається зміна температури відпрацьованих газів на 5...8 °С.

Для вимірювання температури на тепловозних дизелях застосовують термоелектричні дизельні комплекти.

Вимірювання температури термоелектричним комплектом базується на виникненні електричного струму при нагріванні термопари, що складається з двох термоелектродів, виготовлених із різних специфічних матеріалів.

Принципову схему вимірювання температури термоелектричним комплектом наведено на рис. 5.

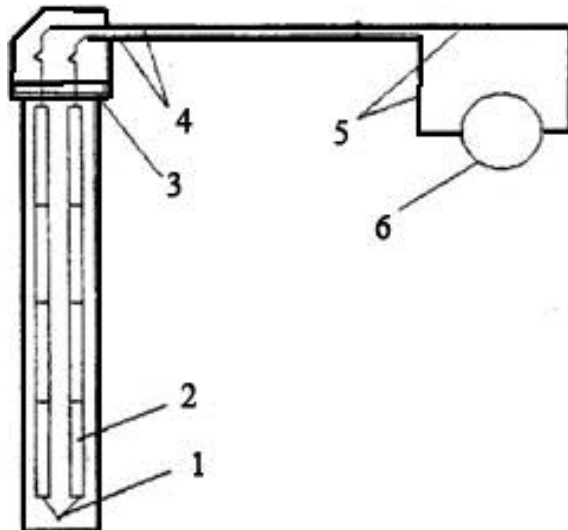


Рис. 5. Принципова схема термоелектричного комплекту

Під час вимірювання робочий кінець термопари 1 занурюють у середовище, температура якого вимірюється, а вільні кінці 5 приєднують до мілівольтметра, шкала якого градуйована безпосередньо в одиницях температури. За величиною виникаючої електрорухомої сили можна визначити температуру середовища, у яке термопара занурена своїм робочим

кінцем.

Для вимірювання температури термоелектричним комплектом необхідно забезпечення сталості температури її «холодних» кінців термопари або врахування зміни цієї температури при відліку за шкалою приладу. Компенсацію похибки в показниках приладу внаслідок зміни температури холодних кінців термопари, які приєднані до його затискачів, здійснюють біметалічним коректором. Щоб уникнути занадто великої довжини термопари застосову-

ють компенсаційні проводи 4, що виводять холодні кінці термопари до зони з відомою постійною температурою. Довжини компенсаційних проводів можуть бути різними, тому для одержання необхідного зовнішнього опору встановлюють вирівнювальні котушки.

Термопара ТХА-410 має два електроди, виготовлені з хромелевого (позитивний електрод) і алюмінієвого (негативний електрод) дроту діаметром 1,2 мм.

Робочий кінець виготовляють шляхом скручування та зварювання електродів. Електроди розміщені всередині захисної арматури та ізольовані від неї керамічними ізоляторами 2. Вільний простір між захисною арматурою й електродами, розміщеними в керамічні ізолятори, заповнено порошком безводного окису алюмінію та у верхній частині герметизовано вогнетривкою замазкою 3.

Термопара дає правильні показання температури тільки з додатковим резистором, з яким вона поставляється комплектно.

Термокомплект ТДК-018 складається з мілівольтметра магнітоелектричної системи, перемикача на 11 точок виміру, вирівнювальних котушок, хромель-алюмелевих термопар ТХА-410 і мідно-константанових компенсаційних проводів.

Для комплекту ТДК-018 зовнішній опір (опір термопари, компенсаційних проводів і вирівнювальної котушки) становить $5 \pm 0,5$ Ом.

Комплект забезпечує можливість виміру температури в межах 0...900 °С. Похибка виміру при цьому не перевищує 2,5 % від верхньої межі шкали.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією термоелектричного комплекту, а також місцями установки термопар.

2. Запустити дизель. Під час роботи дизеля без навантаження на восьмому положенні контролера зняти показання максимального тиску та температури газів для всіх циліндрів та занести в табл. 5.

3. Після зупинки дизеля змінити кут випередження подачі палива.

4. Виконати повторний запуск дизеля. Провести вимірювання тиску і температури відпрацьованих газів. Результати вимірювань занести до табл. 5.

5. Навантажити дизель при восьмому положенні контролера. Зафіксувати величину струму I та напруги U генератора. Занести до табл. 5 значення максимального тиску та температури відпрацьованих газів по циліндрах для розрахункової потужності дизеля.

Те ж саме виконати для шостого та четвертого положення контролера, змінюючи навантаження дизеля відповідно позиціям контролера. Вимірювання тиску, температури, напруги та струму генератора проводять одночасно.

6. Результати вимірювань максимального тиску та температури за циліндрами оформити відповідними графіками (рис. 6):

а) у разі роботи двигуна без навантаження;

- б) у разі роботи двигуна з навантаженням;
 в) у разі різних положеннях контролера та кутах випередження подачі палива.

Таблиця 5

Дослідні дані робочого процесу дизеля

Номер досліду		1	2	3	Номер досліду		1	2	3
Тиск δ_a в циліндрах дизеля, МПа	1				Температура вихлопних газів по циліндрах, °С	1			
	2					2			
	3					3			
	4					4			
	5					5			
	6					6			

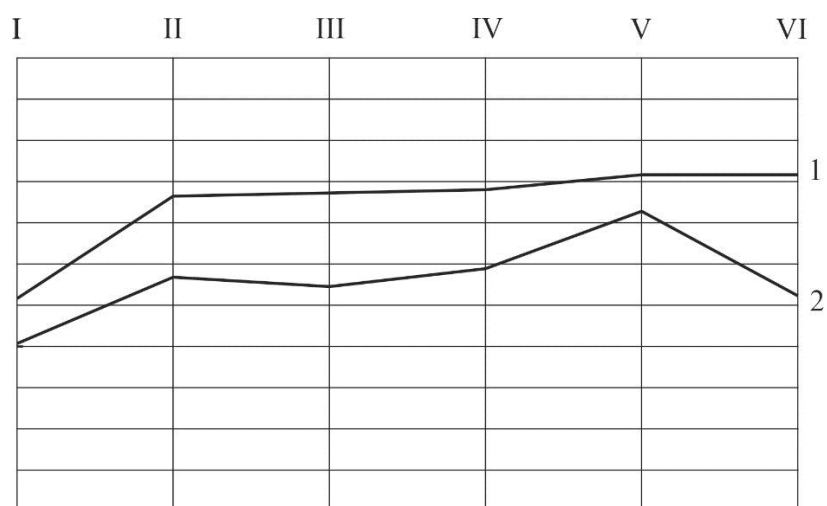


Рис. 6. Температури та максимальний тиск в циліндрах дизеля Д50

Оформлення звіту по роботі

Звіт по лабораторній роботі має містити: мету роботи, схему включення та характеристики вимірювальних приладів, стислий опис виконаної роботи, таблицю вимірів і графіки залежностей. Звіт завершується відповідними висновками.

Контрольні запитання та завдання

1. Яким чином визначається величина максимального тиску газів у циліндрі?
2. Яким чином визначається величина температури відпрацьованих газів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ

Мета роботи: проаналізувати індикаторні діаграми дизеля, визначити фази та основні характеристики згоряння.

Теоретичні відомості

Для виявлення механізмів впливу кута випередження подачі палива на показники роботи дизеля виконаємо аналіз процесу згоряння по індикаторній діаграмі. Традиційно розрізняють чотири фази згоряння палива в циліндрі дизеля (рис. 7).

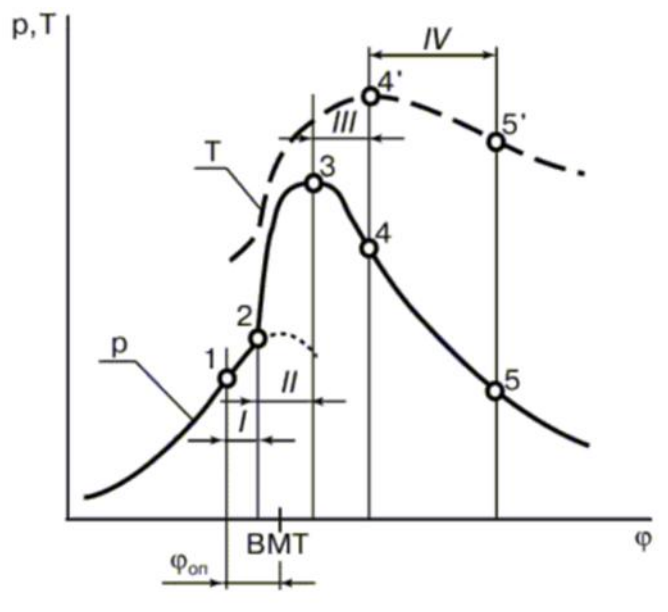


Рис. 7. Фази згоряння палива в дизельному двигуні:
p – крива тиску в циліндрі; T – крива температури

Перша фаза I – затримка самозаймання палива. Тривалість фази визначається з моменту початку підйому голки форсунки (точка 1) до початку самозапалювання (появи полум'я) (точка 2) і залежить від ряду умов. Вирішаль-

ний вплив має стан робочого тіла в циліндрі в момент початку подачі палива (перш за все температура) і властивостей палива (цетанове число).

Друга фаза II – фаза швидкого згоряння. Межею цієї фази прийнято вважати момент досягнення максимального тиску в циліндрі двигуна (точка 3). Протягом цієї фази згоряє більша частина палива, яке накопичилося за період затримки самозаймання (приблизно 15...30 % від циклової подачі палива), що у наступній фазі згоряє з різким підвищенням тиску. Швидкість підвищення тиску, що визначає жорсткість згоряння, багато в чому залежить від кількості палива, поданого в циліндр в першій фазі – чим більше ця кількість, тим вище швидкість наростання тиску, вище жорсткість роботи дизеля. З іншого боку, на жорсткість процесу згоряння впливає і момент початку згоряння палива (абсциса точки 2).

Третя фаза III – основне згоряння. Початок третьої фази визначається положенням максимуму тиску (точка 3), а кінець – положенням максимуму температури газів в циліндрі (точка 4). За високих температур, що досягаються в третій фазі, переважний вплив на згоряння мають тривалість процесів сумішоутворення, зокрема дифузія (перемішування палива з повітрям). Тому тривалість третього періоду згоряння в основному визначається ступенем досконалості підводу повітря до палива та продуктів його часткового окислення.

Четверта фаза IV – догоряння палива та продуктів його неповного окислення. Початок цієї фази доводиться на момент максимуму температури в циліндрі (точка 4), кінець (точка 5) – на момент максимуму кривої тепловиділення (крива не показана). Період характеризується відсутністю подачі свіжого палива в циліндр, збільшенням швидкості поршня. Кількість невикористаного повітря в циліндрі до цього моменту невелика, тому догоряння палива відбувається порівняно повільно.

Під періодом затримки самозапалювання розуміють проміжок часу від початку подачі палива в камеру згоряння до початку безпосередньо самозапалювання (появи полум'я). Проте видимий підйом тиску на індикаторній діаграмі спостерігається не відразу, тому що тепло витрачається насамперед на прискорення процесу підготовки іншої частини палива до самозапалювання.

Момент початку відриву кривої тиску в циліндрі від політропи стиснення чистого повітря чітко спостерігається на розгорнутих індикаторних діаграмах.

Тривалість періоду запізнювання самозапалювання визначається в градусах повороту колінчатого вала або в секундах

$$\tau_3 = \frac{\varphi_3}{60n}, \quad (5.1)$$

де φ_3 – тривалість періоду запізнювання самозапалювання в градусах повороту колінчатого вала;

n – частота обертання колінчастого вала двигуна, хв^{-1} .

Для тепловозних дизелів величина τ_3 складає приблизно 0,001...0,005 с.

Друга фаза відповідає періоду різкого зростання тиску 2–3. Під час цієї фази відбувається samozapalювання та згоряння частини впорскнутого палива при положенні поршня біля ВМТ, тобто при малій швидкості руху останнього.

Швидкість наростання тиску в другій фазі

$$\omega = \frac{d\delta}{d\varphi}. \quad (5.2)$$

На практиці використовують відношення приросту тиску газів $\Delta\delta$ до відповідного приросту кута повороту колінчастого вала $\Delta\varphi$

$$\omega = \frac{\Delta\delta}{\Delta\varphi}. \quad (5.3)$$

Величина середньої швидкості наростання тиску за період другої фази

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\delta_z - \delta_c}{\varphi_z - \varphi_c}. \quad (5.4)$$

Період різкого зростання тиску характеризується, крім того, кутом нахилу лінії згоряння 2–3 до вертикалі, найбільшим тиском згоряння наприкінці другої фази δ_z і ступенем підвищення тиску, тобто відношенням найбільшого тиску δ_z до тиску кінця стиснення δ_c

$$\lambda_z = \frac{\delta_z}{\delta_c}. \quad (5.5)$$

Інтенсивність зростання тиску впливає на надійність основних вузлів двигуна. Для тепловозних дизелів для забезпечення більш «м'якої» роботи швидкість зростання тиску ω не повинна перевершувати 0,2..0,6 МПа на 1° оберту колінчастого вала.

Основною причиною, що впливає на ступінь різкого наростання тиску в другій фазі, є величина дози палива, впорскнута в циліндр протягом першої фази. Тривалість останньої зростає зі збільшенням періоду затримки samozapalювання τ_3 , тому треба прагнути до всемірного скорочення цього періоду.

Третя фаза відповідає періоду плавної незначної зміни тиску, який за цей період залишається практично постійним, або дещо знижується. Ця фаза починається в момент досягнення максимального тиску циклу, а закінчується в

момент досягнення максимальної температури циклу. Оскільки момент досягнення максимальної температури визначається за індикаторною діаграмою приблизними розрахунками, то можна вважати третю фазу закінченою в момент початку зменшення тиску на лінії розширення (точка z). Характер зміни тиску в цій фазі залежить, частково, від закону подачі палива в циліндр (що задається профілем кулачків паливного насоса) і від положення точки z' (початок фази) відносно ВМТ. Критерієм оцінки досконалості третьої фази процесу згоряння є тривалість фази та швидкість згоряння палива.

Четверта фаза згоряння (від точки z до точки f) відповідає періоду догоряння палива (що не встигло згоріти в другій і третій фазі) на лінії розширення при тиску у циліндрі, що безупинно знижується внаслідок руху поршня до НМТ. Закінчується четверта фаза в точці, де урівноважується виділення тепла від догоряння та передача тепла в стінки циліндра, приблизно всередині такту розширення. Період догоряння має місце, за дослідними даними, у всіх двигунів і призводить до підвищення температури відпрацьованих газів, а також до збільшення втрат тепла в систему охолодження. Проте доля палива, що догорає, невелика й тому догорання не має особливого впливу на показники ефективності роботи двигуна.

Збільшення кута попередньої подачі палива – зміщення точка 1 (рис. 7) вліво.

Перебіг фази швидкого згоряння доводиться на ділянку до ВМТ, тому супроводжується більшою швидкістю підвищення тиску (збільшується жорсткість згоряння), зростанням максимального тиску згоряння (рис. 8).

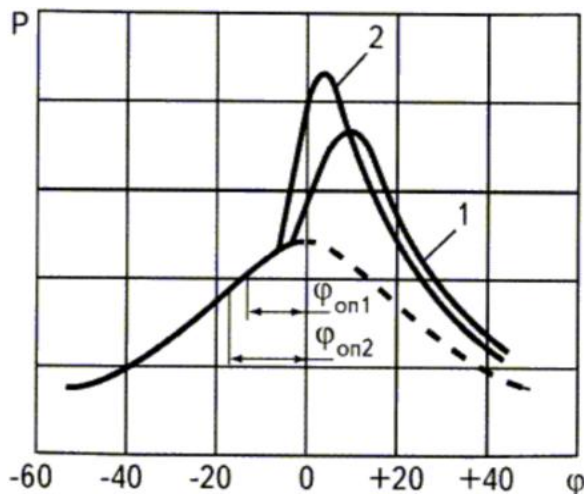


Рис. 8. Індикаторні діаграми:
1 – нормальний кут випередження подачі палива $\varphi_{оп1}$;
2 – раннє впорскування палива $\varphi_{оп2}$

Значне збільшення кута випередження подачі палива

При занадто великих значеннях кута випередження подачі палива ($5 \dots 10^\circ$ і більш від оптимальної величини) спостерігається помітне збільшення періоду затримки самозаймання (перша фаза згоряння). Це пояснюється недостатньо високою температурою повітря в циліндрі. Тому до моменту займання в циліндрі накопичується велика масова порція палива, що при згорянні викликає різке підвищення швидкості наростання тиску, максимального тиску.

У разі ранньої подачі палива значна частка роботи, здійснювана газами, доводиться на ділянку до ВМТ, тому економічні показники роботи дизеля, як правило, погіршуються. Крім того, збільшення жорсткості згоряння, зростання тиску в циліндрі призводить до підвищення механічної та термічної напруженості дизеля. За суб'єктивною оцінкою, робота дизеля з ранньої подачею палива супроводжується чітко чутними стуками.

Згідно з індикаторною діаграмою лінія згоряння являє собою безперервну плавну криву, тому в реальному двигуні ділення процесу згоряння на чотири окремі фази є умовним і лише приблизно відбиває безупинні та складні фізико-хімічні процеси, що відбуваються.

Зменшення кута випередження подачі палива в незначних межах (до 5°) мало впливає на тривалість періоду затримки самозаймання. Тому при пізньому упорскуванні палива в циліндр буде спостерігатися і більш пізніше початок згоряння (лінія 2 на рис. 9). До цього моменту часу поршень вже рухається до НМТ, швидкість поршня збільшується, що призводить до зменшення максимального тиску згоряння та неефективному використанню теплоти в циліндрі. Завершення згоряння настає помітно пізніше нормального, а іноді триває і поза циліндром у випускному колекторі, в проточній частині турбіни і т. і. Температура відпрацьованих газів збільшується.

На слух двигун працює м'яко. Потужність двигуна зменшується.

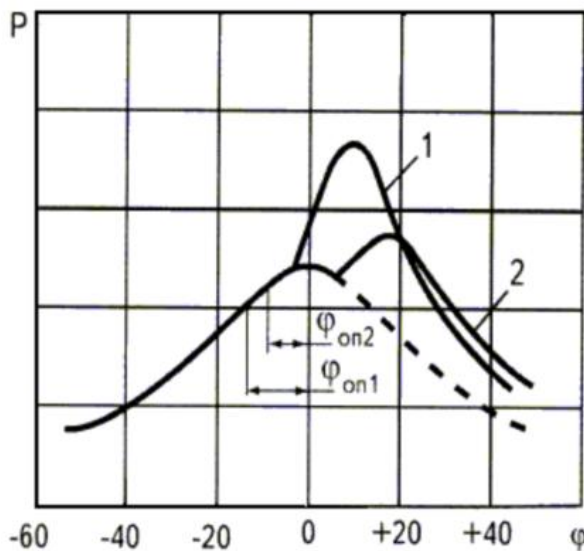


Рис. 9. Індикаторні діаграми:

1 — нормальний кут випередження подачі палива φ_{on1} ;

2 — пізнє впорскування палива φ_{on2}

При значному зменшенні кута випередження подачі палива (при впорскуванні поблизу або за ВМТ) згоряння в поточному циклі може взагалі не статися, так як температура повітря при розширенні, що почалося в циліндрі, зменшується і може виявитися недостатньою для самозаймання палива.

Внаслідок недосконалості очищення циліндра, незгоріле паливо, що частково залишається в циліндрі, може самозапалитися в наступних циклах. При цьому згоряння настає як при ранній подачі палива (рис. 9). Оскільки кількість палива, яке виявилось в циліндрі до початку згоряння, залежить від

багатьох величин, в тому числі і випадкових, то і сам процес згоряння непередбачуваний і некерований. Двигун працює з перебоями і сильними стуками.

Таким чином, існує деяке оптимальне значення кута випередження подачі палива, що забезпечує найбільш досконале згоряння палива в циліндрі.

Необхідно розуміти, що це оптимальне значення кута не може залишатися незмінним на всіх режимах роботи двигуна. І в більшій мірі тут позначається швидкісний режим – за великих частотах обертання вала дизеля час затримки займання палива (8) потребує відповідно більшого кута повороту колінчастого вала. Швидкохідні дизелі, що працюють в широкому швидкісному діапазоні (від 700 до 4000 хв^{-1}), мають, як правило, пристрої для автоматичного корегування кута випередження подачі палива в залежності від частоти обертання колінчастого вала. Тепловозні дизелі, експлуатовані на вітчизняних залізницях (табл. 6), таких пристроїв не мають.

Таблиця 6

Геометричний кут випередження подачі палива тепловозних дизелів

Дизель	Кут випередження подачі палива
ПД1М, Д50М	29
10Д100	10
14Д40	20
Д49 (модификации)	26–29

Регулюючи кут випередження подачі палива, можна впливати на вид індикаторної діаграми та на положення максимуму тиску з тим, щоб встановити оптимальне за показниками потужності та економічності його значення. Для чотиритактних дизелів величину кута підбирають таким чином, щоб згоряння починалося ближче до ВМТ, а для двотактних дизелів – дещо раніше ВМТ, щоб максимум згоряння припадав на $6...8^\circ$ після ВМТ. Відмінність пов'язана з тим, що у двотактного двигуна менша частина ходу поршня на робочому такті припадає на згоряння-розширення (раніше відкриваються випускні органи).

Отже, робочий процес треба організувати таким чином, щоб до моменту початку випуску згоряння було закінчено.

Необхідно пам'ятати, що однією зміною кута не можна повністю компенсувати зміну затримки самозаймання, викликане несправністю двигуна або іншими умовами, що змінилися.

Для отримання розгорнутої індикаторної діаграми робочого циклу дизеля з метою визначення по ній фаз та основних характеристик згоряння використовується електронна вимірювальна апаратура.

Вона складається з датчика тиску, електронного підсилювача, блока живлення, а також пристрою обробки та відображення даних.

Принципову схему вимірювального пристрою показано на рис. 10.

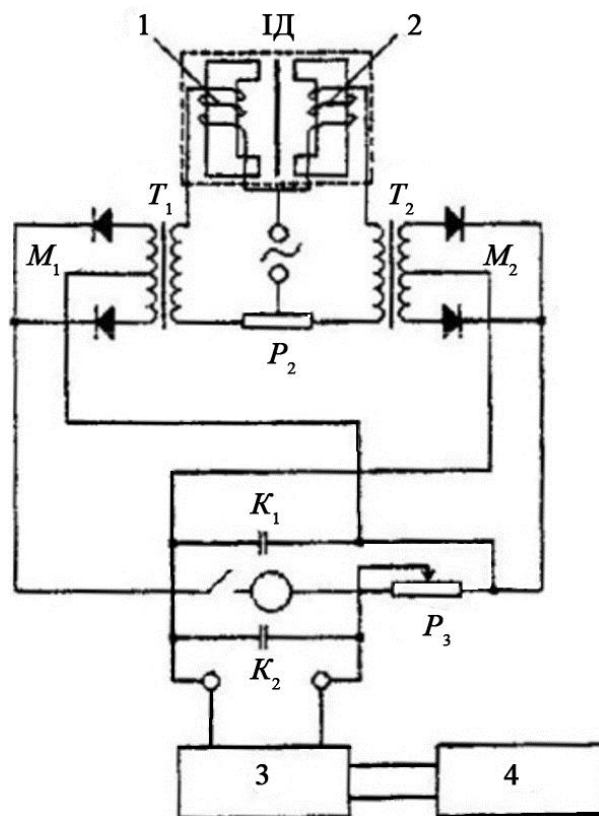


Рис. 10. Принципова схема пристрою для вимірювання тиску

Індуктивний датчик, встановлений на індикаторний кран циліндра, перетворює тиск газів в електричний сигнал.

Індуктивний датчик має дві однакові котушки 1 і 2, що знаходяться на нерухомих підковоподібних осердях, між якими розташований якір, жорстко скріплений зі сталевими мембранами – внутрішньою і зовнішньою. Зовнішня мембрана стикається з газами, що знаходяться у циліндрі. Дія запобігання перегріванню обмоток датчика між мембранами циркулює трансформаторне масло.

Котушки датчика тиску і первинної обмотки трансформаторів T_1 і T_2 включені за схемою моста змінного струму, що живиться напругою високої частоти від спеціального генератора.

Дія датчика заснована на зміні індуктивного опору його котушок під час переміщення якоря між осердями під дією тиску газів на мембрану. У сполучених між собою зустрічно через випрямні мости M_1 і M_2 вторинних обмотках трансформаторів наводяться різні за величиною електрорухомі сили, різниця яких утворює на виході струм, пропорційний тиску газів у циліндрі. До початку роботи проводиться тарування датчика тиску. З цією метою датчик встановлюють на спеціальному пресі. За різних утворюваних тисках проводиться запис тарувального графіка, по якому визначається масштаб тиску.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з технічними даними та схемою включення приладів.
2. Виконати налаштування вимірювальної системи датчика тиску.
3. Дотримуючись правил обслуговування дизель-генератора провести пуск дизеля та відрегулювати тепловий режим його роботи.
4. Для отримання індикаторної діаграми при включеній і лаштованій вимірювальній схемі необхідно відкрити індикаторний кран циліндра та уточнити відповідність режиму індикаторної діаграми.
За сигналом керівника роботи записати індикаторні діаграми при включеному, а також при виключеному паливному насосі циліндра, під час цього фіксуючи частоту обертання колінчатого вала дизеля. Перед записом діаграми при виключеному паливному насосі необхідно зменшити навантаження дизеля. Вимикання паливного насоса проводиться відповідним поворотом вимикача.
5. Після аналізу отриманих діаграм встановити моменти початку та закінчення фаз горіння, визначивши їх з урахуванням масштабу в градусах обороту колінчатого вала. Позначити фази на індикаторній діаграмі.
6. Розрахувати основні показники згоряння за (5.1), (5.4), (5.5).

Оформлення звіту по роботі

Звіт повинний містити: мету роботи, стислу характеристику та основні технічні дані приладів, використаних для вимірювання, побудовану і опрацьовану індикаторну діаграму, необхідні розрахунки та відповідні висновки.

Контрольні запитання та завдання

1. Характеристика фаз згоряння палива в циліндрі дизеля.
2. Як впливає збільшення кута випередження подачі палива на процес роботи двигуна?
3. Як впливає зменшення кута випередження подачі палива в незначних межах на процес роботи двигуна?
4. Як впливає значне зменшенні кута випередження подачі палива на процес роботи двигуна?
5. Яким чином отримується розгорнута індикаторна діаграма робочого циклу дизеля?

ВИЗНАЧЕННЯ ІНДИКАТОРНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ

Мета роботи: оволодіння навиками аналізу індикаторних діаграм, розрахунку середнього індикаторного тиску, індикаторної потужності та коефіцієнта корисної дії.

Теоретичні відомості

Індикаторні показники характеризують дійсний робочий цикл двигуна і визначаються за отриманою дослідним шляхом індикаторною діаграмою або розрахунком циклу.

До індикаторних показників відносять середній індикаторний тиск, індикаторну потужність, індикаторні коефіцієнт корисної дії та витрату палива. Для визначення показників необхідно попередньо визначити значення середнього індикаторного тиску. Середній індикаторний тиск являє собою умовний надлишковий тиск, який виконує за один хід поршня роботу, що дорівнює роботі газів в циліндрі двигуна за цикл.

Середній індикаторний тиск $\bar{p}_i$ визначається за допомогою опрацювання і аналізу фактичної індикаторної діаграми робочого циклу. Практичне отримання індикаторної діаграми проводиться аналогічно попередній роботі.

Середній індикаторний тиск в процесі виконання лабораторної роботи можливо визначати методом гармонійного аналізу розгорнутої діаграми робочого циклу дизеля з використанням схеми групування Рунге (рис. 11).

Середній індикаторний тиск $\bar{p}_i$

$$\bar{p}_i = \pi \cdot m \cdot \left(B_2 + \frac{R}{2L} \cdot B_4 \right), \quad (6.1)$$

де m – масштаб тиску індикаторної діаграми, $m=0,1$ МПа/мм.

B_2, B_4 – синусні коефіцієнти тригонометричного розкладання. Визначаються методом наближеного гармонійного аналізу;

R – радіус кривошипа дизеля Д50; $R=0,165$ м;

L – довжина шатуна дизеля Д50; $L=0,71$ м.

Синусні коефіцієнти тригонометричного розкладання

$$\hat{A}_2 = 0,144 \left(\rho_1 + \rho_2 \right) \cdot \hat{E}'_2; \quad (6.2)$$

$$\hat{A}_4 = 0,144 \left(\rho_1 - \rho_2 \right) \cdot \hat{E}_2'', \quad (6.3)$$

де $\hat{E}_2' = 0,912$; $\hat{E}_2'' = 0,684$ – коефіцієнти поправки Умова.

Індикаторна потужність дизеля, кВт,

$$N_i = \frac{V_h \cdot \sum_{i=1}^z \delta_i \cdot n}{30 \cdot \tau}, \quad (6.4)$$

де V_h – робочий об'єм одного циліндра, м³;

n – частота обертання колінчастого вала, хв⁻¹;

δ_i – середній індикаторний тиск у кожному циліндрі, МПа;

z – число циліндрів дизеля;

τ – тактність дизеля.

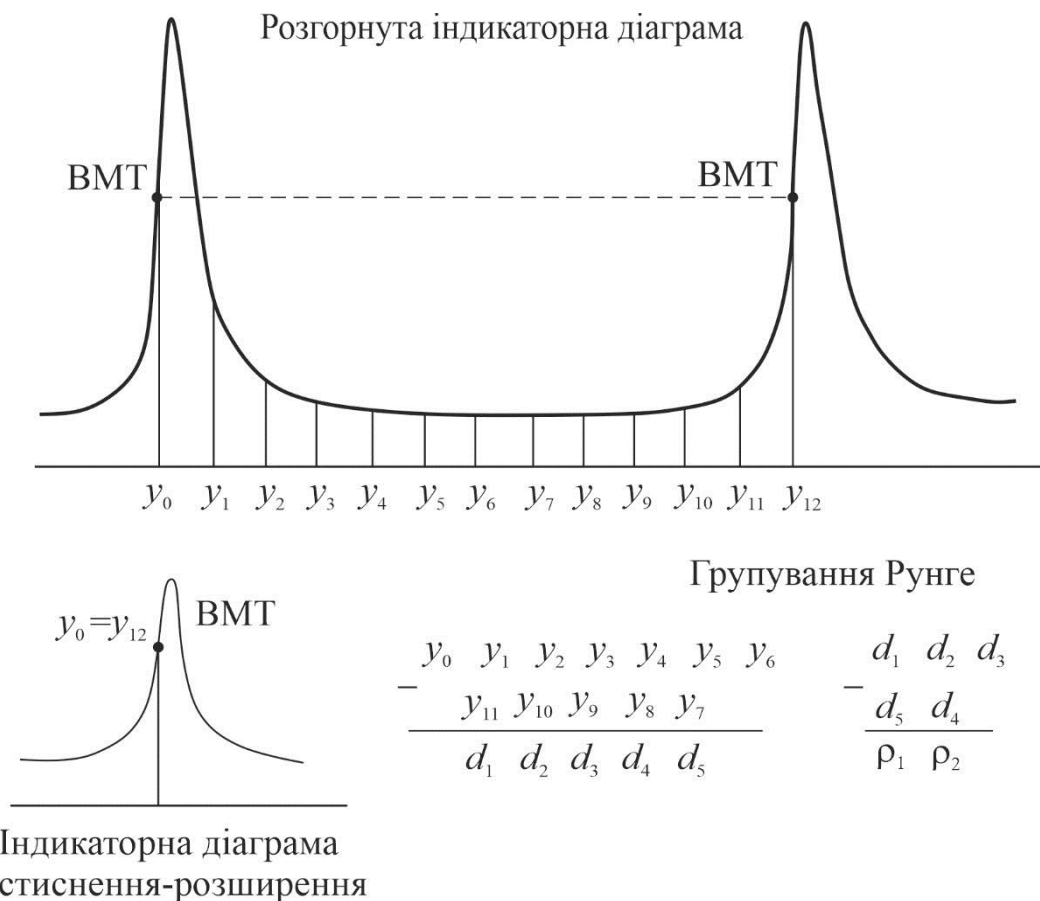


Рис. 11. Схема групування за методом Рунге для розрахунку середнього індикаторного тиску:

$y_0, y_1, \dots, y_{12}$ – характерні ординати індикаторної діаграми

Для співставлення одержаних в різних умовах значень потужності застосовують формулу приведенної індикаторної потужності

$$N_{in} = N_i \cdot \frac{1030}{p_0 + p_n} \cdot \frac{530 + t_0}{545}, \quad (6.5)$$

де p_0 і t_0 – барометричний тиск і температура зовнішнього повітря відповідно;

p_n – парціальний тиск водяних парів у повітрі, визначається за графічними залежностями додатку, МПа.

З метою спрощення середній індикаторний тиск приймати у всіх циліндрах дизеля однаковим і визначати його тільки в одному циліндрі.

Питома індикаторна витрата палива, кг/(кВт·год),

$$b_i = \frac{B_{\text{аіа}}}{N_i}, \quad (6.6)$$

де $B_{\text{аіа}}$ – витрати палива за годину, кг/год.

Витрата палива за годину при наявності витрат за час досліду

$$B_{\text{аіа}} = \frac{3600 \cdot B_{\text{аін}}}{t_{\text{аін}}}, \quad (6.7)$$

де $B_{\text{аін}}$ – витрати палива за час досліду, кг;

$t_{\text{аін}}$ – час досліду, с.

Індикаторний коефіцієнт корисної дії (ККД) дизеля η_i

$$\eta_i = \frac{3600}{H_{\text{е}} \cdot b_i}, \quad (6.8)$$

де $H_{\text{е}}$ – нижча теплота згоряння палива. Приймається рівною 42500 кДж/кг.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою включення, технічними даними використовуваних приладів, які необхідно занести до відповідної таблиці за формою табл. 4.

2. Провести налаштування вимірювальної системи датчика тиску аналогічно попередній роботі.

3. Дотримуючись встановлених правил обслуговування дизель-генератора, запустити дизель і відрегулювати нормальний тепловий режим його роботи.

4. Встановити восьме положення контролера (пульт стенда) і за допомогою водяного реостата відрегулювати необхідне навантаження дизель-генераторної установки.

5. При включеній і налаштованій вимірювальній схемі необхідно відкрити індикаторний кран циліндра і перевірити їх готовність до запису індикаторної діаграми.

За сигналом керівника роботи провести запис індикаторних діаграм при включеному, а також при виключеному паливному насосі досліджуваного циліндра. Перед записом діаграми при виключеному паливному насосі необхідно зменшити навантаження дизеля. Вимикання паливного насоса здійснюється поворотом вимикача. Паралельно з записом діаграми тиску при працюючому паливному насосі проводяться вимір і реєстрація параметрів роботи дизель-генератора (табл. 7). Витрата палива вимірюється витратоміром вагового типу.

Таблиця 7

Параметри роботи дизель-генератора та навколишнього середовища

Частота обертання n , хв^{-1}	Напруга генератора, U , В	Струм навантаження I , А	Витрата палива $V_{\text{дос}}$, кг	Тривалість досліду Δt , °С	Барометричний тиск, p_0 , гПа	Температура повітря t , С	Відносна вологість, %

За сигналом керівника роботи паливна система дизеля переключається на живлення з мірного бака, для цього рукоятки кранів А та Б повертаються в його бік.

У момент проходження стрілки ваг через нейтральне положення необхідно включити секундомір і одночасно пересунути вантаж балансира ваг на 4...6 кг убік зменшення показань, записавши величину мірної порції палива в графу 4 табл. 7.

При повторному проходженні стрілки ваг через нейтральне положення необхідно зупинити секундомір і переключити рукоятки кранів А і Б на живлення дизеля з основного бака. Показання секундоміра записується в графу 5 табл. 7.

5. Визначити по індикаторній діаграмі робочого циклу дизеля середній індикаторний тиск методом гармонійного аналізу, відповідно схемі на рис. 11.

Провести обчислення параметрів дизеля за формулами (6.1–6.8), сформулювати необхідні висновки.

Оформлення звіту по роботі

Звіт повинний містити: мету роботи, стислу характеристику і технічні дані приладів, перерахування виконаних робіт, індикаторні діаграми, таблицю вимірів, необхідні розрахунки і висновки.

Контрольні запитання та завдання

1. Яким чином визначається середній індикаторний тиск?
2. Порядок визначення індикаторної потужності дизеля.
3. Схема групування за методом Рунге.
4. Техніко-економічні індикаторні показники дизеля.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ

Мета роботи: визначення ефективного та механічного коефіцієнтів корисної дії дизеля, дослідження параметрів робочого процесу.

Теоретичні відомості

Ефективний ККД дизеля η_a визначається через питомі ефективні витрати палива за формулою:

$$\eta_a = \frac{3600}{H_e \cdot b_a}, \quad (7.1)$$

де H_e – нижча теплота згоряння палива, приймається рівною 42,5 кДж/кг;

b_a – питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год).

Для отримання значення b_a експериментальним шляхом визначається потужність генератора, що перераховується потім у приведену до нормальних умов потужність дизеля N_e , а також визначається годинна витрата палива дизелем.

Потужність генератора, кВт,

$$P = 10^{-3} UI, \quad (7.2)$$

де U і I – напруга, В, і струм, А, тягового генератора відповідно.

Приведена ефективна потужність дизеля

$$N_e = K_{\text{аіі}} \cdot \frac{P}{\eta_{\text{а}}} \cdot \frac{1013}{p_0 + p_i} \cdot \frac{530 + t_0}{545}, \quad (7.3)$$

де $K_{\text{аіі}}$ – коефіцієнт витрат потужності на привід допоміжних навантажень дизеля; $K_{\text{аіі}} = 1,06$;

$\eta_{\text{а}}$ – ККД генератора, визначається за експериментальними кривими додатку.

Годинна витрата палива дизелем розраховується за формулою (6.7).

Питома ефективна витрата палива, в кг/(кВт·год),

$$b_{\text{а}} = \frac{B_{\text{аіі}}}{N_e}. \quad (7.4)$$

Механічний ККД дизеля

$$\eta_i = \frac{N_e}{N_i}. \quad (7.5)$$

Між коефіцієнтами корисної дії дизеля співвідношення

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_l. \quad (7.6)$$

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з схемою включення вимірювальних приладів, застосованих в роботі. Записати в звіт технічні дані приладів за формою табл. 4.
2. Відповідно до інструкції з обслуговування дизель-генераторної установки виконати пуск дизеля і створити нормальний тепловий режим його роботи (температура води 70...80 °С, температура масла 40...50 °С).
3. Робота проводиться при навантаженні дизель-генераторної установки за допомогою водяного реостата. Характеристики навантаження дизель-генератора необхідно привести в формі табл. 7.

4. Встановити ручку контролера машиніста в восьме положення і за допомогою водяного реостата довести навантаження генератора до 1000 А при напрузі 540 В.

5. Після досягнення постійної температури вихлопних газів у циліндрах дизеля за сигналом керівника роботи проводиться відлік показання вимірювальних приладів і отримані результати записуються у відповідну таблицю.

6. Повторити вимір параметрів дизеля відповідно до пункту 2 послідовно для сьомого і шостого положень контролера управління. При цьому положення рухомих пластин водяного реостата змінювати не слід.

7. Провести розрахунки параметрів за (7.1–7.4) .

8. Використовуючи одержані в попередній роботі значення приведеної індикаторної потужності за умови дотримання однакового режиму роботи визначити механічний ККД дизеля.

9. Порівняти розраховані параметри дизеля з паспортними, приведеними в додатку і зробити необхідні висновки.

Оформлення звіту по роботі

Звіт повинний містити: мету роботи, схему включення і характеристики вимірювальних приладів, стислий опис виконуваної роботи, таблицю вимірів, розрахунки параметрів дизеля і висновки.

Контрольні запитання та завдання

1. Яким чином визначається ефективний ККД дизеля?
2. Порядок визначення питомої ефективної витрати палива.
3. Які параметри впливають на значення приведеної ефективної потужності дизеля?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

Мета роботи: ознайомлення з методикою експериментального визначення зовнішньої характеристики дизеля та дослідження характеру її зміни.

Теоретичні відомості

Зовнішньою характеристикою дизеля називається залежність між ефективною потужністю N_e або обертальним моментом $\dot{I}_a$ і частотою обертання колінчатого вала n , що отримана при зміні його навантаження і за постійно-

му положенні рейок паливних насосів, яке відповідає номінальній потужності.

Аналогічні характеристики, реалізовані при фіксованому положенні рейок паливних насосів, що відповідають будь-якій меншій подачі палива в порівнянні з номінальною, називаються частковими швидкісними.

Подібні характеристики описуються такими рівняннями:

$$N_e = k_1 \cdot n \cdot \eta_i \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \sum b_{\text{о}}, \quad (8.1)$$

$$M_e = k_2 \cdot n \cdot \eta_i \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \sum b_{\text{о}}, \quad (8.2)$$

де k_1, k_2 – постійні коефіцієнти для даного типу дизеля;

$b_{\text{о}}$ – сумарна циклова подача палива, г/цикл;

n – частота обертання колінчатого вала дизеля, хв^{-1} ;

η_i – індикаторний ККД дизеля;

$\eta_{\text{м}}$ – механічний ККД дизеля.

Приклад форми залежностей величин $N_e, M_e, b_e, b_{\text{о}}, \eta_i, \eta_{\text{м}}$ від частоти обертання колінчатого вала, показані на рис. 12.

Особливий інтерес представляє зміна обертового моменту за зовнішньою характеристикою. Зі зменшенням частоти обертання в порівнянні з номінальною відбувається деяке збільшення обертового моменту дизеля, що дозволяє йому самостійно пристосовуватися до змін навантаження на валу. Таку властивість називають пристосованістю, або саморегулюванням дизеля.

Пристосовуваність дизеля має певні межі. Якщо момент опору на валі перевищить максимальний обертовий момент за зовнішньою характеристикою, то дизель переходить у зону непевної роботи. Відношення максимального обертового моменту за зовнішньою характеристикою до моменту за номінальну частоту обертання вала називається коефіцієнтом пристосованості дизеля і складає 1,15...1,25.

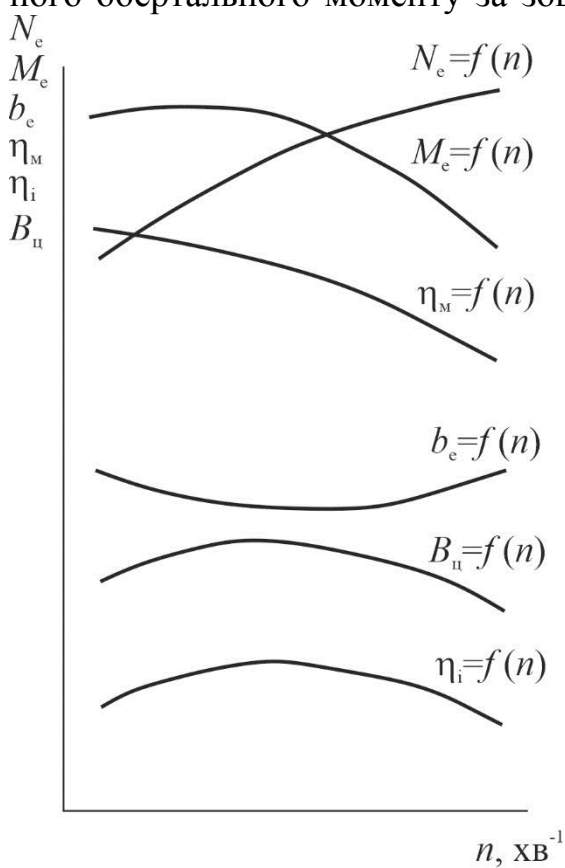


Рис. 12. Зміна параметрів дизеля за зовнішньою характеристикою

Зовнішню характеристику дизелів звичайно одержують експериментальним шляхом. Для проведення роботи використовується дизель-генераторна установка Д50 із навантаженням на водяний реостат. Для проведення даної роботи у сис-

темі регулювання виключена диференціальна обмотка збудника та регулювання напруги здійснюється вручну шляхом зміни струму його незалежної обмотки. Регулятор дизеля також відключається шляхом від'єднання важеля подачі палива від передачі до штока сервомотора. Замість цього важіль подачі палива з'єднується зі спеціальним пристосуванням, що закріплене на колекторі паливного насоса і являє собою двоходову стяжну муфту, що дозволяє змінювати положення рейок паливного насоса. Зміна навантаження на вал дизеля проводиться регулюванням струму збудження збудника і переміщенням ножів водяного реостата.

Для отримання зовнішньої характеристики необхідно встановити номінальний навантажувальний режим роботи дизеля, а потім, не змінюючи положення рейок паливного насоса, збільшувати навантаження. При цьому частота обертання вала буде зменшуватися.

Для декількох сталих режимів роботи дизеля проводяться зміна і розрахунок необхідних параметрів.

Ефективна потужність дизеля

$$N_e = \frac{k_a}{\eta_a} \cdot U \cdot I \cdot 10^{-3}. \quad (8.3)$$

Обертальний момент дизеля, кН·м,

$$M_e = 9,555 \cdot \frac{N_e}{n}. \quad (8.4)$$

Питома ефективна витрата палива за (7.4).

Сумарна циклова подача палива, г/цикл

$$\sum b_o = \frac{1,2 \cdot 10^5 \cdot b_{a\hat{n}}}{\Delta t \cdot n}, \quad (8.5)$$

де $b_{a\hat{n}}$ – витрата палива за дослід, кг;

Δt – тривалість дослід, с.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із застосовуваними при проведенні роботи приладами і записати в таблицю їх технічні дані за формою, що приведена раніше.

2. Відповідно до інструкції провести пуск дизеля та відрегулювати нормальний тепловий режим його роботи.

3. Заглушити дизель і зробити монтаж пристосування для управління подачею палива вручну. З цією метою необхідно витягти валик, що з'єднує важіль подачі палива з передачею до регулятора дизеля, і закріпити у вушку

важеля палець пристосування. Обертанням стяжної муфти встановити режим паливного насоса на нульову подачу палива (сьоме ділення рейки).

4. Виконати пуск дизеля при відключеному регуляторі. Для цього після включення кнопки "Пуск дизеля" необхідно поступово збільшувати подачу палива відповідним обертанням гвинта стяжної муфти пристосування до появи спалахів у циліндрах (два оберти гвинта за годинниковою стрілкою). Коли тиск мастила досягне 0,2 МПа відпустити кнопку «Пуск дизеля». При зниженні обертів вала дизеля необхідно за допомогою стяжної муфти трохи збільшити подачу палива. У випадку зростання обертів вала – ввімкнути кнопку «Управління машинами» і перевести рукоятку контролера машиніста на першу позицію, створюючи невеликий струм навантаження (приблизно 100...150 А). Всі дії, пов'язані з пуском дизеля без регулятора, потребують певних навичок і повинні проводитися з великою пильністю. Під час роботи дизеля без регулятора відсутній захист від зниження тиску мастила. Тому обов'язково здійснюється постійний контроль за величиною тиску в масляній системі дизеля. У випадку зниження тиску мастила менше 0,18 МПа дизель необхідно заглушити вимиканням кнопки «Паливний насос».

5. Встановити навантажувальний режим роботи дизеля відповідно до вказівок керівника. Регулювання дизеля проводити обертанням гвинта стяжної муфти у бік збільшення подачі палива і збільшенням навантаження шляхом зміни струму збудження збудника або переміщення ножів водяного реостата.

6. Провести вимір параметрів роботи дизеля на декількох сталих режимах зовнішньої характеристики. Визначення витрати палива проводиться ваговим способом аналогічно попереднім роботам. Результати вимірів необхідно записати до табл. 8.

Таблиця 8

Результати вимірів

Номер дослідів	Частота обертів вала n , хв^{-1}	Напруга генератора U , В	Струм навантаження I , А	ККД генератора η_r	Ефективна потужність дизеля, N , кВт	Обертальний момент дизеля M_e , кН м	Витрати палива $b_{\text{дос}}$, кг	Тривалість дослідів Δt , с	Питома ефективна витрата палива b_e , кг/кВт·г	Сумарна циклова подача палива $\sum b_{\text{ц}}$, г

7. Зробити розрахунки основних параметрів дизеля за (8.3–8.5). Побудувати графічні залежності $\dot{I}_a = f(n)$, $B_e = f(n)$, $\sum B_o = f(i)$.

8. За характеристикою $\dot{I}_e = f(\ddot{i})$ визначити коефіцієнт пристосованості дизеля

$$K_i = \frac{M_e^{\max}}{M_e^{i_{oi}}}, \quad (8.6)$$

де $M_e^{\max}$ і $M_e^{i_{oi}}$ – відповідно максимальний і номінальний обертальні моменти за зовнішньою характеристикою.

При аналізі характеру кривих використовується теоретична частина методичних вказівок.

Оформлення звіту по роботі

Звіт повинний містити: мету роботи, перелік і характеристику вимірювальних приладів і обладнання, стислий опис виконаної роботи, таблицю вимірів, необхідні розрахунки, графіки та їхній аналіз.

Контрольні запитання та завдання

1. Що являє собою зовнішня характеристика дизеля?
2. Що являють собою часткові швидкісні характеристики та яким чином вони визначаються?
3. Пристосованість (саморегулювання дизеля) та його показник.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія [Текст]: Підручник / В. Г. Дяченко. За ред. А. П. Марченка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 488 с.
2. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: Підручник. – К.: Арістей, 2004. – 474 с.
3. Випробування двигунів внутрішнього згоряння: Навч. посібник / Ю. Ф. Гутаревич, А. О. Корпач – Київ: НТУ, 2002. – 191 с.
4. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. / За редакцією проф. А. П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А. Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. – 464 с.

Навчально-методичне видання

Боднар Борис Євгенович
Мартишевський Михайло Іванович
Бобирь Дмитро Валерійович

ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Методичні рекомендації до лабораторних робіт

Електронне видання

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка Д. В. Бобирь

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. __. Обл.-вид. арк. __ .

Український державний університет
науки і технологій
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавця
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010