

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінжинірингу

ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ

Методичні вказівки та рекомендації щодо
вивчення практичних (лабораторних) занять

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", курс 4

Суми – 2024

УДК 631.3
Н 34

Укладачі: Лебедєв А.Т., доктор технічних наук, професор
Шуляк М.Л., доктор технічних наук, професор
Батюк Л.М., зав. лабораторією кафедри агроінжнірингу

Н 34 Науково-методичне забезпечення навчального процесу :

Методичні вказівки та рекомендації щодо вивчення практичних (лабораторних) занять з дисципліни «Енергетичні засоби» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 " Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", курс 4 [Текст]/ укл.: А.Т. Лебедєв, М. Л. Шуляк, Л.М. Батюк – СНАУ.- Суми.- 2024. – 50 с.

В методичних вказівках щодо вивчення лабораторних занять наведені стислі відомості щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни «Трактори і автомобілі» розділ «Теорія, розрахунок і аналіз роботи автотракторних ДВЗ».

Рецензенти:

Зубко В.М., доктор технічних наук, професор кафедри агроінжнірингу Сумського національного аграрного університету
Думанчук М.Ю., кандидат технічних наук, доцент кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету

Відповідальний за випуск: Шуляк М.Л., доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 6 від «22» 05. 2024 року

© А.Т. Лебедєв, М. Л. Шуляк, Л.М.Батюк – 2024

© Сумський національний аграрний університет, 2024

ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
Техніка безпеки	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. Системи автоматичного регулювання двигунів ав- тотракторного типу	6
ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. Визначення основних показників паливних насо- сів високого тиску по даним стендових випробувань.....	11
ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. Характеристики паливного насоса по подачі пали- ва та швидкості обертання	15
ПРАКТИЧНА РОБОТА 4. Регуляторна характеристика паливного насоса ви- сокого тиску	22
ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. Визначення основних параметрів двигуна по да- ним стендових випробувань.....	27
ПРАКТИЧНА РОБОТА 6. Регуляторна характеристика дизельного двигуна	31
ПРАКТИЧНА РОБОТА №7. Регулювальна характеристика дизеля по момен- ту початку подачі палива.....	39
ПРАКТИЧНА РОБОТА №8. Вивчення процесу коксування соплових отворів розпилювачів форсунок дизеля та його вплив на основні показники двигуна ..	44

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дизельні двигуни належать до основних засобів генерації механічної енергії, які використовуються в сільськогосподарському виробництві.

На досягнутому рівні технічного прогресу розвиток і удосконалення двигунів внутрішнього згорання та їх систем неможливе без цілеспрямованої та узгодженої роботи конструкторів, технологів, з одного боку, та інженерів, які займаються експлуатацією сільськогосподарської техніки з іншого. Роль останніх набула особливої важливості у зв'язку з тим, що оцінка конструкції двигуна, визначення його відповідності технічним та загальним вимогам, що належать фахівцям сільськогосподарського виробництва.

При сучасному рівні розвитку дизелебудування інженер-механік сільськогосподарського виробництва повинен не тільки знати конструкцію двигунів та основи їх експлуатації, але й повинен володіти методами їх випробувань та вміти дати кваліфіковану оцінку одержаним результатам.

Цикл лабораторних робіт «Стендові випробування тракторних дизелів та систем паливоподачі» є складовою частиною розділу курсу «Основи теорії та аналіз роботи автотракторних двигунів». Вони поділяються на два цикли. Перший з них об'єднує три лабораторних роботи, які включають стендові випробування паливних насосів високого тиску; другий теж три – стендові випробування тракторних дизелів.

При виконанні кожної практичної роботи необхідно дотримуватись наступної послідовності:

- засвоїти мету практичної роботи; умови та техніку проведення випробувань; основні принципи виконання аналізу отриманих даних;
- практична робота на випробувальних стендах та отримання вихідних даних;
- розрахунок даних для будови відповідних характеристик;
- проведення аналізу побудованих характеристик.

Після виконання теми потрібно виконати завдання та питання для самоперевірки, які наведені в кінці кожної теми.

Звіт по кожній лабораторній роботі повинен включати будову графічного відображення відповідних характеристик та проведення аналізу отриманих в процесі випробування дослідних даних. Звіт необхідно оформити по формах, які доведені в кожній лабораторній роботі.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

1. При стендових випробуваннях повинні виконуватись вимоги безпеки та виробничої санітарії, які передбачені стандартами, технічною документацією підприємств-виробників двигунів, стенди, вимірювальні прилади, палива, мастила та охолоджувальні рідини.

2. Студент може розпочати виконання практичної роботи тільки після ознайомлення з правилами техніки безпеки та отриманням інструктажу на робочому місці.

3. Перш, ніж увімкнути агрегати випробувального стенду, необхідно:

- переконатися в тому, що ніхто не доторкується до вузлів стенду, які обертаються,
- попередити усіх осіб, що знаходяться біля стенду, про початок роботи.

4. Робота стенду повинна здійснюватись тільки при умові увімкненої вентиляційної системи.

5. Під час проведення випробувань забороняється:

- залишатися у безпосередній близькості з вузлами стенду, що обертаються;
- торкатися деталей випускної системи двигуна;
- залишати прилади та інструменти поблизу працюючих вузлів стенду;
- розливати пальне, мастила та технічні рідини;
- перебувати на місцях, не передбачених методикою виконання практичної роботи.

З правилами ознайомлений:

Студент _____

(підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ДВИГУНІВ АВТОТРАКТОРНОГО ТИПУ

Використання всережимних систем автоматичного регулювання (САР) двигунів сільськогосподарських мобільних енергетичних засобах автотракторного типу викликане необхідністю підтримувати стандартні техніко-економічні параметри машино-тракторного агрегату (МТА) як на номінальному, так і на часткових режимах роботи, незалежно від перемінної величини зовнішнього навантаження. Своє призначення САР дизельних двигунів реалізують шляхом змінювання параметрів паливоподачі.

У дизельних двигунах - двигунах з внутрішнім способом сумішоутворення, подача палива у камеру згоряння забезпечується низкою агрегатів, які у сукупності виконують де-кілько функцій. Основні з цих функцій такі: 1 – подача визначеної дози палива за один цикл роботи двигуна (дозування паливоподачі); 2 – подача палива у визначений по куту обертання колінчастого валу момент фази розвитку робочого циклу (фазування паливоподачі).

У сучасних дизелях функція дозування реалізується за рахунок переміщення органа, керуючого паливоподачею. Для багатосекційних паливних насосів високого тиску - це рейка і зв'язані із нею плунжерні пари. У розподільних насосах типу НД – це муфта-дозатор паливної секції.

Автоматичне дозування у насосах цього типу забезпечується спеціальним пристроєм - регулятором, яких розташований в одному агрегаті з паливним насосом. Регулятор - всережимний, механічний, прямої дії, обладнаний коректором подачі палива і автоматичним збагаченням паливоподачі на пускових режимах.

Фазове регулювання паливоподачі передбачає подачу палива з деяким випередженням приходу поршня у ВМТ – верхню мертву точку. Цей захід є необхідним для здійснення процесів сумішоутворення, а його величина залежить від терміну протікання цих процесів, тобто від частоти обертання колінчастого валу.

Автоматичне регулювання фаз впорскування здійснюється шляхом розташування у приводі паливного насоса механічної відцентрової муфти.

1. Мета роботи

- вивчення призначення та основ функціонування систем автоматичного регулювання двигунів автотракторного типу;
- вивчення принципу дії складових систем автоматичного регулювання.

2. Послідовність виконання практичної роботи

При виконанні теми необхідно розглянути наступні питання:

- необхідність автоматичного регулювання двигунів автотракторного типу;

– способи автоматичного регулювання двигунів внутрішнього згоряння (дозування паливоподачі; регулювання фаз паливоподачі).

– функціонування складових системи дозування дизельних двигунів (регуляторів частоти обертання колінчастого валу і паливних насосів високого тиску) на таких режимах: режим пуску (робота збагачувача паливоподачі); на часткових режимах; на номінальному режимі; на режимах перевантаження (робота вузла корекції паливоподачі); на режимі холостого ходу.

– забезпечення фазового регулювання паливоподачі за рахунок відцентрової муфти зміни кута випередження подачі палива.

3. Звіт по темі

3.1. Двигун внутрішнього згоряння, як об'єкт регулювання

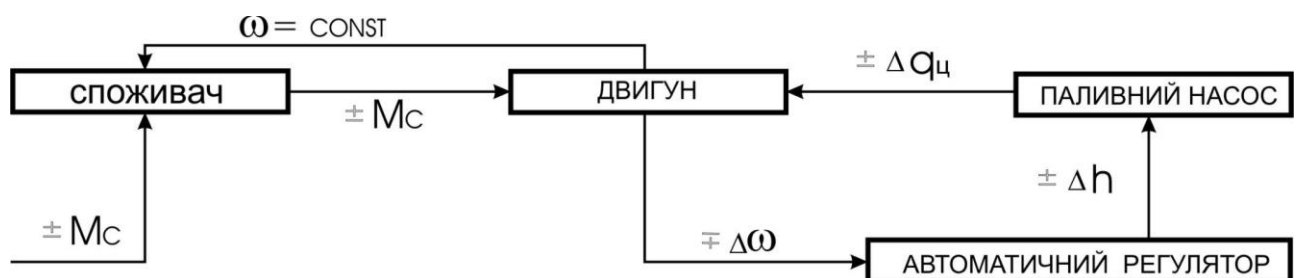


Рис. 1.1. Структурна схема двигуна як об'єкта регулювання

Вкажіть функціональне призначення складових схеми (рис. 1.1):

Споживач -

Двигун -

Автоматичний регулятор -

Паливний насос –

Вкажіть назву параметрів (і їх одиниці виміру), за якими визначається функціональне призначення складових схеми (рис. 1.1)

$\pm M_c$ -

$\pm \omega$ -

$\pm \Delta h$ -

$\pm \Delta q$ -

3.2. Відцентровий регулятор паливного насосу високого тиску

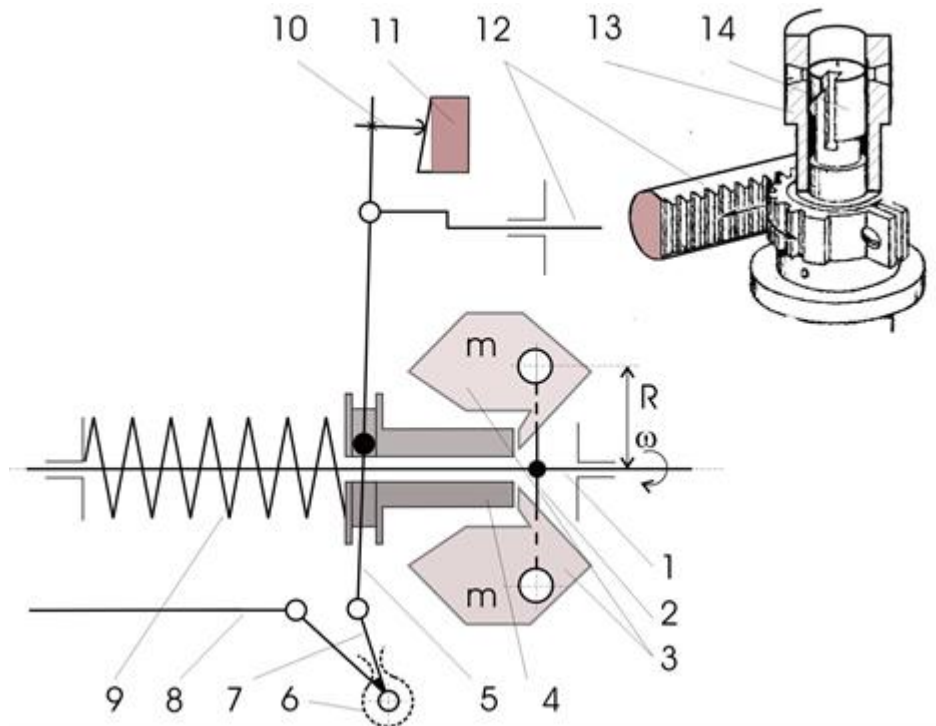


Рис. 1.2. Схема системи дозувального регулювання за допомогою регулятора типу РВ

Поясніть по наведеній на рис.1.2 схемі принцип дії відцентрового регулятора і паливного насоса:

Вкажіть назву і призначення складових системи автоматичного регулювання відповідно до номерів специфікації рис 1.2.

- 1 –
- 2 –
- 3 –
- 4 –
- 5 –

6 –
 7 –
 8 –
 9 –
 10 –
 11 –
 12 –
 13 –
 14 –

3.3. Муфта зміни кута випередження подачі палива

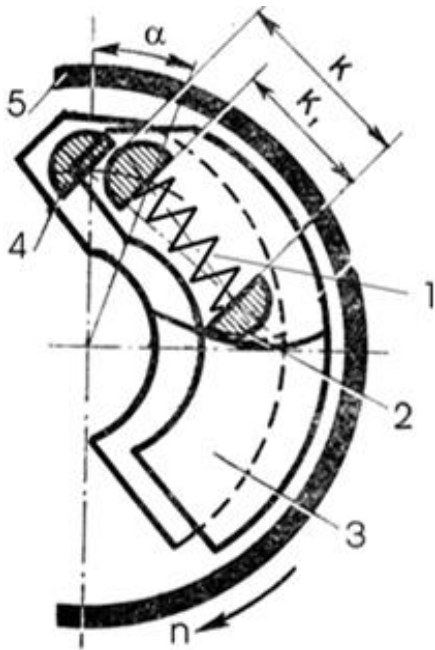


Рис. 1.3. Схема дії автоматичної муфти зміни кута випередження подачі палива:

n – частота обертання муфти, об/хв.;
 k – довжина пружини при n ;
 k_1 – довжина пружини при n'' ($n'' > n$);
 α – кут провертання веденої півмуфти при n''

Поясніть по наведеній на рис. 1.3 схемі принцип дії відцентрової муфти зміни кута випередження подачі палива:

Вкажіть назву і призначення складових муфти відповідно до номерів специфікації на рис. 1.3.

1 –

2 –

3 –

4 –

5 –

4. Висновки

5. Питання для самоперевірки знань по темі

1. Як навантаження МТА в експлуатації впливає на режим роботи двигуна?
2. Яким чином забезпечується дозувальне регулювання дизельного двигуна?
3. Яким чином забезпечується фазове регулювання дизельного двигуна?
4. До яких наслідків у роботі двигунів автотракторного типу може призвести порушення функціонування САР, у цілому, і окремих її складових?

Література по темі

1. Трактори та автомобілі. Теорія двигунів внутрішнього згоряння: Підручник / М. Г. Сандомирський та ін. Харків: ХНТУСГ, 2021. 284 с.
2. Автомобіль вантажний / Сучасні конструкції: підручник. А. Т. Лебедев, В. Д. Мигаль, І. О. Шевченко, М. Л. Шуляк; За ред. проф. А.Т. Лебедева. Х.: ХНТУСГ; Вид-во «Майдан», 2020. – 363 с. ISBN 978-966-372-729-5.

Роботу виконав _____
П.І.Б (підпис)

Роботу прийняв _____
П.І.Б (підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ПО ДАНИМ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

1. Мета роботи

- ознайомлення з видами та програмами випробувань паливних насосів високого тиску (ПНВТ);
- вивчення випробувального стенду та придбання практичних навиків використання його обладнання;
- засвоєння методики визначення показників паливоподачі ПНВТ за даними стендових випробувань.

2. Загальні положення

Перед початком випробування паливної апаратури, взагалі, і ПНВТ, зокрема, необхідно з'ясувати мету випробувань, ознайомитись з обладнанням випробувального стенду, методикою його використання та розрахунковими формулами для визначення параметрів паливоподачі.

Відповідно до мети випробувань, передбачається отримання функціональних залежностей кожного з параметрів паливоподачі від параметру, який приймається за аргумент. Такі залежності являють собою характеристики паливоподачі.

Оцінка паливного насоса по результатах вимірювань кількості впорскуваного палива буде об'єктивною характеристикою насоса лише в тому випадку, якщо буде забезпечена ідентичність паливопроводів та форсунок, оскільки результати таких вимірювань визначаються не тільки показниками паливного насоса, але й іншими елементами, тобто всією системою паливоподачі. Тому перед зняттям характеристик паливного насоса усі елементи системи паливоподачі повинні бути проеталоніровані, а паливний насос повинен бути відрегульований відповідно технічним умовам»

3. Обладнання випробувального стенду

Випробування ПНВТ з метою як регулювання, так і отримання характеристик паливоподачі здійснюється на спеціальних (безмоторних) стендах. Ці стенди, мають механізм приводу з клінопасовим варіатором частоти обертання приводного валу, паливних баків, мензурок для вимірювання об'єма палива, яке подається паливним насосом через форсунку, лічильника числа циклів (сумарного лічильника числа обертів вала приводу), стробоскопічного пристрою для вимірювання кута початку впорскування палива, градуйованого диска для визначення кутового положення кулачкового валу ПНВТ, з'єднувальних муфт та паливопроводів, пристроїв для реєстрації параметрів паливоподачі та керування роботою стенда.

4. Стенд для випробування КИ-921М (СДТА-2)

Стенд КИ-921М (СДТА-2) призначений для випробування та регулю-

вання паливної апаратури автотракторних дизельних двигунів (рис. 2.1). На стенді можна виконувати наступні операції:

- випробувати та регулювати ПНВТ (з кількістю секцій до 8) по наступним параметрам: величина подачі насосними елементами, кут початку подачі палива методом проливання від стендового насосу, кут початку подачі палива через форсунки, тиск підйому нагнітаючих клапанів та геометричну довжину подачі;
- випробувати паливо-підкачуючи насос на подачу та максимальний тиск;
- випробувати паливні фільтри на герметичність та гідравлічний опір.

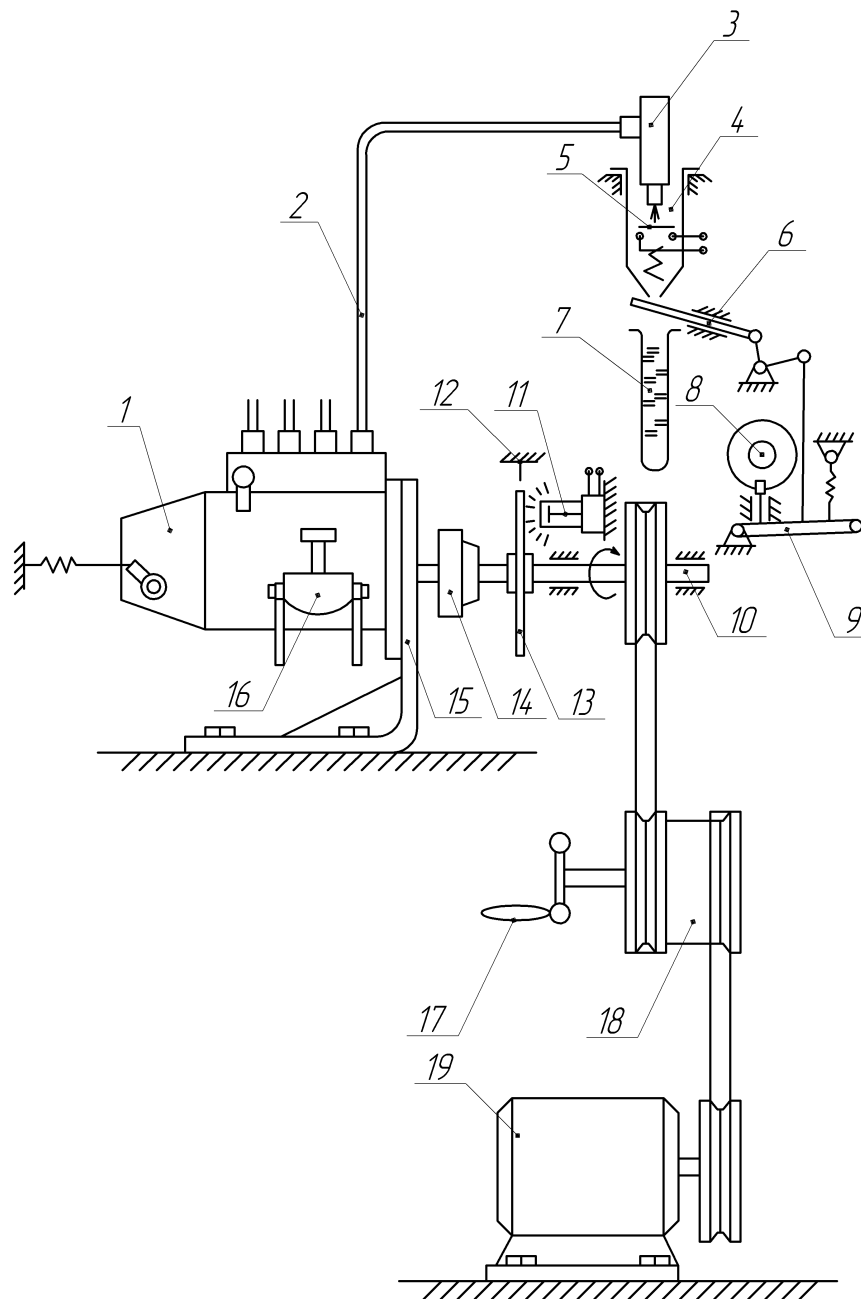


Рис. 2.1. Схема випробувального стенда КИ-921М (СДТА-2)

Поясніть по наведеній схемі (рис. 2.1) принцип дії випробувального стенда КИ-921М:

Вкажіть назву складових стенду КИ-921М (рис 2.1):

1 –	11 –
2 –	12 –
3 –	13 –
4 –	14 –
5 –	15 –
6 –	16 –
7 –	17 –
8 –	18 –
9 –	19 –
10 –	

5. Порядок роботи на стенді при проведенні випробування:

- перед початком роботи необхідно провести зовнішній огляд стенду, комплектність його обладнання;
- встановити ПНВТ на кронштейн стенду, з'єднати його кулачковий вал з валом приводу та підключити до насоса паливопроводи низького та високого тиску;
- увімкнувши стенд, звернути увагу на напрямок обертання насосу;
- перевірити місця з'єднання трубопроводів насоса і стенда на відсутність підтікання палива;
- приступити до випробувань, згідно до технічних вимог та програми випробувань.

6. Звіт по темі

Технічна характеристика паливного насоса високого тиску заносять до табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Технічна характеристика ПНВТ

Назва параметра	Розмірність	Значення параметра
Марка		
Двигун		
Число секцій паливоподачі, i		
Діаметр плунжера, D	мм	
Хід плунжера, S	мм	
Номінальна частота обертання кулачкового вала, n	об/хв	

7. Висновки

8. Питання для самоперевірки знань по темі

1. Яку мету передбачає проведення стендових випробувань ПНВТ?
2. Що ми називаємо характеристикою паливоподачі?
3. Яким чином на стендах типу КИ-921М (СДТА-2) встановлюється необхідна частота обертання кулачкового вала насоса?
4. В якому порядку треба проводити роботу на стенді при випробуванні ПНВТ?
5. Яким чином можна отримувати досвідні дані по виміру продуктивності паливного насоса та кута початку впорскування палива?
6. Які дані необхідно мати для визначення циклової подачі палива та нерівномірності паливоподачі по секціях насосу?

Література по темі

1. ДСТУ 3766-98. Апаратура паливна дизельна. терміни та визначення. – Введ. 2000-07-01.
2. Теорія технічної експлуатації автомобілів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, А. Т. Лебедєв, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2019. 276 с.

Роботу виконав _____ П.І.Б. _____ (підпис)
 Роботу прийняв _____ П.І.Б. _____ (підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВНОГО НАСОСА ПО ПОДАЧІ ПАЛИВА ТА ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ

1. Мета роботи:

– визначи вплив на величину циклової подачі палива плунжерним паливним насосом високого тиску положення паливо дозуючого пристрою (рейки - для ПНВТ секційного типу або дозатора - для розподільного ПНВТ) від частоти обертання.

– визначити ступінь нерівномірності циклової подачі палива.

2. Загальні положення

Характеристикою ПНВТ по подачі палива - називають залежність циклової подачі палива $q_{\text{ц}}$ і ступеня нерівномірності δ від положення паливо дозуючого органа при незмінній частоті обертання кулачкового вала ПНВТ. Очевидно, що такі характеристики можуть бути зняті для різних частот обертання. Важливішою є характеристика, яку знімають при номінальній частоті обертання кулачкового вала.

Характеристикою ПНВТ по частоті обертання (швидкісною) називають залежність циклової подачі палива $q_{\text{ц}}$ і ступеня нерівномірності δ від частоти обертання кулачкового вала насоса при незмінному положенні паливо дозуючого органа. Очевидно, що такі характеристики можуть бути зняті для різних положень паливо дозуючого органа. Важливішою є характеристика, яка знята при положенні паливо дозуючого органа, який забезпечує номінальну циклову подачу при номінальній частоті обертання кулачкового вала ПНВТ.

При конструюванні паливних насосів прагнуть забезпечити лінійну залежність циклової подачі $q_{\text{ц}}$ від положення рейки ПНВТ або дозатора в розподільних з тим, щоб тому ж самому переміщенню органа управління відповідала така ж сама зміна циклової подачі. В секціях ПНВТ це досягається незмінним кутом нахилу відсічної кромки (спіральної канавки) на плунжері, в розподільних ПНВТ – встановленням дозатора на самому плунжері.

Тому відхилення від лінійної залежності $q_{\text{ц}} = f(h)$ може розглядатися як порушення технічного стану плунжерної пари паливного насоса.

Залежність циклової подачі від частоти обертання $q_{\text{ц}} = \varphi(n)$ для всіх положень паливо дозуючого органа є нелінійною, при тому із зниженням частоти циклова подача $q_{\text{ц}}$ зменшується незважаючи на зафіксоване (незмінне) положення паливо дозуючого органа. Ця залежність характерна для всіх плунжерних ПНВТ з золотниковим принципом паливо-розподілу, тобто насосів, у яких підвід палива в надплунжерний об'єм відбувається крізь впускні вікна у втулці, які перекриваються плунжером при ході нагнітання, а припинення подачі здійснюється крізь відсічні вікна при співпадати з ними спіральної канавки на поверхні плунжера, яка, в свою чергу, з'єднана каналами з надплунжерним об'ємом.

Зазначена залежність $q_u = \varphi(n)$ визначається двома причинами:

а) зі зниженням частоти обертання тривалість нагнітального ходу плунжера зростає, що призводить до збільшення витоку палива з порожнини нагнітання у відсічну порожнину крізь зазор між плунжером та втулкою плунжера;

б) при перекритті плунжером впускного вікна на ході нагнітання, частка палива з надплунжерного об'єму викидається назад у впускну порожнину; чим швидше переміщення плунжера, тим менша маса палива встигає витікати у впускну порожнину до моменту перекриття плунжером впускного вікна, що призводить до збільшення циклової подачі. І, навпаки, при зниженні частоти час на зворотне витікання палива збільшується, а тому кількість палива, яке подається плунжером в систему нагнітання, і, як слідство, циклова подача не зменшується.

Описана особливість залежності $q_u = \varphi(n)$ робить систему керування дизеля шляхом безпосередньої дії від акселератора на орган керування паливним насосом малопридатною для тракторів, при роботі яких можливі часті та випадкові перевантаження. Зниження частоти, викликане перевантаженням, буде супроводжуватися зменшенням циклової подачі, що буде призводити до подальшого зниження частоти і в ряді випадків до зупинення двигуна.

3. Обладнання, необхідне для виконання практичної роботи

1. Стенд для регулювання та випробування паливної апаратури КИ-921М.

2. Паливний насос ЛСТН - 8,5х10 з комплектом еталонних паливопроводів високого тиску та форсунок ФД-22.

3. Пристрій для фіксування рейки в різних положеннях, обладнаний засобом, що вимірює її переміщення (для вимірювання використовується штангенциркуль з ціною ділення 0,1 мм).

4. Порядок виконання практичної роботи

4.1. Характеристику по подачі палива $q_u = f(h)$ знімають при номінальній частоті обертання кулачкового вала ($n = 850 \text{ об/хв}$), яку встановлюють за допомогою варіатора стенду та контролюють тахометром.

Задають початкове положення рейки при мінімальній подачі та вимірюють останню для кожної секції паливного насоса шляхом впорскування палива в мірні мензурки кожною форсункою за кількість циклів n_u , що дозволяє підвищити точність вимірювання, з подальшим визначенням q_u шляхом ділення кількості зібраного в мензурки палива на кількість циклів впорскування n_u . Зручно приймати $n_u = 500$.

Після завершення першого вимірювання переміщують рейку на 2 мм, і

знову закріплюють. Повторюють вимірювання при новому положенні рейки і так діють аж до одержання максимальної подачі.

Характеристику по подачі можна зняти також при інших частотах обертання кулачкового вала та іншій кількості циклів.

4.2. Характеристику по частоті обертання (швидкісну) $q_u = \varphi(n)$

знімають після визначення положення та закріплення рейки паливного насоса. Останнє виконують наступним чином: встановлюють номінальну частоту обертання, наприклад $n = 850 \text{ об/хв}$, та (при положенні акселератора на упорі) закріплюють рейку у положенні, яке вона на цьому режимі зайняла. В подальшому при всіх дослідках це зафіксоване положення зберігають незмінним. Далі встановлюють послідовно частоти обертання 550, 650, 750, 850, 875 і 925 об/хв, і вимірюють на кожній частоті кількість палива, яке подають форсунки.

Характеристику по частоті обертання можна зняти також при інших положеннях рейки паливного насоса.

5. Формули для визначення основних параметрів паливоподачі

5.1. Середня паливоподача насосом:

$$Q_{cp} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{i}, \text{ см}^3 \quad (3.1)$$

де $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ - кількість палива, яку подає кожна паливна секція насоса за одне випробування, см^3 ;

i - кількість паливних секцій.

5.2. Циклова подача палива (середня):

$$q_u = \frac{Q_{cp}}{n_u} \rho_m \cdot 10^3, \frac{\text{мг}}{\text{цикл}} \quad (3.2)$$

де n_u - кількість циклів паливоподачі, за випробування;

ρ_m - густина палива, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Примітка. Густина палива при кожному випробуванні необхідно вимірювати (наприклад, за допомогою нафтоденсиметра). При температурі навколишнього середовища 20°C $\rho_m = 0,830 \dots 0,835 \text{ г/см}^3$.

5.3. Годинна витрата палива двигуном:

$$G_m = \frac{60 q_u n i}{1,07 \cdot 10^6}, \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (3.3)$$

де n - кількість обертів кулачкового вала, $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$; i - кількість секцій паливного насоса;

5.4 Нерівномірність паливоподачі по секціях насосу:

$$\delta = \frac{2(Q_{\max} - Q_{\min})}{Q_{\max} + Q_{\min}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

де $Q_{\max}$, $Q_{\min}$ -відповідно, максимальна та мінімальна паливоподача з загального числа секцій насоса, см^3 .

6. Звіт по темі

6.1. Об'єкт досліджень

Таблиця 3.1. Технічні дані ПНВТ

Параметр	Розмірність	Значення
Паливний насос (марка)		
Двигун (марка)		
Тип насосу		
Обладнаний регулятором (тип)		
Встановлений на випробувальному стенді (марка)		
Кількість паливних секцій		
Діаметр плунжера	мм	
Хід плунжера	мм	
Номінальна частота обертання кулачкового валу	об/хв	
Циклова подача палива на номінальному режимі	мг/ц	

Результати вимірювань заносять у таблиці 3.2 та 3.3. Обробку результатів проводять за формулами (3.1-3.4).

6.2. Результати випробувань

**Таблиця 3.2. Результати випробувань
(характеристика ПНВТ по подачі палива)**

№	h , мм	n , об/хв	$n_{\text{ц}}$	Витрата палива по секціях				$Q_{\text{ср}}$	$q_{\text{ц}}$, мг/ц	δ , %	G_m , кг/год
				Q_1	Q_2	Q_3	Q_4				
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Для побудови графіка характеристики ПНВТ по подачі палива $q_u = f(h)$ вибирають масштаби для q_u , δ , G_m і h та будують графіки залежностей подачі палива від положення рейки $q_u = f(h)$, $\delta = f_1(h)$, $G_m = f_2(h)$.

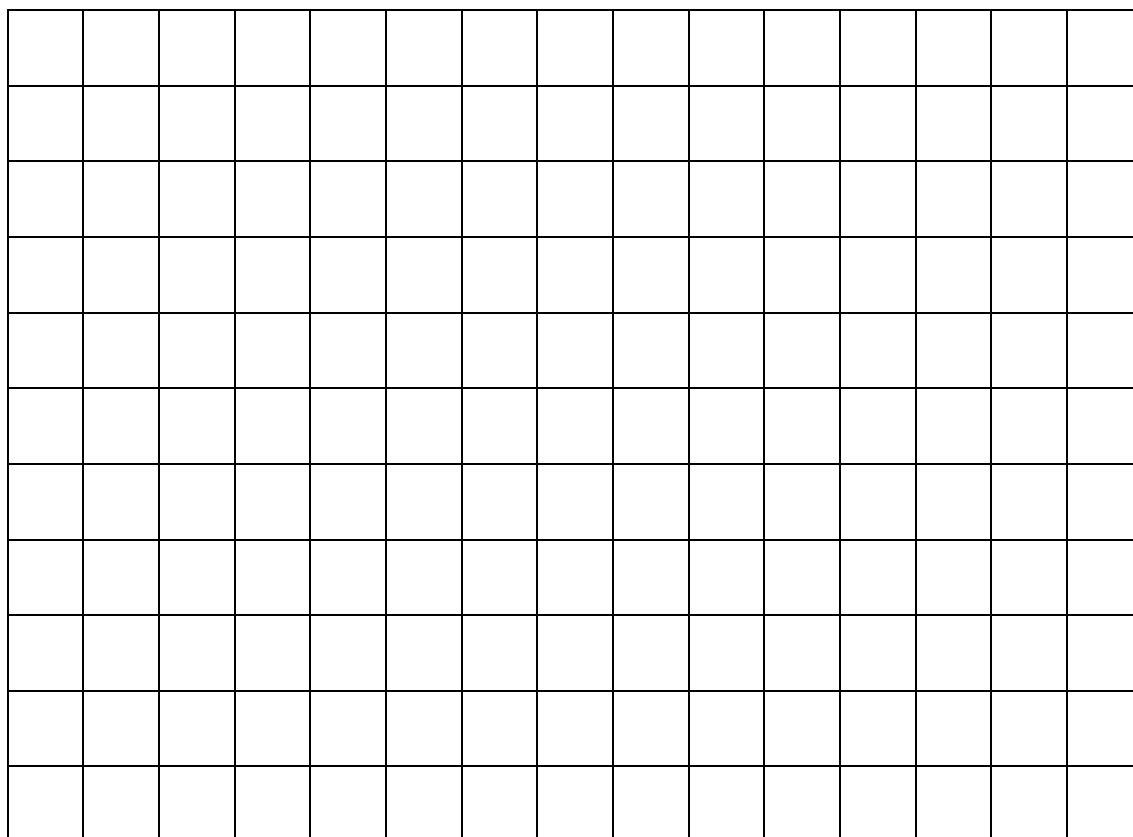


Рис. 3.1. Характеристики випробуваного ПНВТ по подачі палива

Таблиця 3.3. Результати випробувань
(характеристика по частоті обертання (швидкісна))

№	h , мм	n , об/хв	n_u	Витрата палива по секціях				Q_{cp}	q_u , мг/ц	δ , %	G_m , кг/год
				Q_1	Q_2	Q_3	Q_4				
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Для побудови графіка характеристики ПНВТ по частоті обертання

(швидкісної) $q_u = \varphi(n)$ вибирають масштаби для q_u , δ , G_m і n та будують графіки залежностей подачі палива від положення рейки $q_u = \varphi(n)$, $\delta = \varphi_1(n)$, $G_m = \varphi_2(n)$.

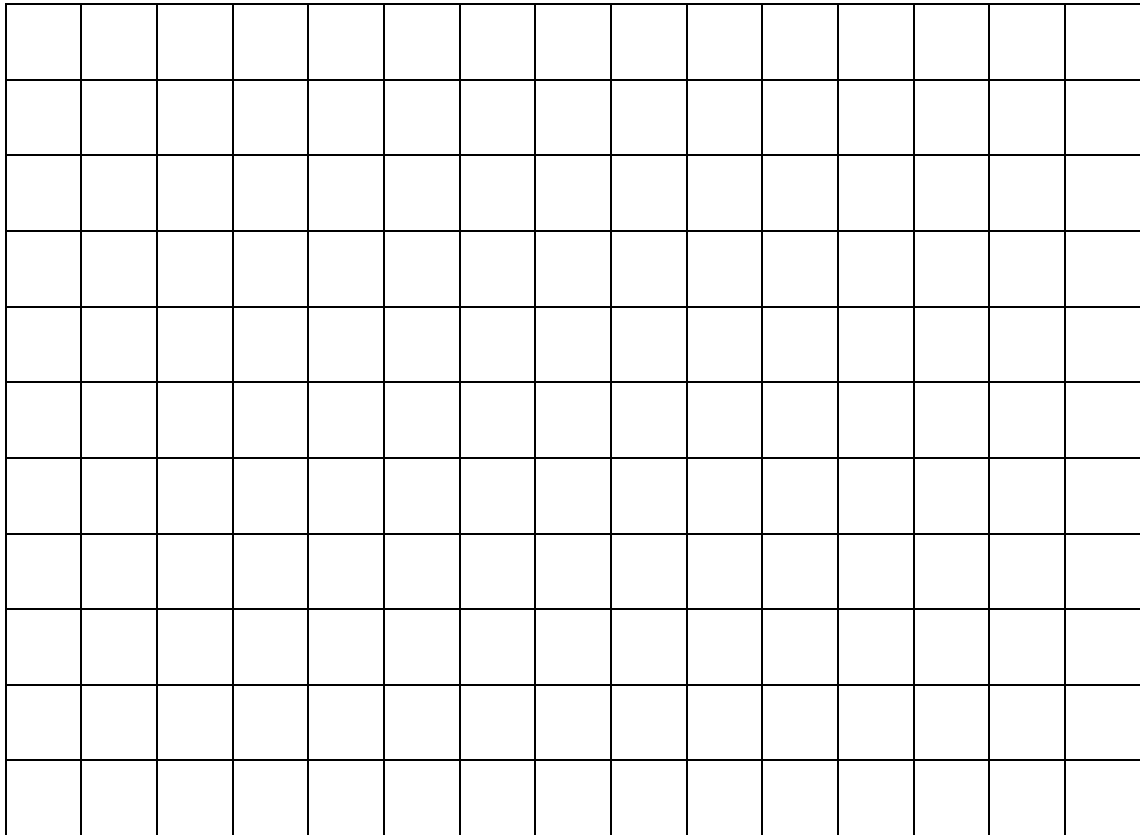


Рис. 3.2. Характеристики випробуваного ПНВТ по частоті обертання

6.3. Аналіз характеристик ПНВТ по подачі палива

Поясніть лінійності графіка $q_u = f(h)$:

Поясніть причину, яка призводить до росту нерівномірності подачі δ при зменшенні q_u :

Поясніть чому на номінальній режимі допускають $\delta < 3\%$, а на холостому ході $\delta < 30\%$:

6.4. Аналіз характеристик ПНВТ по частоті обертання

Дайте пояснення причин, які обумовлюють одержану форму характеристики $q_u = \varphi(n)$.

Приведіть оцінку придатності одержаної характеристики для двигуна.

7. Висновки

8. Питання для самоперевірки знань по темі

1. Що являють собою характеристики паливного насоса по подачі та частоті обертання?
2. Яка мета зняття характеристик по подачі та частоті обертання?
3. Як знімають характеристики на стенді?
4. Чому ступінь нерівномірності паливоподачі по секціях паливного насоса суттєво залежить від величини циклової подачі?
5. Чому при зафіксованій рейці при зниженні частоти обертання подача палива зменшується?
6. Як оцінюють відповідність (або невідповідність) форми характеристики $q_u = \varphi(n)$ вимогам тракторного дизеля.

Література по темі

1. ДСТУ 3766-98. Апаратура паливна дизельна. терміни та визначення. – Введ. 2000-07-01.
2. Теорія технічної експлуатації автомобілів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, А. Т. Лебедєв, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2019. 276 с.

Роботу виконав _____ П.І.Б. _____ (підпис)

Роботу прийняв _____ П.І.Б. _____ (підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4

РЕГУЛЯТОРНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ

1. Мета роботи:

встановити, яким чином за допомогою регулятора забезпечується необхідна характеристика паливного насоса плунжерного типу $q_u = \varphi(n)$ на усіх експлуатаційних режимах роботи дизеля, яку називають регуляторною.

2. Загальні положення

Регуляторна характеристика паливного насоса зображає залежність показників роботи паливного насоса від частоти обертання кулачкового вала насоса при керуванні паливоподачею за допомогою регулятора.

Основними показниками паливного насоса, які звичайно визначаються при зніманні регуляторної характеристики, являються: циклова подача, ступінь нерівномірності в подачах між форсунками та годинна подача палива всіма форсунками.

Регулятори паливних насосів тракторних дизелів (ЛСТН8,5х10, УТН-5, НД-21, НД-22) всережимні, механічні, мають коректор подачі палива та автоматичний збагачувач при пусковій частоті обертання колінчастого вала дизеля. Регулятори можуть бути прифланцовані до корпусу насоса (ЛСТН, УТН), або розташовані в одному корпусі з насосом (НД-21, НД-22).

Паливний насос, обладнаний всережимним регулятором, повинен підтримувати заданий швидкісний режим роботи дизеля шляхом збільшення або зменшення подачі палива при змінах навантаження.

Чутливі елементи усіх розглядаємих регуляторів не мають принципових відмін. Це валик який має привід від колінчастого вала дизеля, на якому жорстко закріплена маточина з ексцентрично виконаними в ній отворами для встановлення на осях вантажів регулятора, при чому центр ваги вантажів не повинен збігатися з осями їхньої підвіски.

При обертанні валика регулятора вантажі під дією відцентрових сил будуть прагнути зайняти положення, при якому їх центр ваги буде знаходитися на найбільш можливій відстані від осі обертання. Якщо прикласти до вантажів за допомогою пружини силу, яка перешкоджує повороту та зсуву їх центру ваги, то при кожній частоті вантажі будуть знаходитися в стані рівноваги, а їх центри ваги будуть ввідалені від осі обертання на тим більшу величину, чим вища частота обертання.

В усіх регуляторах вантажі кінематично зв'язують тим або іншим засобом з рейкою паливного насоса (якщо він секційного типу) або з дозатором (якщо він розподільного типу) і тим самим забезпечують зміну дози впорскуемого палива з зміною частоти обертання. Регуляторну характеристику одержують за умов незмінного положення важеля керування регулятором, тобто на всіх попередня затяжка пружини регулятора залишається незмінною. Діапазон режимів, що досліджуються, - від холостого ходу до режиму

максимальної величини циклової подачі палива. Режим максимальної величини циклової подачі палива відповідає режиму максимального крутильного моменту двигуна.

Регуляторна характеристика, що отримана при положенні важеля керування регулятором на упорі у обмежник максимального швидкісного режиму, має назву зовнішньої регуляторної характеристики. Характеристики, що отримані при положеннях важеля керування регулятором, які відповідають частковій подачі палива, називають частковими регуляторними характеристиками.

На стенді типу КИ-921М (СДТА-2) величина паливоподачі секціями паливного насоса визначається об'ємним способом за кількість циклів подачі палива, яка задається довільно лічильником циклів стенду. Швидкісний режим роботи паливного насоса задається варіатором випробувального стенду.

3. Послідовність виконання роботи

Перед початком випробувань перевірити розташування паливного насоса на стенді і технічний стан стендового обладнання.

Регуляторну характеристику $q_u = \varphi(n)$ змінюють при положенні акселератора на упорі (зовнішня регуляторна характеристика). Швидкість обертання встановлюють послідовно рівною 550, 650, 750, 850, 875 і 925 об/хв. (рейка не закріплена). На кожному режимі визначають кількість палива, яке подається секціями паливного насоса. Провести випробування.

4. Звіт по темі

4.1. Об'єкт досліджень

Таблиця 4.1. Технічні дані ПНВТ

Параметр	Розмірність	Значення
Паливний насос (марка)		
Двигун (марка)		
Тип насосу		
Обладнаний регулятором (тип)		
Встановлений на випробувальному стенді (марка)		
Кількість паливних секцій		
Діаметр плунжера	мм	
Хід плунжера	мм	
Номінальна частота обертання кулачкового валу	об/хв	
Циклова подача палива на номінальному режимі	мг/ц	

Результати вимірювань заносять у таблиці 4.2. Обробку результатів

проводять за формулами (3.1-3.4) практичної роботи №3.

4.2. Результати випробувань

**Таблиця 4.2. Результати випробувань
(регуляторна характеристика ПНВТ)**

№	n , об/хв	n_u	Витрата палива по секціях				Q_{cp}	q_u , мг/ц	δ , %	G_m , кг/год
			Q_1	Q_2	Q_3	Q_4				
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Для побудови графіка характеристик ПНВТ (регуляторної характеристики) $q_u = \varphi(n)$ вибирають масштаби для q_u , δ , G_m і n та будують графіки залежностей подачі палива від положення рейки $q_u = \varphi(n)$, $\delta = \varphi_1(n)$, $G_m = \varphi_2(n)$.

Рис. 4.1. Характеристики випробуваного ПНВТ

4.3. Аналіз регуляторної характеристики ПНВТ

Визначте значення параметрів паливоподачі на таких характерних режимах роботи паливного насоса та запишіть в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Параметри паливоподачі за режимами роботи ПНВТ

Параметр	Режим роботи насоса		
	Номінальний	Холостий хід	Максимальна подача палива
n , об/хв			
$q_{ц}$, мг/ц			
δ_n , %			
G_m , кг/год			

Приведіть пояснення характеру зміни циклової подачі на всіх ділянках характеристики, пов'язуючи з роботою дизеля.

Вкажіть на характеристиці з необхідними поясненнями найкращу зону роботи.

Розрахуйте показники, які характеризують регуляторну і коректорну гілки характеристики:

$$\delta = \frac{2(n_{\max.xx} - n_{ном})}{n_{\max.xx} + n_{ном}} \cdot 100\% = \quad (4.1)$$

де δ – ступінь нерівномірності регулятора; $n_{ном}$ – число обертів кулачкового валу на номінальному режимі; $n_{\max.xx}$ – число обертів кулачкового валу на режимі холостого ходу.

Примітка: Для механічних відцентрових регуляторів повинно бути $\delta = 6...8\%$.

$$K = \frac{q_{ц.\max}}{q_{ц.ном}} = \quad (4.2)$$

де $q_{ц.ном}$ – номінальна циклова подача палива; $q_{ц.\max}$ – максимальна циклова подача палива на коректорній ділянці характеристики, K – коефіцієнт корек-

ції.

Примітка. Паливні насоси автотракторних дизелів мають забезпечувати $K = 1,1 \dots 1,25$.

Оцініть по розрахованих показниках придатність паливного насоса для встановлення на тракторний дизель:

5. Висновки

6. Питання для самоперевірки

1. Що являє собою регуляторна характеристика паливного насоса?
2. Яка мета зняття регуляторної характеристики?
3. Як знімають регуляторну характеристику?
4. Як оцінити придатність випробуваного паливного насоса ЛСТН–8,5х10 з регулятором РВ-850 для встановлення на тракторний дизель?

Література по темі

1. ДСТУ 3766-98. Апаратура паливна дизельна. терміни та визначення. – Введ. 2000-07-01.
2. Теорія технічної експлуатації автомобілів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, А. Т. Лебедєв, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2019. 276 с.

Роботу виконав	_____	_____
	П.І.Б	(підпис)
Роботу прийняв	_____	_____
	П.І.Б	(підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ПО ДАНИМ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

1. Мета роботи:

- ознайомитися з видами та програмами випробувань;
- вивчити обладнання випробувального стенду типу СТЕУ;
- придбати практичні навички використання обладнання випробувального стенду;
- засвоїти методику визначення основних параметрів двигуна за даними стендових випробувань.

2. Загальні положення

Випробування двигунів проводяться з метою визначення їх техніко-економічних показників. Види і зміст випробувань двигунів автотракторного типу стандартизовані і регламентується відповідними нормативними документами [1,2]. В практиці двигуно-будівельних заводів (фірм) і ремонтних підприємств мають місце такі стендові випробування.

Прийомо-здавальні випробування виконують з метою контролю якості виготовлення, збирання та регулювання двигунів. Ці випробування є необхідними для усіх двигунів, які випускаються двигунобудівними фірмами, а також для двигунів, що є відремонтованими. Під час цих випробувань визначають відповідність потужносних та паливно-економічних показників параметрам номінального режиму і режиму холостого ходу.

Періодичні короткочасні випробування передбачають контроль відповідності основних параметрів двигуна його технічній характеристиці в межах режимів, що є для двигунів даного типу експлуатаційними.

Періодичні тривалі випробування виконують для контролю стабільності параметрів та надійності роботи двигунів, які знаходяться в цей час у виробництві. Ці випробування передбачають протяжність 800 годин і складаються із циклів, що періодично повторюються.

Типові випробування проводять з метою перевірки ефективності змін, внесених у конструкторську документацію або технологію виготовлення. Програми цих випробувань є спеціальними і узгодженими із замовником-споживачем.

Попередні випробування виконують з метою контролю якості виготовлення досвідних зразків або досвідних партій двигунів, які надаються на ате-стаційні, сертифікаційні та державні випробування. Ці випробування проводяться по програмам періодичних короткотривалих, періодичних тривалих або спеціальних, узгоджених із замовником-споживачем.

Граничні випробування передбачають визначення припустимих меж зміни параметрів двигуна при впливі визначених факторів.

Кожен вид випробувань відповідає конкретній програмі, що передбачає отримання залежностей показників роботи двигуна від параметру, прийнято-

го за аргумент. Такі залежності називають характеристиками двигуна.

Для дизелів автотракторного типу найважливішими є характеристика по моменту початку подачі палива та регуляторна характеристика.

Випробування двигунів як і отримання зазначених характеристик, здійснюється на спеціальних стендах.

3. Послідовність проведення випробувань двигуна на електричному гальмовому стенді

- підготувати двигуна та обладнання стенду до проведення випробувань;
- виконати операції по запуску двигуна;
- відрегулювати рівень навантаження двигуна;
- відрегулювати частоту обертання колінчастого валу двигуна;
- виконати операції по вимірюванню витрати палива;
- виконати операції по вимірюванню витрати повітря;
- виконати операції по зупинці двигуна і роботи обладнання стенду.

4. Обладнання випробувального стенду

Відомо, що потужність двигуна пропорційна зовнішньому опору на його вихідному валу. В умовах реальної експлуатації цей опір утворюється за рахунок дії зовнішнього середовища та технологічних машин, що агрегуються з трактором. при випробуваннях штучний зовнішній опір створюється спеціальними пристроями – гальмами.

В практиці випробувань автотракторних дизелів, найчастіше використовуються електричні гальмові стенди. принципова схема електричного стенду типу СТЕУ приведена на рис. 5.1.

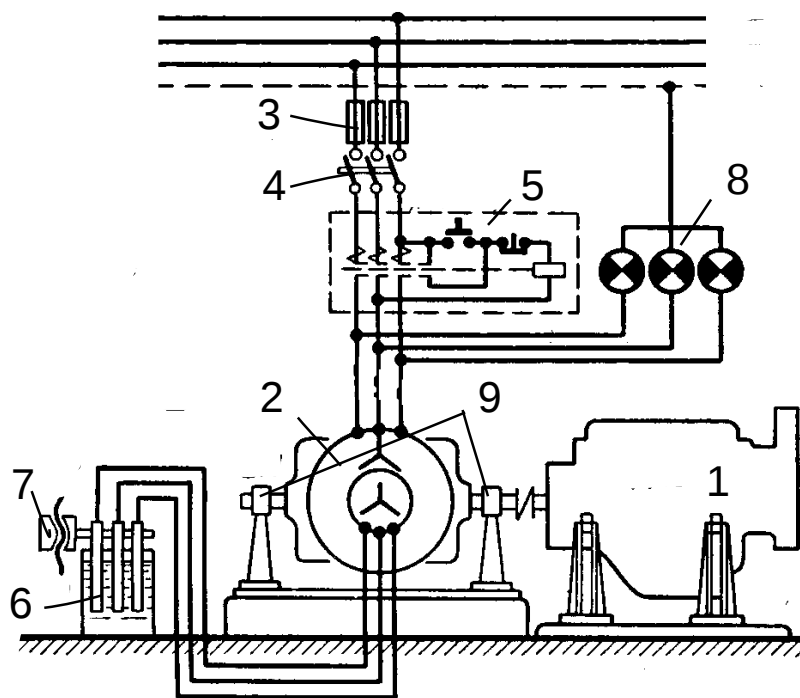


Рис. 5.1 Схе́ма електричного гальмового стенду (типу СТЕУ).

Вкажіть назву та призначення складових стенду відповідно до номерів специфікації (рис. 5.1).

- | | |
|-----|-----|
| 1 - | 6 - |
| 2 - | 7 - |
| 3 - | 8 - |
| 4 - | 9 - |
| 5 - | |

Будова пристрою для вимірювання витрат палива приведена на рис. 5.2.

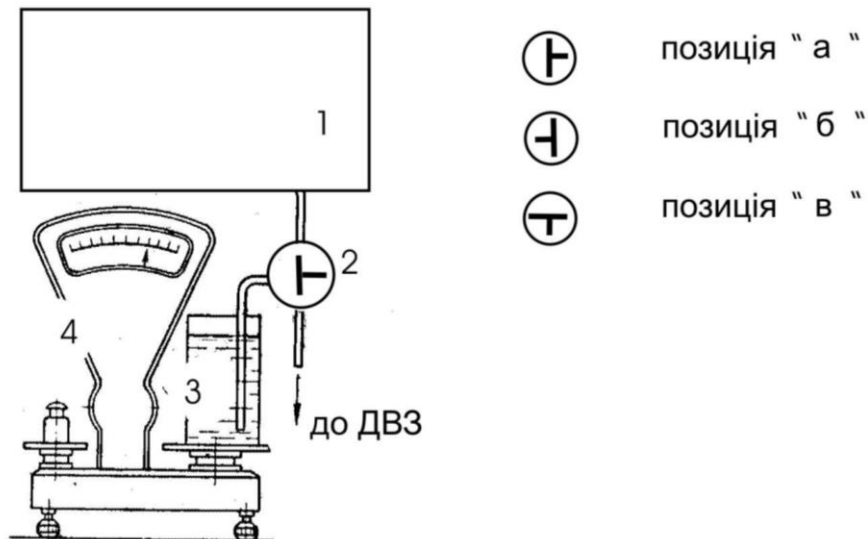


Рис. 5.2 Схе́ма пристрою для вимірювання витрати палива

Вкажіть назву та призначення складових стенду відповідно до номерів специфікації (рис. 5.2).

- | | |
|-----|-----|
| 1 - | 3 - |
| 2 - | 4 - |

Вкажіть функцію вузла «2» у наведених позиціях (рис. 5.2).

Позиція «а» —

Позиція «б» –

Позиція «в» –

Будова пристрою для вимірювання витрат повітря наведена на рис. 5.3.

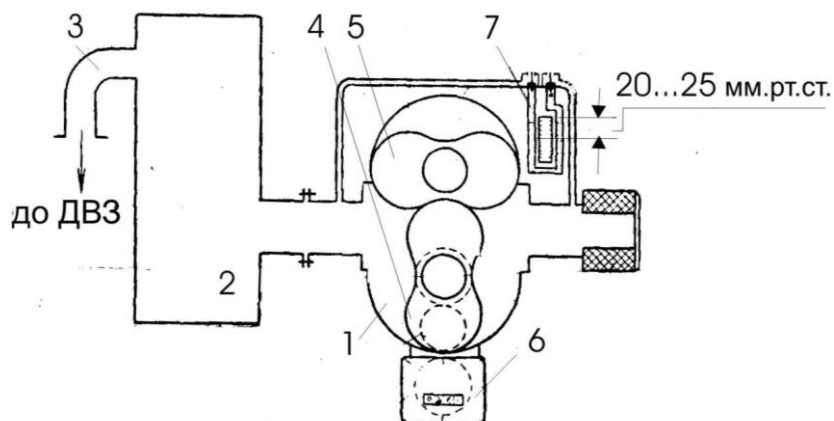


Рис. 5.3 Схема пристрою для вимірювання витрати повітря

Вкажіть назву та призначення складових стенду відповідно до номерів специфікації (рис. 5.3).

- | | |
|-----|-----|
| 1 - | 5 - |
| 2 - | 6 - |
| 3 - | 7 - |
| 4 - | |

Література по темі

1. ДСТУ 2445-94 Дизелі тракторні і комбайнові. Вібронадійність. Методи випробувань – Введ. 01.01.1995
2. ДСТУ ISO 789-4:2005 Сільськогосподарські трактори. Методи випробування. Частина 4. Вимірювання димності відпрацьованих газів (ISO 789-4:1986, IDT). – Введ. 26.12.2005.
3. Експлуатаційні властивості та надійність тракторів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2021. 262 с.

Роботу виконав _____
П.І.Б (підпис)

Роботу прийняв _____
П.І.Б (підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

РЕГУЛЯТОРНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

1. Мета роботи:

- методом стендових випробувань встановити залежність основних потужносних та паливно-економічних показників двигуна від навантажувального (або швидкісного) режиму роботи;
- засвоїти методику проведення аналізу регуляторної характеристики, пов'язуючи отримані при випробуваннях дані із особливостями роботи певного мобільного енергетичного засобу (трактора, автомобіля) в експлуатації.

2. Загальні положення

Регуляторна характеристика являє собою залежність показників роботи дизеля (крутильного моменту, частоти обертання колінчастого вала, годинної та питомої витрати палива, коефіцієнту надлишку повітря і ін.) від швидкісного або навантажувального режиму його роботи, яка при умові керування паливопостачанням двигуна за допомогою всережимного регулятора може бути виражена рівнем частоти обертання колінчастого вала або рівнем ефективної потужності.

Всережимний регулятор паливного насоса тракторного дизеля, призначений для підтримання частоти обертання колінчастого вала при незмінному положенні важеля керування паливоподачею на приблизно постійному рівні (в межах ступені нерівномірності, яка для механічних, відцентрових регуляторів не має перевищувати 8...10%) за умови навантаження від режиму холостого ходу до номінального режиму. Ця ділянка роботи регулятора має назву – регуляторної. У випадках перевантаження дизеля - від номінального режиму до режиму максимального крутильного моменту регулятор за допомогою допоміжного пристрою – коректора, має забезпечувати деяке (до 15%) збільшення циклової подачі за номінальну – коректорна ділянка роботи регулятора.

Регуляторну характеристику одержують за умов незмінного положення важеля керування регулятором, тобто на всіх попередня затяжка пружини регулятора залишається незмінною. Діапазон режимів, що досліджуються, - від холостого ходу до режиму максимального крутильного моменту. Режим роботи дизеля задається навантаженням, яке утворюється від дії гальмового стенду.

При випробуванні двигуна на електричному гальмовому стенді типу СТЕУ змінювання рівня його навантаження проводиться за рахунок змінювання рівня заглиблення електродів реостату у електроліт.

Регуляторна характеристика, що отримана при положенні важеля керування регулятором на упорі у обмежник максимального швидкісного режиму, має назву ***зовнішньої регуляторної характеристики***. Характеристики, що отримані при положеннях важеля керування регулятором, які відповідають час-

ткової подачі палива, називають *частковими регуляторними характеристиками*.

3. Послідовність виконання роботи

- ознайомитись зі стендовим обладнанням та методикою проведення стендових випробувань двигунів;
- провести стендові випробування з метою одержання відповідних до мети роботи дослідних даних;
- виконати математичну обробку дослідних даних;
- побудувати графічну інтерпретацію даних випробувань;
- проаналізувати отримані дані.

4. Техніка одержання регуляторної характеристики

Перед випробуванням двигун прогрівають до температури масла 75-850С за рахунок поступового підвищення частоти обертання колінчастого валу та навантаження дизеля.

Після прогрівання двигуна важіль керування регулятором фіксується для всіх режимів його роботи, що досліджуються.

Перший дослід проводять на режимі холостого ходу. При цьому навантаження на дизель відсутнє, якщо зневажити тертям у підшипниках гальмового пристрою випробувального стенду.

Наступні досліді проводять, поступово збільшуючи навантаження дизеля.

Закінчують дослідження у зоні перевантажень дизеля (при досягненні дизелем режиму максимального крутильного моменту). Таким чином, робота двигуна за регуляторною характеристикою охоплює дві ділянки: перша – від режиму холостого ходу, який визначається максимально допустимою частотою обертання колінчастого вала – $n_{max.xx}$ до режиму максимальної потужності ($n_{ном}$) – регуляторна ділянка характеристики, друга – від номінального режиму до режиму максимального крутильного моменту – $M_{кр.max}$, (коректорна ділянка характеристики).

На регуляторній ділянці досліді проводять при таких навантаженнях: від $0 \cdot N_{е.ном}$ (холостий хід); $0,5 \cdot N_{е.ном}$; $1,0 \cdot N_{е.ном}$ (номінальний режим).

Досліді, які стосуються режиму перевантаження, коли дизель працює на коректорній ділянці характеристики, проводять при частотах обертання колінчастого валу, які дорівнюють: $(n_{ном} - 100)$ об/хв.; $(n_{ном} - 200)$ об/хв; $(n_{ном} - 300)$ об/хв; $(n_{ном} - 400)$ об/хв та обмежуються режимом максимального крутного моменту.

У протоколі звіту (табл. 6.2) на кожному режимі фіксують такі параметри:

- навантаження на гальмо (показання вагового механізму) – P_m , кг;
- частоту обертання колінчастого валу – n , об/хв;
- масу палива, яка витрачається на час досліді – ΔG_m , г;

- час, за який двигун витрачає ΔG_m палива – τ_m , с;
 - заданий об'єм повітря, яке витрачає двигун за час досліду – ΔV_ϵ , м³;
 - час, за який двигун витрачає ΔV_ϵ повітря – τ_ϵ , с;
 - тиск та температура навколишнього середовища – P_0 , мм.рт.ст., T_0 , К.
- Додатково в процесі випробувань контролюють такі параметри:
- температура охолоджувальної рідини та мастила;
 - тиск мастила у системі мащення.

5. Формули для визначення основних параметрів двигуна

5.1. Показання вагового механізму гальма:

$$P_m = 9,81 \cdot P, (H) \quad (6.1)$$

де P – показання вагового механізму гальма випробувального стенда, (кг).

5.2. Ефективна потужність:

$$N_e = 0,751 \cdot n \cdot P_m \cdot 10^{-4}, (кВт) \quad (6.2)$$

де n – частота обертання колінчастого валу двигуна (об/хв).

5.3. Крутний момент:

$$M_{кр} = 0,716 \cdot P_m, (H \cdot м) \quad (6.3)$$

5.4. Година витрата палива:

$$G_m = 3,6 \frac{\Delta G_m}{\tau_m}, (кг / год) \quad (6.4)$$

де ΔG_m – маса палива, що витрачена за час виміру, г;
 τ_m – час виміру ΔG_m витрати палива, с.

5.5. Питома витрата палива:

$$g_e = \frac{G_m}{N_e}, \left(\frac{кг}{кВт \cdot год} \right) \quad (6.5)$$

5.6. Об'ємна витрата повітря:

$$V_\epsilon = \frac{3600 \cdot \Delta V_\epsilon}{\tau_\epsilon}, \left(\frac{м^3}{год} \right) \quad (6.6)$$

де ΔV_ϵ – об'єм повітря, що споживає двигун за час виміру, м³;
 τ_ϵ – час виміру витрати ΔV_ϵ повітря, с.

5.7. Густина повітря:

$$\rho_\epsilon = \frac{P_0}{R_\epsilon \cdot T_0}, \left(\frac{кг}{м^3} \right) \quad (6.7)$$

де P_0 , T_0 – відповідно тиск (Па) і температура (К) навколишнього середовища;

R_g – газова стала повітря ($R_g = 287$ Дж/кг·К).

Примітка. Якщо тиск навколишнього середовища B_0 вимірюється у мм. рт. ст, то:

$$P_0 = 9,81 \cdot 10^4 \cdot \frac{B_0}{760}, \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

5.8. Вагова витрата повітря:

$$G_g = \frac{\rho_g}{V_g}, \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right) \quad (6.8)$$

5.9. Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha = \frac{G_g}{G_g \cdot L_0}, \quad (6.9)$$

де L_0 – теоретична (stechіометрична) кількість повітря, яка необхідна для згоряння 1 кг палива (для дизельного палива $L_0 = 14,35$).

6. Звіт по темі

6.1. Об'єкт досліджень

Короткі технічні характеристики двигуна, що випробовується записуються в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 Технічні дані двигуна

Параметр	Розмірність	Значення
Дизельний двигун		
Засіб, який обладнується цим двигуном		
Випробувальний стенд типу		
Кількість циліндрів		
Діаметр циліндра	мм	
Хід поршня	мм	
Літраж двигуна	м ³ (л)	
Ступінь стиску		
Номінальна потужність	кВт	
Номінальна частота обертання колінчатого валу	об/хв	
Номінальна питома витрата палива	кг/кВт·год	
Паливний насос високого тиску		
Регулятор		

6.2. Результати випробування двигуна на 2х видах палива

За даними випробування розраховують та заносять до табл. 6.2. такі параметри: ефективну потужність двигуна N_e , кВт; крутний момент $M_{кр}$, кН·м; годинну витрату палива G_m , кг/год; питому витрату палива g_e , кг/кВт·год; об'ємну витрату повітря V_e , м³/год; масову витрату повітря G_e , кг/год. Всі дані розховують для відповідного типу палива.

Таблиця 6.2. Результати випробування двигуна

$B_0 =$ _____ мм.рт.ст.; $T_0 =$ _____ К; $\rho_e =$ _____ кг/ м³

№	Дані випробувань				Розрахункові значення параметрів			
	P , кГ	n , об/хв	ΔG_m , г	τ_m , с	N_e , кВт	$M_{кр}$, кН·м	G_m , кг/ГОД	g_e , кг/кВт·г
Паливо 1 _____								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Паливо 2 _____								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

За розрахованими даними табл. 6.2. будуємо графічне відображення (на рис. 6.1) регуляторної характеристики двигуна $N_e = f(n)$, $M_{кр} = f(n)$, $G_m = f(n)$, $g_e = f(n)$.

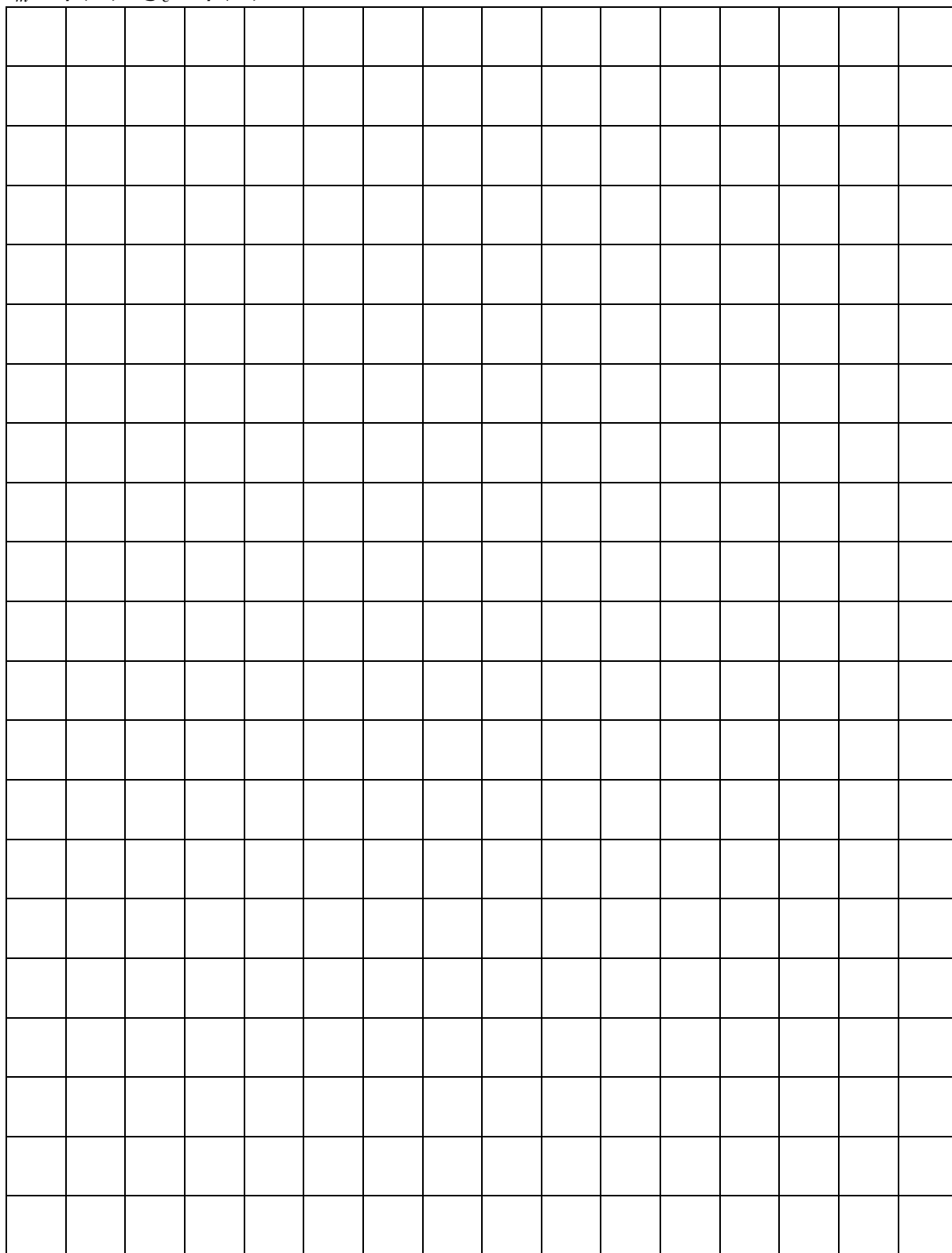


Рис. 6.1. Регуляторна характеристика двигуна для 2х видів палива

6.3. Аналіз регуляторної характеристики двигуна

Визначте значення параметрів режимів роботи двигуна на відповідному типу палива та занесіть до табл. 6.3.

Таблиця 6.3. Значення параметрів режимів роботи двигуна

Параметр	Режим роботи двигуна			
	Номінальний	Холостий хід	Режим $M_{кр.мах}$	Режим $g_{e.min}$
Паливо 1 _____				
n , об/хв				
N_e , кВт				
$M_{кр}$, Н·м				
g_e , кг/кВт·год				
Паливо 2 _____				
n , об/хв				
N_e , кВт				
$M_{кр}$, Н·м				
g_e , кг/кВт·год				

Визначте коефіцієнт пристосованості двигуна:

$$K = \frac{M_{кр.мах}}{M_{кр.ном}} = \quad (6.10)$$

де $M_{кр.мах}$ – максимальний крутний момент дизеля, (Н·м);

$M_{кр.ном}$ – величина крутного моменту на режимі максимальної (номінальної) ефективної потужності, (Н·м).

Примітка значення $M_{кр.мах}$ та $M_{кр.ном}$ визначається за даними регуляторної характеристики двигуна

Розраховуйте ступінь нерівномірності регулятора:

$$\delta = \frac{2(n_{xx} - n_{ном})}{n_{xx} + n_{ном}} \cdot 100\% = \quad (6.11)$$

де δ – ступінь нерівномірності регулятора;

$n_{ном}$ – частота обертання колінчастого вала дизеля на режимі максимальної потужності – номінальний режим, об/хв;

n_{xx} – максимальна частота обертання колінчастого вала дизеля на холостому ході, об/хв.

Примітка. Значення n_{xx} та $n_{ном}$ визначаються за даними регуляторної хара-

ктеристики двигуна.

7. Висновки

8. Питання для самоперевірки

1. Які функції виконує електрична гальмівна машина стенду при випробуванні двигунів?
2. Яке обладнання та вимірювальні прилади застосовуються для випробування двигунів на електричному гальмовому стенді?
3. Які засоби вимірювання витрат палива та повітря використовуються під час випробування двигунів?
4. Які саме досвідні дані треба мати, щоб визначити потужність двигуна, витрати палива та повітря?
5. Що собою являє регуляторна характеристика дизеля?
6. Яка регуляторна характеристика зветься зовнішньою, а яка частковою?
7. Які умови одержання регуляторної характеристики?
8. Чому ділянка характеристики від режиму холостого ходу до номінального режиму має назву регуляторної, а ділянка від номінального режиму до режиму максимального крутильного моменту – коректорної?
9. Яким чином налагоджування регулятора впливає на рівень його ступені нерівномірності та коефіцієнту пристосованості?
10. Що визначає коефіцієнт надлишку повітря, та як він впливає на рівень показників дизеля?

Література по темі

1. ДСТУ 2445-94 Дизелі тракторні і комбайнові. Вібронадійність. Методи випробувань – Введ. 01.01.1995
2. ДСТУ ISO 789-4:2005 Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 4. Вимірювання димності відпрацьованих газів (ISO 789-4:1986, IDT). – Введ. 26.12.2005.
3. Експлуатаційні властивості та надійність тракторів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2021. 262 с.
4. Трактори та автомобілі. Теорія двигунів внутрішнього згоряння: Підручник / М. Г. Сандомирський та ін. Харків: ХНТУСГ, 2021. 284 с.

Роботу виконав _____
П.І.Б (підпис)

Роботу прийняв _____
П.І.Б (підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7

РЕГУЛЮВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ ПО МОМЕНТУ ПОЧАТКУ ПОДАЧІ ПАЛИВА

1. Мета роботи

Встановити залежність основних показників двигуна від кута початку подачі палива. Для цього необхідно:

- вивчити методику одержання характеристики дизеля по моменту подачі палива;
- підготувати стенд та двигун до проведення випробувань;
- провести випробування;
- обробити експериментальні дані.
- графічно відобразити характеристики двигуна по моменту початку впорскування палива.
- проаналізувати отримані характеристики.

2. Загальні положення

Регульовальна характеристика дизеля по моменту початку подачі палива відображає залежність показників роботи дизелів (ефективної потужності, годинної та питомої ефективної витрат палива та ін.) від моменту початку подачі палива. Вона дає змогу визначити оптимальний кут початку подачі палива, який забезпечує на даному швидкісному режимі максимальну ефективну потужність при мінімальній питомій витраті палива.

Паливо впорскується у порожнину циліндра двигуна з деяким випередженням приходу поршня у ВМТ і вимірюється у градусах кута повороту колінчастого вала до ВМТ. Це випередження необхідно для того, щоб забезпечити час для якісного здійснення процесів сумішоутворення. Очевидно, що оптимальне значення кута випередження впорскування палива залежить від особливостей будови камери згоряння, характеристик вузлів системи паливоподачі та режиму роботи двигуна. Зміна кута випередження в будь-який бік від оптимального призведе до погіршення умов сумішоутворення і згоряння внаслідок наступних обставин.

При дуже великих кутах (**рання подача палива**) внаслідок збільшення терміну від моменту початку подачі палива до початку його згоряння (цей термін має назву «період затримання згоряння») в циліндрі накопичується відносно велика кількість палива. Тому початок згоряння характеризується значним тепловиділенням, що призведе до збільшення швидкості наростання тиску - $dp/d\varphi$ (P - тиск газів у циліндрі, φ - кут повороту колінчастого вала). Як слідство цього, збільшується максимальний тиск газів та навантаження збоку на поршень при переході його до ВМТ. Двигун робить при цьому «жорстко», можливі глухі стуки, потужність та економічність погіршуються.

Пізня подача палива (кут випередження малий) характеризується тим, що основна його частка потрапляє в циліндр, коли поршень знаходиться поблизу ВМТ або вже пройшов її. Процес згоряння розгоряється на ході розши-

рення, тобто в умовах, коли температура та тиск у циліндрі знижуються. Збільшується витрат теплоти від згорання палива крізь стінки циліндра у систему охолодження та з випускними газами. Це призводить до погіршення показників двигуна.

Звичайно для конкретного двигуна оптимальне значення кута випередження визначається щодо номінального режиму роботи.

Для тракторного дизеля, що працює у досить широкому діапазоні режимів по навантаженню та частоті обертання колінчастого вала, проблемним є питання про те, як змінюється оптимальне значення кута початку подачі палива у залежності від частоти обертання колінчастого вала. Ця залежність може бути використана для розробки автоматичних пристроїв, які забезпечують оптимізацію моменту подачі палива в робочому діапазоні режимів роботи дизеля.

3. Обладнання, необхідне для виконання практичної роботи

- дизельний двигун, що встановлений на гальмовому електричному стенді;
- моментоскоп, секундомір.

4. Умови та техніка одержання регуляторної характеристики по моменту подачі палива

Характеристику одержують при постійній частоті обертання колінчастого вала та незмінному положенні важеля керування регулятором. Ці умови забезпечують однакові порівняльні режими роботи двигунів по цикловій подачі палива, яка при постійній частоті обертання повинна обумовлює постійну часову витрату палива. Схема приводу паливного насосу приведена на рис. 7.1

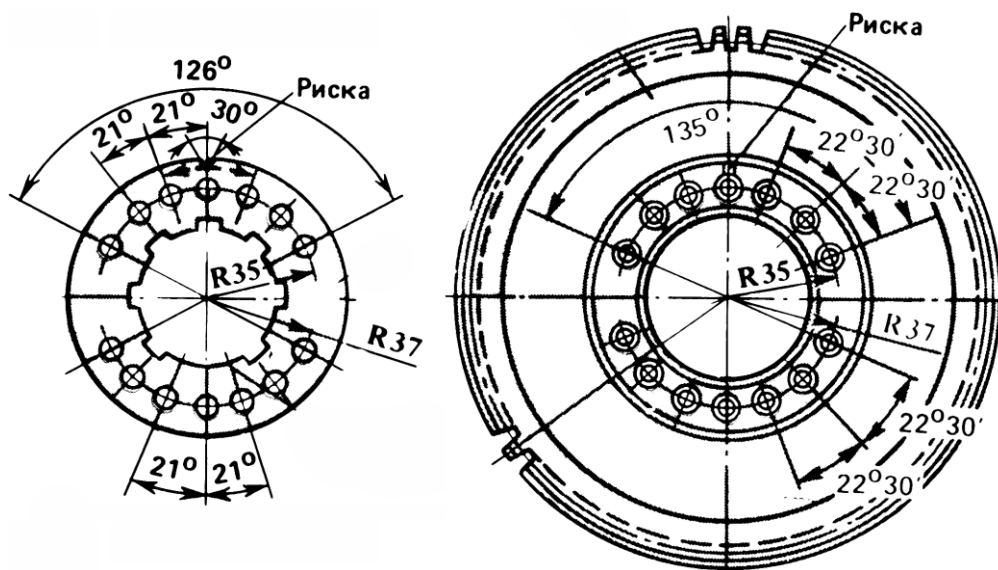


Рис. 7.1. Привід паливного насосу

5. Звіт по темі

5.1. Об'єкт досліджень

Короткі технічні характеристики двигуна та паливного насосу, що випробовується записуються в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 Технічні дані двигуна

Параметр	Розмірність	Значення
Дизельний двигун		
Засіб, який обладнується цим двигуном		
Випробувальний стенд типу		
Кількість циліндрів		
Діаметр циліндра	мм	
Хід поршня	мм	
Літраж двигуна	м ³ (л)	
Ступінь стиску		
Номінальна потужність	кВт	
Номінальна частота обертання колінчатого валу	об/хв	
Номінальна питома витрата палива	кг/кВт·год	
Паливний насос високого тиску		
Регулятор		

5.2. Результати випробування двигуна

Таблиця 7.2. Результати випробування двигуна

$B_0 =$ _____ мм.рт.ст.; $T_0 =$ _____ К; $\rho_s =$ _____ кг/м³

№	Дані випробувань					Розрахункові значення параметрів			
	Θ , град	P , кг	n , об/хв	ΔG_m , г	τ_m , с	N_e , кВт	$M_{кр}$, кН·м	G_m , кг/год	g_e , кг/кВт·г
1									
2									
3									

4									
5									
6									
7									
8									

В протоколі звіту випробувань фіксують наступні параметри: кут випередження подачі палива Θ , град, до В.М.Т.; частоту обертання колінчастого вала, n , об/хв; навантаження на гальмі, показання вагового механізму стенду, P , Н; задану масу палива, витраченого за час дослідів ΔG_m , г; час, за який двигун витрачає ΔG_m палива, τ_m , с (табл. 7.2).

Для розрахунку використовують формули практичної роботи №6 стор. 33-34, форм. 6.1-6.9.

За даними випробування розраховують та заносять у протокол (табл. 7.2) наступні параметри: ефективний крутний момент, $M_{кр}$, кН·м; ефективну потужність двигуна N_e , кВт; часову витрату палива, G_m , кг/ч; питому ефективну витрату палива, g_e , кг/(кВт·год).

Після здійснення розрахунків параметрів, будують графічне зображення характеристик $N_e = f(\Theta)$, $M_{кр} = f(\Theta)$, $G_m = f(\Theta)$, $g_e = f(\Theta)$ (рис. 7.2).

6. Висновки

7. Питання для самоперевірки

1. Що являє собою регульовальна характеристика дизеля по моменту подачі палива?
2. Яка мета здійснення подачі палива з випередженням приходу поршня до В.М.Т. на ході стиску?
3. За якими параметрами вибирається оптимальний момент початку подачі палива?
4. Як може впливати швидкісний режим роботи двигуна на величину оптимального моменту початку подачі палива?
5. Чому часова витрата палива, не змінюється в залежності від моменту подачі палива?
6. Чому надто рання подача палива (або надто пізня) призводить до погіршення показників дизеля?

Література по темі

1. ДСТУ 2445-94 Дизелі тракторні і комбайнові. Вібронадійність. Методи випробувань – Введ. 01.01.1995
2. ДСТУ ISO 789-4:2005 Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 4. Вимірювання димності відпрацьованих газів (ISO 789-4:1986, IDT). – Введ. 26.12.2005.
3. Експлуатаційні властивості та надійність тракторів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2021. 262 с.
4. Трактори та автомобілі. Теорія двигунів внутрішнього згорання: Підручник / М. Г. Сандомирський та ін. Харків: ХНТУСГ, 2021. 284 с.

Роботу виконав _____
П.І.Б (підпис)

Роботу прийняв _____
П.І.Б (підпис)

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ СОПЛОВИХ ОТВОРІВ РОЗПИЛЮВАЧІВ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЯ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА

1. Мета роботи

Встановити залежність основних показників двигуна від ступеня коксування соплових отворів. Для цього необхідно:

- вивчити методику одержання характеристики дизеля на розпилювачах з різним ступенем коксування соплових отворів;
- вивчити методику моделювання різного ступеню коксування соплових отворів на безмоторному стенді;
- підготувати стенд та двигун до проведення випробувань;
- провести випробування;
- обробити експериментальні дані;
- графічно відобразити характеристики двигуна;
- проаналізувати отримані характеристики;
- зробити висновок о придатності подальшого використання розпилювачів спираючись на ГОСТ 18509-81.

2. Загальні положення

Коксування розпилювача виникає в кінцевій стадії впорскування палива, коли останнє витікає з розпилювача з малими швидкостями, поверхні соплових отворів залишаються змоченими паливом, а з циліндра в цей час проникають гази, які контактують з розігрітим паливом на дизельних двигунах температура розпилювача підтримується не вищою за 180⁰С; при цьому відбуваються процеси окислення за рахунок контакту палива з киснем повітря, що призводить до полімеризації молекул з виділенням на поверхні соплового отвору міцної лакової плівки. Це призводить до зменшення ефективного прохідного перерізу розпилювача і, як наслідок, до зменшення потужності двигуна і збільшення витрати палива.

Оскільки механізм коксування досить складний, то контроль схильності палива до коксування зараз проводять безпосередньо на двигуні, включаючи в систему живлення підігрівач палива і модернізований засіб його фільтрування. Висновки роблять за результатами рядової експлуатації двигунів; тому розбіжності висновків можуть бути дуже значними. Проведення випробувань на дослідних моторних стендах, де можна забезпечити стабільні навантажувальні дані, потребують значної витрати палива, бо тривалість дослідження досить велика.

На двигун встановлюється комплект нових розпилювачів і знімаються основні показники роботи двигуна данні заносяться в табл. 8.2 (ці результати беремо надалі як базові для порівняння).

Моделювання різного ступеня коксування проводиться на безмоторному стенді (рис. 8.1). Підчас моделювання температуру розпилювача за допо-

могою реостата встановлюють 180°C . В паливі розчинюють потрібну кількість повітря. Робиться проливання дизельного палива, час потрібний для коксування соплових отворів розпилювачів. Далі проводять аналогічне проливання ще 3-х розпилювачів для досягнення аналогічного ступеню коксування.

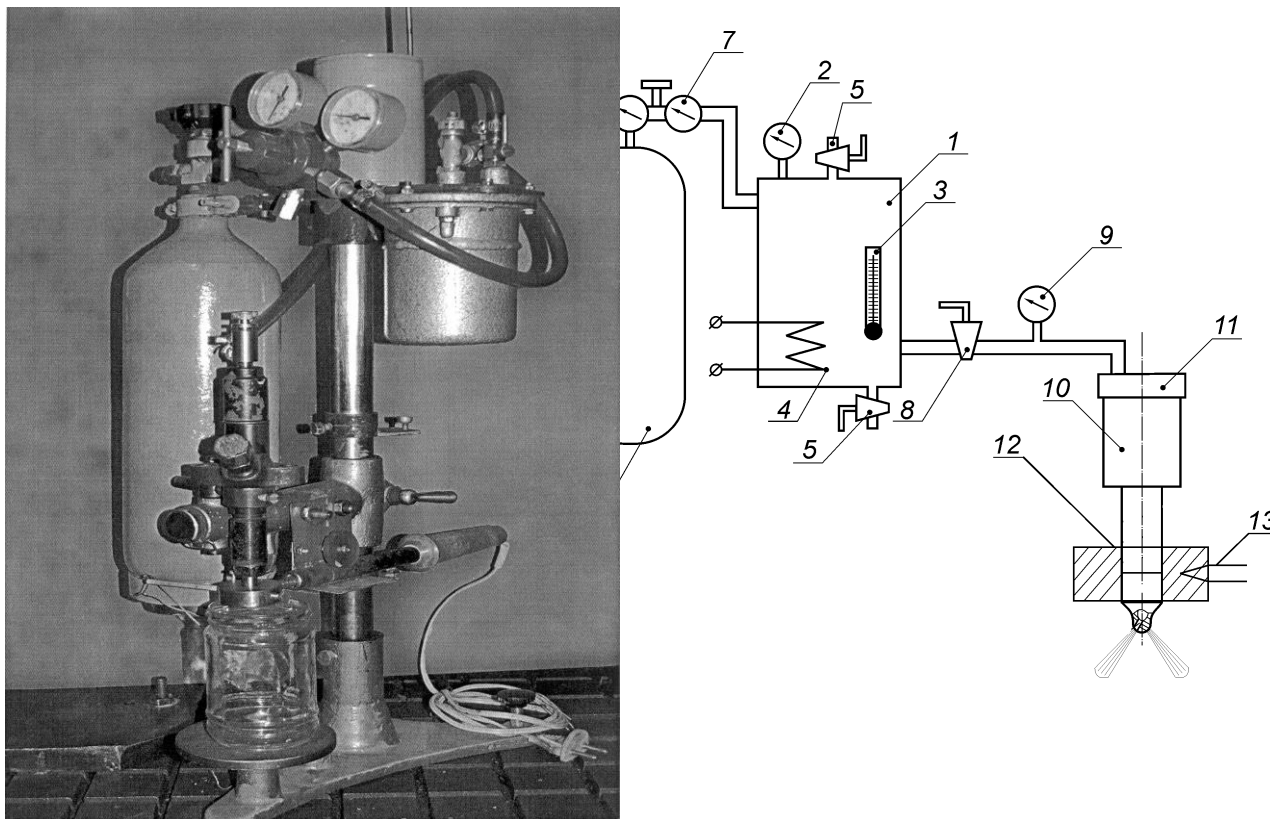


Рис. 8.1. Загальний вигляд і схема стану для прискореного визначення схильності палив до коксування розпилювачів дизельних форсунок:
1 – ресивер; 2, 9 – манометри; 3 – термометр; 4 – нагрівач; 5 – кран; 6 – балон зі стисненим повітрям; 7 – газовий редуктор; 8 – регулювальний кран витрати палива; 10 – розпилювач форсунки (з вийнятою голкою); 11 – герметизуючи кришка; 12 – нагрівач (латунна шайба товщиною 12 мм); 13 – термопара

Після цього всі 4 розпилювачі монтують у форсунки, регулюють останні на випробувальному стенді КИ-921М (СДТА-2) (рис. 2.1), встановлюють на дизель та знімають регуляторну характеристику данні заносять в табл. 8.3. Встановлюємо зміну значення потужності двигуна та питомої витрати палива та робимо висновок о придатності подальшого використання розпилювачів спираючись на ГОСТ 18509-81 (при погіршенні основних робочих показників дизеля більше ніж 5% подальша експлуатація двигуна не допускається).

3. Обладнання, необхідне для виконання практичної роботи

- дизельний двигун, що встановлений на гальмовому електричному стенді;

- випробувальний стенд КИ-921М;
- секундомір.

4. Умови та техніка одержання регуляторної характеристики

Характеристику одержують при постійній частоті обертання колінчастого вала та незмінному положенні важеля керування регулятором. Ці умови забезпечують однакові порівняльні режими роботи двигунів по цикловій подачі палива, яка при постійній частоті обертання повинна обумовлює постійну часову витрату палива.

5. Звіт по темі

5.1. Об'єкт досліджень

Короткі технічні характеристики двигуна, паливного насоса та розпилювачів, що випробовується записуються в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 Технічні дані двигуна

Параметр	Розмірність	Значення
Дизельний двигун		
Засіб, який обладнується цим двигуном		
Випробувальний стенд типу		
Кількість циліндрів		
Діаметр циліндра	мм	
Хід поршня	мм	
Літраж двигуна	м ³ (л)	
Ступінь стиску		
Номінальна потужність	кВт	
Номінальна частота обертання колінчастого вала	об/хв	
Номінальна питома витрата палива	кг/кВт·год	
Паливний насос високого тиску		
Регулятор		
Розпилювач		
Ефективний прохідний переріз соплових отворів розпилювача форсунки	м ²	

5.2. Результати випробування двигуна

В протоколі звіту випробувань фіксують наступні параметри: частоту обертання колінчастого вала, n , об/хв; навантаження на гальмі, показання вагового механізму стенду, P , Н; задану масу палива, витраченого за час дослі-

ду ΔG_m , г; час, за який двигун витрачає ΔG_m палива, τ_m , с (табл. 8.2, 8.3).

Для розрахунку використовують формули практичної роботи №6 стор. 33-34, форм. 6.1-6.9.

За даними випробування розраховують та заносять у протокол (табл. 8.2, 8.3) наступні параметри: ефективний крутний момент, $M_{кр}$, кН·м; ефективну потужність двигуна N_e , кВт; часову витрату палива, G_m , кг/ч; питому ефективну витрату палива, g_e , кг/(кВт·год).

**Таблиця 8.2. Результати випробування двигуна
(перша серія випробувань) на нових розпилювачах**

$B_0 =$ _____ мм.рт.ст.; $T_0 =$ _____ К; $\rho_e =$ _____ кг/м³

№	Дані випробувань				Розрахункові значення параметрів			
	P , кГ	n , об/хв	ΔG_m , г	τ_m , с	N_e , кВт	$M_{кр}$, кН·м	G_m , кг/год	g_e , кг/кВт·г
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

**Таблиця 8.3. Результати випробування двигуна
(друга серія випробувань) на розпилювачах з коксуванням соплових отворів**

$B_0 =$ _____ мм.рт.ст.; $T_0 =$ _____ К; $\rho_e =$ _____ кг/м³

№	Дані випробувань				Розрахункові значення параметрів			
	P , кГ	n , об/хв	ΔG_m , г	τ_m , с	N_e , кВт	$M_{кр}$, кН·м	G_m , кг/год	g_e , кг/кВт·г
1								
2								
3								
4								
5								
6								

7								
8								

Після здійснення розрахунків параметрів, будують графічне зображення характеристик N_e , $M_{кр}$, G_m , g_e для першої та другої серії досліджень (рис. 8.2).

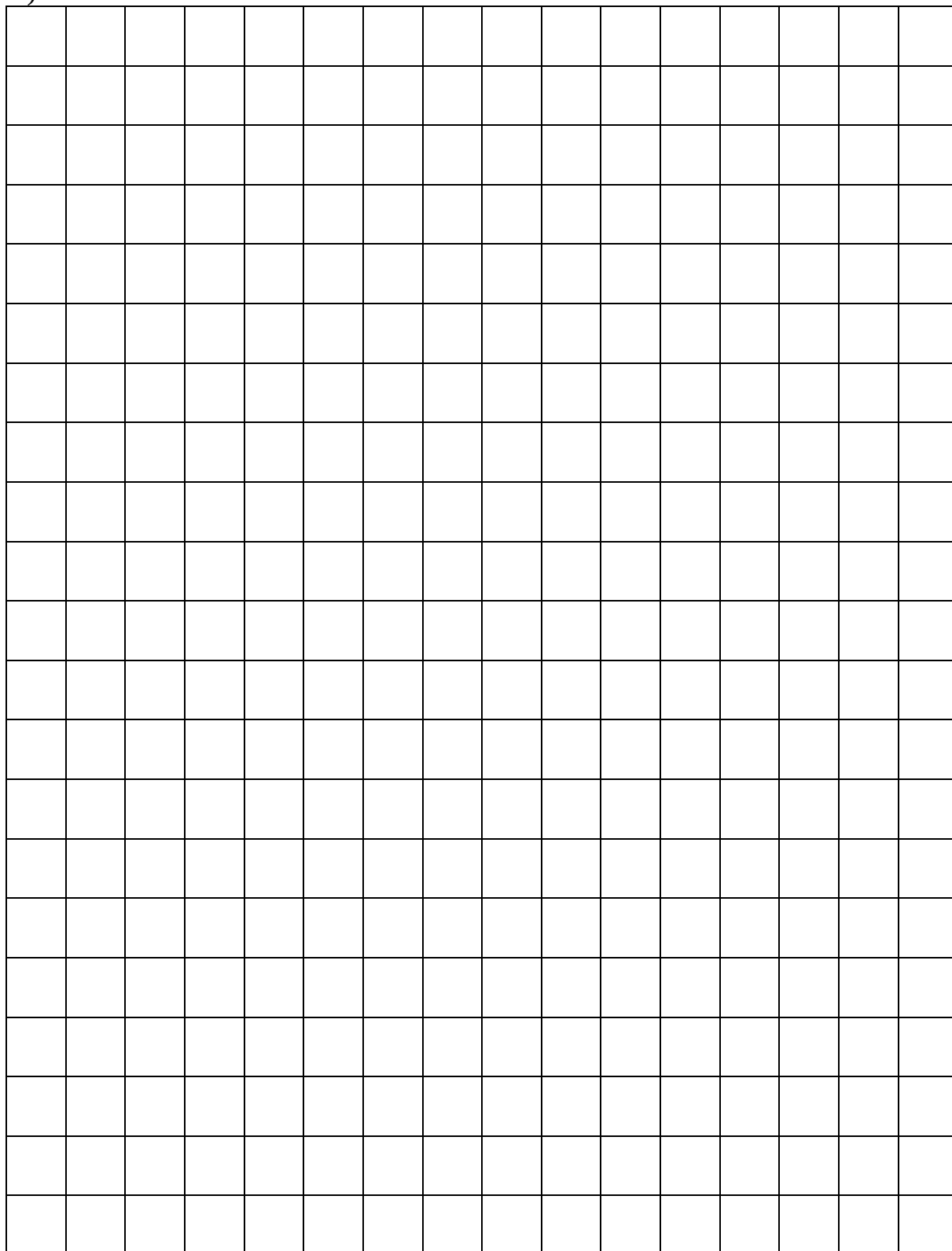


Рис. 8.2. Характеристики двигуна

6. Висновки

7. Питання для самоперевірки

1. Що являє собою процес коксування соплових отворів розпилювача форсунки?
2. Які параметри впливають на темп коксування?
3. Як можливо змодельовати ці параметри на безмоторному стенді?
4. Як змінюється ефективна потужність під впливом коксування?
5. Як впливає коксування на питому витрату палива?
6. При досягненні якого значення питомої витрати палива та ефективної потужності подальша експлуатація двигуна не допускається?

Література по темі

1. ДСТУ 2445-94 Дизелі тракторні і комбайнові. Вібронадійність. Методи випробувань – Введ. 01.01.1995
2. ДСТУ ISO 789-4:2005 Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 4. Вимірювання димності відпрацьованих газів (ISO 789-4:1986, IDT). – Введ. 26.12.2005.
3. Експлуатаційні властивості та надійність тракторів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2021. 262 с.
4. Трактори та автомобілі. Теорія двигунів внутрішнього згоряння: Підручник / М. Г. Сандомирський та ін. Харків: ХНТУСГ, 2021. 284 с.

Роботу виконав	_____	_____
	П.І.Б	(підпис)
Роботу прийняв	_____	_____
	П.І.Б	(підпис)

ДЛЯ НОТАТОК

Лебедєв Анатолій Тихонович
Шуляк Михайло Леонідович
Батюк Людмила Миколаївна

ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ

**Методичні вказівки та рекомендації щодо вивчення
практичних (лабораторних) занять**

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: червень, 2024 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: 100 примірників Замовлення _____ 2,2 Ум. друк. арк.
