

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра механіки та інженерії агроecosystem

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ЖУКОВ ПЕТРО МИКОЛАЙОВИЧ**

**УДК 631.331**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Обґрунтування комплексної методики діагностування  
дизельних двигунів**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр  
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ П.М. Жуков

**Керівник роботи**  
Забродський П.М.  
к.т.н., доцент

**Житомир – 2021**

## АНОТАЦІЯ

**Жуков Петро Миколайович. Обґрунтування комплексної методики діагностування дизельних двигунів.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Аналіз стану проблеми показав, що при діагностуванні дизельних двигунів краще використовувати універсальні прилади та комплекси, що дозволяють здійснювати комплексне діагностування двигунів та їх систем. Найбільший інтерес представляє методика діагностування технічного стану дизельних двигунів, заснована на оцінці їх динамічних якостей, проте для диференціювання можливих несправностей вона потребує вдосконалення та розробки додаткових методик та засобів, що їх реалізують. Удосконалена методика дозволяє визначати залежності основних параметрів за якими можна судити про технічний стан турбокомпресора, циліндропоршневої групи та системи подачі палива дизелів з газотурбінним наддувом.

Для реалізації вдосконаленої методики скомплектований діагностичний комплекс, що складається з персонального комп'ютера з розробленим програмним забезпеченням, плати аналого-цифрового перетворення, плати сполучень, індукційних датчиків імпульсів, датчиків тиску (надува та палива), інвертора напруги та маховика з відомим моментом, що дозволяє з достатньою точністю діагностувати стан турбокомпресора, циліндропоршневої групи та системи паливоподачі дизелів з газотурбінним наддувом на всьому діапазоні частот обертання колінчастого валу.

Застосування розробленого діагностичного комплексу дозволяє знизити витрати часу та праці загалом на 62,5%, а трудомісткість діагностування одного двигуна – з 8 до 3 чоловік.

*Ключові слова: дизельний двигун, діагностичний комплекс, алгоритм, несправність.*

## ANNOTATION

**Zhukov Petro Mykolayovych. Substantiation of complex methods of diagnosing diesel engines..– *Qualification work on the rights of the manuscript.***

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The analysis of the state of the problem showed that when diagnosing diesel engines it is better to use universal devices and complexes that allow complex diagnostics of engines and their systems. Of the greatest interest is the method of diagnosing the technical condition of diesel engines, based on the assessment of their dynamic qualities, but to differentiate possible faults, it requires improvement and development of additional techniques and tools that implement them. The improved technique allows to determine the dependences of the main parameters by which you can judge the technical condition of the turbocharger, cylinder-piston group and fuel supply system of diesel engines with gas turbine inflation.

To implement the advanced technique, a diagnostic complex is completed, consisting of a personal computer with developed software, analog-to-digital conversion board, connection board, induction pulse sensors, pressure sensors (inflation and fuel), voltage inverter and flywheel with known torque. allows to diagnose with sufficient accuracy the condition of the turbocharger, cylinder-piston group and fuel supply system of diesel engines with gas turbine inflation over the entire range of crankshaft speeds.

The use of the developed diagnostic complex allows to reduce the cost of time and labor in general by 62.5%, and the complexity of diagnosing one engine - from 8 to 3 people.

*Key words: diesel engine, diagnostic complex, algorithm, malfunction*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	8
РОЗДІЛ 2. ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ЗА РОЗРОБЛЕНОЮ МЕТОДИКОЮ.....	22
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Для виробництва якісної сільськогосподарської продукції необхідне застосування сучасних машин. Експлуатація технічних засобів неминуче призводить до фізичного та морального старіння, що веде до погіршення їх техніко-економічних показників. Підтримка машин у справному стані можлива при своєчасних, якісних ремонтах та технічному обслуговуванні, а також зберіганні техніки в оптимальних умовах.

Значне підвищення ефективності використовуваної техніки досягається шляхом впровадження сучасних методів та засобів технічного діагностування. Технічне діагностування дає можливість збільшити міжремонтний ресурс вузлів та агрегатів, запобігти демонтажу та розбирання агрегатів та окремих механізмів, знизити простої з технічних причин, скоротити трудомісткість технічного обслуговування та експлуатаційні витрати, що значно підвищує ефективність використання техніки.

Технічне діагностування дає можливість контролювати технічний стан машин у процесі експлуатації та прогнозувати їх ресурс до чергового ремонту відповідно до отриманих показників. Воно дозволяє не лише оцінювати технічний стан вузлів та агрегатів машин, але й дає можливість визначати обсяги та види необхідних робіт безрозбірними методами.

Технічне діагностування автотракторної техніки рекомендується проводити за всіх видів періодичного технічного обслуговування, при закінченні міжремонтних термінів, за технічною потребою.

Значною мірою ефективність роботи машинно-тракторного парку залежить від технічного стану двигунів внутрішнього згорання. За деякими типами машин частку дизельних двигунів припадає до 50% відмов, а трудомісткість виконуваних робіт з їх усунення досягає 40% від загального часу. Аналізуючи роботу дизельних двигунів, можна сказати, що за надійністю системи та механізми у двигуні розподіляються таким чином: системи

охолодження та мащення – до 10% відмов; газорозподільний механізм – до 15%; циліндропоршнева група – до 20%; система живлення – до 45%.

Таким чином, своєчасне та якісне діагностування технічного стану циліндропоршневої групи та систем паливо- та повітроподачі дозволить забезпечити високу технічну готовність техніки та виконання технологічних процесів у задані терміни, скоротити експлуатаційні витрати, підвищити ефективність діяльності сільськогосподарських підприємств.

**Мета та завдання дослідження** Мета роботи полягала у розробці методики діагностування технічного стану дизельних двигунів, яка заснована на оцінці їх динамічних якостей.

Завдання досліджень:

1. Проаналізувати існуючі методики та комплекси для діагностування дизельних двигунів;
2. Розробити алгоритм діагностування та комплекс для діагностування дизельних двигунів;
3. Провести експериментальні дослідження.

**Об'єкт дослідження** – процес діагностування дизельних двигунів

**Предмет дослідження** – закономірність виявлення несправностей дизельних двигунів від основних параметрів за якими можна судити про технічний стан турбокомпресора, циліндропоршневої групи та системи подачі палива дизелів з газотурбінним наддувом.

**Методи дослідження.** Експериментальні дослідження проводилися в лабораторіях кафедри механіки та інженерії агроєкосистем Поліського національного університету, а польові у виробничих умовах сільськогосподарських підприємств Житомирської області. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Забродський П., **Жуков П.М.** Методики та засоби діагностування технічного стану циліндро-поршневої групи та системи живлення. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 50-51.

2. Савченко В.М., **Жуков П.М.** Класифікація методів і засобів діагностування основних параметрів двигунів. *«Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України»*, присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. м. Київ. 2021. С. 127-129.

3. **Жуков П.М.** Діагностичний комплекс для діагностування дизельних двигунів. Сучасний стан і проблеми вдосконалення посіву зернових культур. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 30-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 230-232.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє розроблений комплекс для діагностування дизельних двигунів.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту, містить 27 рисунків та 8 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

В основі агропромислової політики нашої держави стоїть завдання прискорення темпів зростання, підвищення конкурентоспроможності та збільшення частки нашої сільськогосподарської продукції в світі.

У сільському господарстві для виробництва продукції використовується величезна кількість різноманітної техніки. В результаті експлуатації машин погіршуються техніко-економічні показники, що пов'язано з процесами зношування вузлів і агрегатів, а також їх фізичним і моральним старінням. Для забезпечення високої технічної готовності техніки необхідно контролювати її технічний стан, якісно і своєчасно проводити заходи з технічного обслуговування, ремонту і зберігання. Виконання цих робіт багато в чому залежить від рівня оснащення підприємств і кваліфікації інженерних кадрів.

Сучасні методи і засоби технічного діагностування машин дають можливість оцінки технічного стану значної частини систем і механізмів машин без розбирання або з частковим їх розбиранням, а також прогнозувати термін служби окремих вузлів і агрегатів. Це дає можливість контролювати технічний стан техніки і знижує час її простою, забезпечуючи тим самим значне зниження експлуатаційних витрат. Своєчасне діагностування дозволяє скоротити витрату запасних частин і паливно-мастильних матеріалів (ПММ), так як виконуються тільки дійсно необхідні операції по ремонту і регулюванню. Виявлені і усунуті вчасно істотні несправності в системах живлення, запалювання, агрегатах ходової частини і трансмісії допоможуть поліпшити паливно-економічні показники на 5-10%, підвищити потужність двигуна і в 2-3 рази підвищити екологічні показники при роботі машини.

Основними завданнями технічного діагностування є: контроль технічного стану щодо відповідності вимогам технічної документації; пошук причин



відмови (несправності); збір вихідних даних для прогнозування технічного стану; підтримання надійності машин.

На рис. 1 показано вплив діагностування машин на виконання сільськогосподарських робіт.

Значною мірою ефективність роботи машинно-тракторного парку залежить від технічного стану двигунів внутрішнього згоряння.

За деякими типами машин на частку дизельних двигунів доводиться до 50% відмов, а трудомісткість виконуваних робіт по їх усуненню досягає 40% від загального часу. Аналізуючи роботу дизельних двигунів, можна сказати, що по надійності системи і механізми в двигуні розподіляються наступним чином: системи охолодження і мащення – до 10% відмов; газорозподільний механізм – до 15%; циліндропоршньова група – до 20%; система живлення – до 45%.

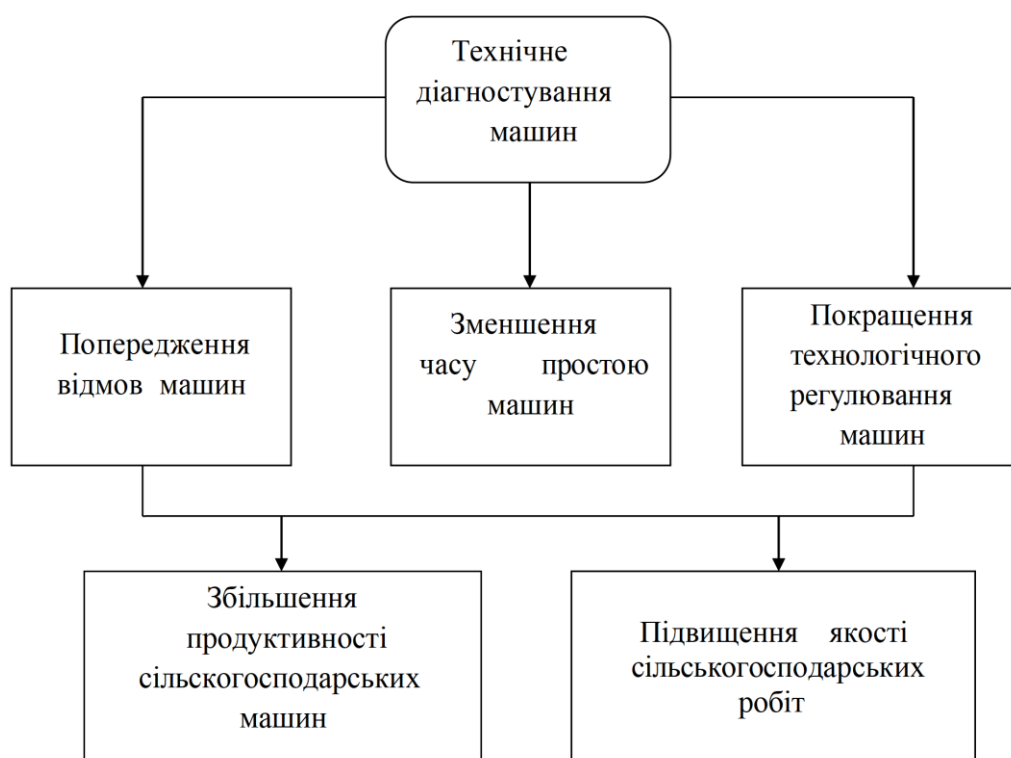


Рис. 1.1. Вплив технічного діагностування машин на виконання сільськогосподарських робіт

Основними зовнішніми ознаками несправності циліндропоршнєвої групи (ЦПГ) і систем паливо і повітроподачі є перевитрата масла, затруднений пуск дизеля і нестійка робота, зниження потужності і економічності.

Ймовірними причинами цих проявів можуть бути: зниження тиску наддуву турбокомпресора; знос ЦПГ; неякісна робота форсунок; неправильна установка кута початку подачі палива; несправності паливного насоса високого тиску.

Таким чином, своєчасне і якісне діагностування технічного стану ЦПГ і системи подачі палива дозволить забезпечити високу технічну готовність техніки та виконання технологічних процесів в задані терміни, скоротити експлуатаційні витрати, підвищити ефективність діяльності сільськогосподарських підприємств.

У значній мірі ефективність роботи машинно-тракторного парку залежить від технічного стану двигунів внутрішнього згорання.

За деякими типами машин на частку дизельних двигунів припадає до 50% відмов, а трудомісткість виконуваних робіт з їх усунення сягає 40% від загального часу. Аналізуючи роботу дизельних двигунів, можна сказати, що за надійністю системи та механізми у двигуні розподіляються таким чином: системи охолодження та мащення – до 10% відмов; газорозподільний механізм – до 15%; циліндро-поршнева група – до 20%; система живлення – до 45%.

Основними зовнішніми ознаками несправності циліндро-поршнєвої групи (ЦПГ) і системи живлення є перевитрата масла, утруднений пуск дизеля і нестійка робота, зниження потужності та економічності.

Ймовірними причинами цих проявів відповідно можуть бути: зниження тиску наддуву турбокомпресора; знос ЦПГ; неякісна робота форсунок; неправильне встановлення кута початку подачі палива; несправності паливного насоса високого тиску (ПНВТ).

Таким чином, своєчасне та якісне діагностування технічного стану циліндро-поршнєвої групи та системи паливоподачі дозволить забезпечити високу технічну готовність техніки та виконання технологічних процесів у

задані терміни, скоротити експлуатаційні витрати, підвищити ефективність діяльності сільськогосподарських підприємств.

Визначення тиску наддувного повітря проводиться за допомогою пристрою КИ-28095 (рис. 1.2).

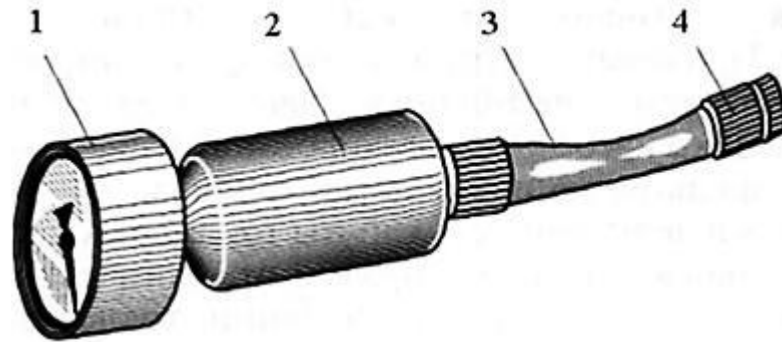


Рис. 1.2. Пристрій КИ-28095: 1 – манометр; 2 – корпус; 3 – сполучний шланг; 4 – сполучний штуцер.

Для перевірки технічного стану турбокомпресора необхідно:

- з різьбового отвору в колекторі нагнітального турбокомпресора вивернути пробку і замість неї ввернути штуцер пристосування;
- запустити двигун;
- встановити номінальну частоту обертання колінчастого валу двигуна та зафіксувати за манометром значення тиску наддуву;
- проаналізувати виміряне значення тиску наддуву (при працездатному стані турбокомпресора тиск наддуву має бути не менше  $0,35 \text{ кгс/см}^2$ ; номінальний тиск наддуву –  $0,5\text{--}0,6 \text{ кгс/см}^2$ );
- перевірити роботу турбокомпресора Для цього двигуну дати попрацювати 3-5 хв за мінімальною частотою обертання колінчастого валу, встановити максимальний швидкісний режим і зупинити двигун, вимкнувши подачу палива. При справному турбокомпресорі обертання ротора повинно прослуховуватися протягом не менше 5 секунд після зупинки;
- якщо після зупинки двигуна не чути обертання ротора, перевірити легкість його обертання при двигуні, що не працює. Для цього, відкривши доступ до колеса компресора, повернути колесо рукою, вибираючи осьовий зазор спочатку в один бік потім в інший. Колесо компресора повинно легко

обертатися без зусилля, заїдання і зачеплення за нерухомі частини турбокомпресора.

В даний час на ринку діагностування тракторів є величезна кількість сучасних засобів діагностування, які поділяються на зовнішні та вбудовані.

Системи технічного діагностування (СТД), що входять до конструкції досліджуваної техніки є вбудованими (бортовими), а ті, які не входять, називаються зовнішніми. Зовнішні СТД бувають переносними та стаціонарними, а за своїми функціональними можливостями поділяються на мотор-тестери, системні тестери та сканери (Рис. 1.3, 1.4).

Сканери дещо обмежені у своїх можливостях, хоча дешевші. Вони дозволяють проводити регулювання холостого ходу, діагностувати форсунки та ін. Для роботи зі сканером потрібен досвідчений спеціаліст-діагност, який зможе правильно оцінювати інформацію, що видається сканером.

Системний тестер є пристрій зчитування бортової інформації досліджуваної машини через діагностичний роз'єм і служить для діагностування електронних систем.

У системному тестері використовується значно більше даних для діагностування різних систем, ніж у сканері, а також є можливість оновлювати ці дані.

Системні тестери фірми Bosch, що широко використовуються на ремонтних підприємствах, дозволяють якісно діагностувати значну частину техніки, що застосовується в сільському господарстві.



Рис. 1.3. Сканер ДСТ-2М зі змінними картриджами та адаптером

Ще більше можливостей спеціалізованих системних тестерів, призначених для діагностування техніки певного виробника. Вони застосовуються дилерськими технічними сервісами. Висока ціна, дороге навчання персоналу, спеціалізація на техніці одного виробника та придбання тільки дилером є значними факторами щодо їх широкого поширення.



Рис. 1.4. Спеціалізований системний тестер для діагностування мобільної техніки фірми John Deere

Мотор-тестери використовуються для комплексного діагностування тракторів, двигунів та їх систем. Залежно від комплектації змінюються можливості мотор-тестерів.

До складу мотор-тестера зазвичай входить ЕОМ, комплект датчиків та група кабелів для тестування. У пам'яті є інформація з технічною характеристикою техніки, що діагностується. За відсутності інформації з досліджуваного двигуна можна вносити дані в ручному режимі.

Мотор-тестер М 3-2, розроблений і вироблений в Республіці Білорусь і широко використовується в Україні, призначений для оцінки технічного стану двигунів внутрішнього згоряння (Рис. 1.5). До складу приладу входять датчики: початку відліку; сили струму; напруги та стробоскоп.

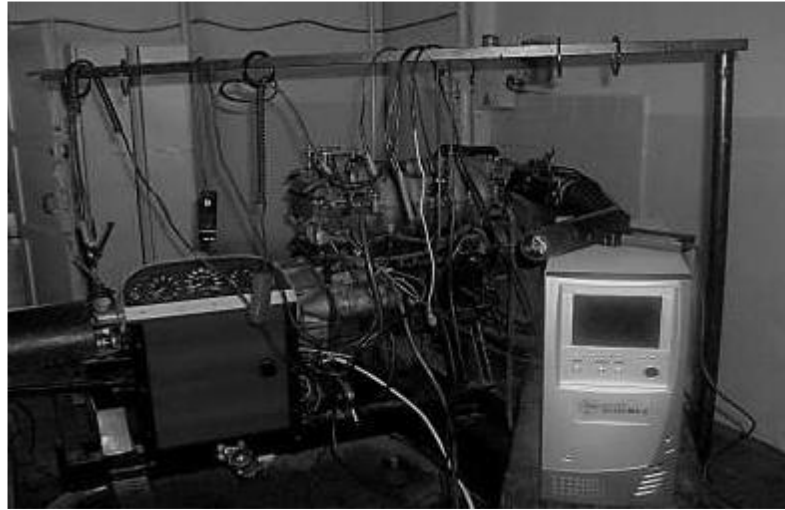


Рис. 1.5. Мотор-тестер М 3-2 у роботі

У пам'яті комп'ютера для обчислення ефективної потужності двигуна є значення приблизних коефіцієнтів умовних моментів інерції. Є можливість вносити показники у ручному режимі. По результатам діагностування видається діагностична карта оцінки стану двигуна (мінімальні обороти холостого ходу, ефективна потужність, нерівномірність роботи), системи упорскування, системи пуску та системи запалення.

Недоліком мотор-тестера є неможливість використання двигунів з турбонаддувом, для двигунів з невідомим моментом інерції та ефективною потужністю, а також неможливість визначення паливно-економічних показників.

Комплекс автомобільної діагностики КАД-300 (Рис. 1.6), служить для оцінки технічного стану бензинових двигунів з усіма видами систем запалення, і навіть діагностування систем упорскування палива дизелів та його електрообладнання на станціях технічного обслуговування.



Рис. 1.6. Комплекс діагностики КАД-300

Параметри роботи дизельного двигуна, які отримують за допомогою КАД-300:

- визначення мінімальної та максимальної частот обертання колінчастого валу двигуна;
- оцінка роботи автоматичної муфти випередження упорскування;
- перевірка установочного кута випередження упорскування палива;
- стан АКБ.

Недоліками КАД-300 є: орієнтованість на автотранспорт, стаціонарне виконання (необхідність діагностичного боксу) та відсутність можливості визначення паливно-економічних показників.

На даний момент виробництво продукції серії КАД припинено.

### **Висновок по розділу**

Проведений аналіз існуючих способів діагностування дизельних двигунів дає можливість зробити такі висновки:

1. При діагностуванні дизелів краще використання універсальних приладів та комплексів, що дозволяють здійснювати комплексне діагностування двигунів та їх систем.

2. Найбільший інтерес представляє методика діагностування технічного стану дизельних двигунів, заснована на оцінці їх динамічних якостей, проте для диференціювання можливих несправностей вона вимагає вдосконалення та розробки додаткових методик та засобів їх реалізуючих, для діагностики ЦПГ та систем паливо- та повітроподачі.



## РОЗДІЛ 2

### ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС

На підставі вищевикладеного було розроблено методику діагностування основних показників роботи дизеля та скомплектований діагностичний комплекс (рис. 2.1).

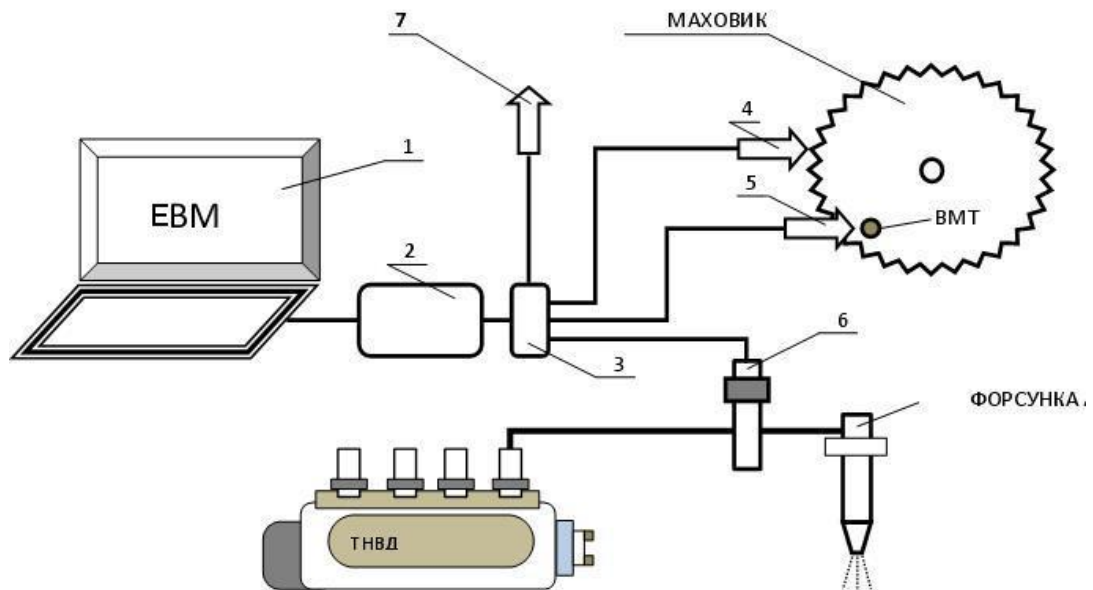


Рис. 2.1. Схема пропонуваного діагностичного комплексу

Для діагностики дизельного двигуна необхідно обробити масу даних, отриманих від різних вузлів. Масив даних формується за допомогою аналого-цифрового перетворювача 2, плати сполучення 3, двох індукційних датчиків 4 і 5, датчика тиску 6 у паливопроводі перетворювача надлишкового тиску у впускному колекторі 7. Датчик 4 використовується для отримання кутового прискорення колінчастого валу, на підставі якого визначається ефективна потужність дизеля. Датчик 5 використовується для визначення кута випередження упорскування палива та стану муфти випередження упорскування палива (за наявності). Датчик 6 фіксує значення тиску у паливопроводі, на підставі яких дається висновок про стан плунжерних пар, нагнітальних клапанів, паливних форсунок та інших вузлів системи живлення високого тиску.

Перетворювач надлишкового тиску у впускному колекторі 7 використовується для визначення стану системи впуску та турбокомпресора (за наявності).

Для отримання сигналу використовуються два індукційні датчики (Рис. 2.2). У маховику колінчастого валу більшості тракторів є механічний фіксатор (настановна шпилька) для визначення положення першого циліндра двигуна у верхній мертвій точці (ВМТ).

Технологічний отвір цього пристрою використовується для установки індукційного датчика фіксації 2 положення поршня першого циліндра в ВМТ (рис. 2.2).

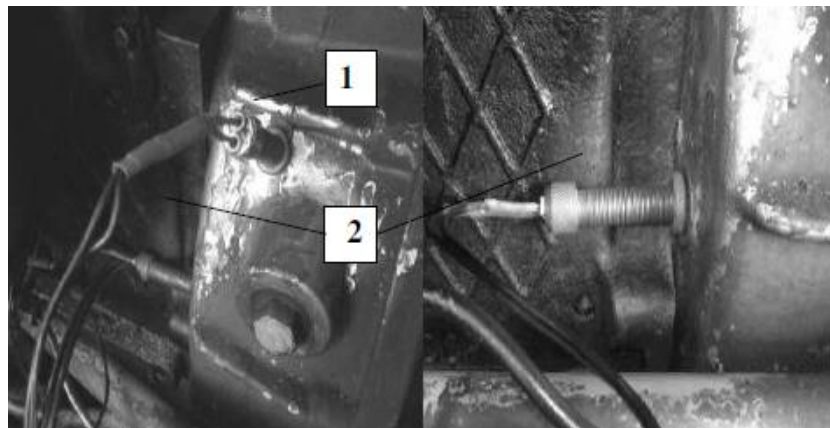


Рис. 2.2. Встановлення індукційних датчиків на двигун А-41: 1 – датчик частоти обертання маховика; 2-датчик фіксації ВМТ

Для спрощення робіт із встановлення датчика положення ВМТ на двигуні СМД-62 використовується попередньо підготовлений технологічний отвір діаметром 8 мм. Цей отвір виконується поруч із міткою, що відповідає положенню першого циліндра у ВМТ 1 (Рис. 2.3). Навпроти мітки на кришці верхнього вікна картера маховика встановлюється індукційний датчик ВМТ 2.



Рис. 2.3. Встановлення датчика положення ВМТ на дизелі СМД-62

Для вимірювання тиску в паливопроводі (Рис. 2.4) використовується датчик тиску, який встановлюється між форсункою першого циліндра двигуна та паливопроводом.



Рис. 2.4. Встановлення датчика тиску у паливо проводі.

Вимірювання тиску надуву повітря для двигунів з газотурбінним нагнітачем (ГТН) проводиться за допомогою датчика тиску, що встановлюється у впускному колекторі (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Датчик тиску ПД100-ДІ0.1 та спосіб його встановлення на двигун СМД-62.

Для визначення дійсного моменту інерції двигуна використовується пристрій «маховик з відомим моментом інерції», що входить до структури діагностичного комплексу (Рис. 2.6).

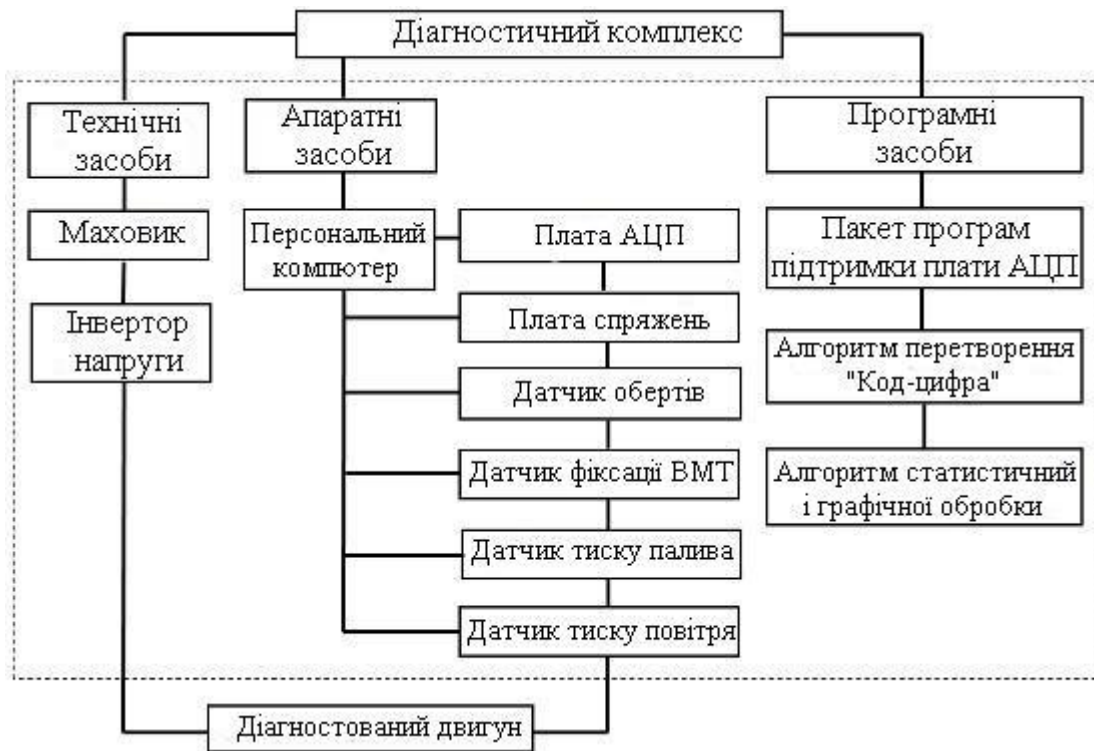


Рис. 2.6. Структурна схема діагностичного комплексу

Цей пристрій з'єднується з трактором, що досліджується, через вал відбору потужності (ВВП).

Під час проведення досліджень використовуються індукційні датчики та датчики тиску, які з'єднуються з комп'ютером екранованими коаксіальними провідниками.

Для обробки сигналів датчиків використовують аналого-цифровий перетворювач (АЦП) L-Card E-154 (Рис.2.7) з пакетом відповідних програм LGraph II.



Рис. 2.7. АЦП L-Card E-154

Для забезпечення передачі сигналів від датчиків до аналого-цифрового перетворювача до складу комплексу запроваджено плату сполучення. Плата сполучень має 8 входів, що дозволяє одночасно фіксувати вісім різних параметрів.

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ЗА РОЗРОБЛЕНОЮ МЕТОДИКОЮ

Результати діагностування за розробленою методикою досліджуваних двигунів представлені у табличній формі та у вигляді графіків.

За методикою визначення дійсного моменту інерції двигуна було визначено значення дійсних моментів інерції досліджуваних двигунів. У двигуна № 176721 –  $I_d = 4,66 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , а у двигуна № 186416 –  $I_d = 4,94 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Значення енергетичних показників діагностованих двигунів, з урахуванням певних дійсних моментів інерції, отримані за методикою АЧГАА у п'яти повторностях.

Визначення тиску наддуву на всьому діапазоні частоти обертання колінчастого валу, згідно з розробленою методикою, проводилося спільно з визначенням енергетичних показників у режимі вільного розгону.

За отриманими в п'ятикратній повторності значеннями тиску наддуву на рисунках 3.1, 3.2 представлені графіки залежності зміни тиску наддуву від частоти обертання колінчастого валу двигуна при розгоні тракторів.

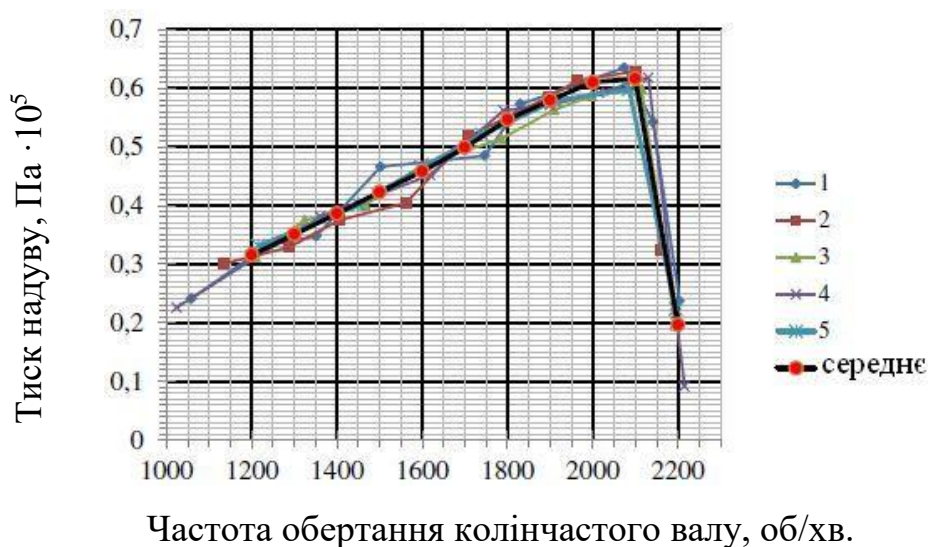


Рис. 3.1. Залежність тиску наддуву від частоти обертання колінчастого валу двигуна № 176721.

Тиск повітря у впускному трубопроводі, що забезпечується ГТН на номінальних оборотах колінчастого валу, має бути не менше  $3,5 \cdot 10^5$  Па. Виявивши характер залежностей  $p_n = f \cdot n$  досліджуваних двигунів СМД-62, визначимо граничні значення тиску надуву по всьому діапазоні швидкостей (Рис. 3.2).

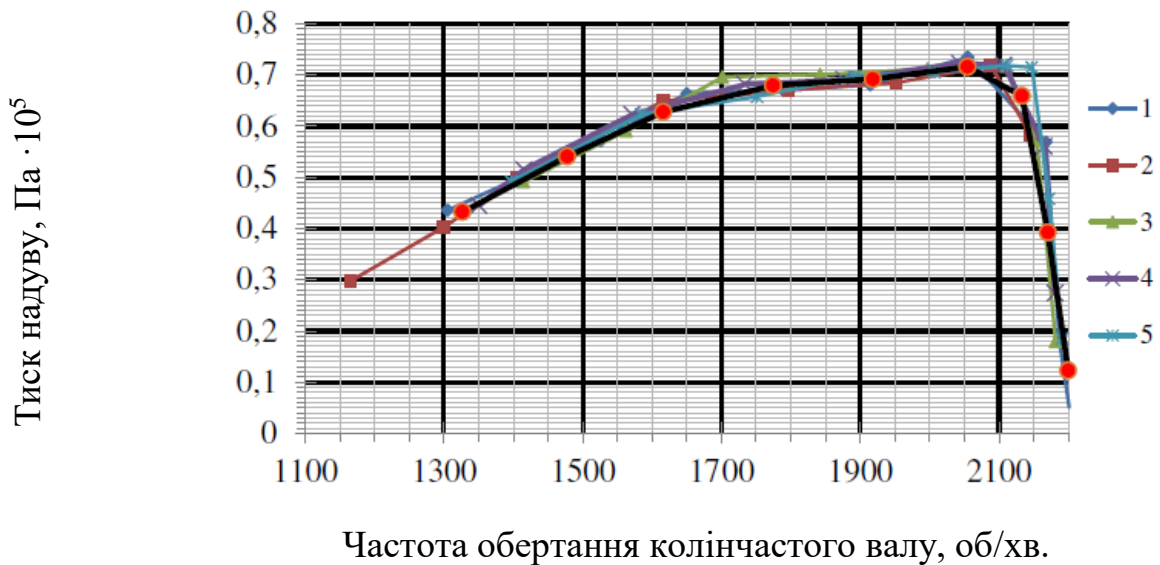


Рис. 3.2. Залежність тиску надуву від частоти обертання колінчастого валу двигуна.

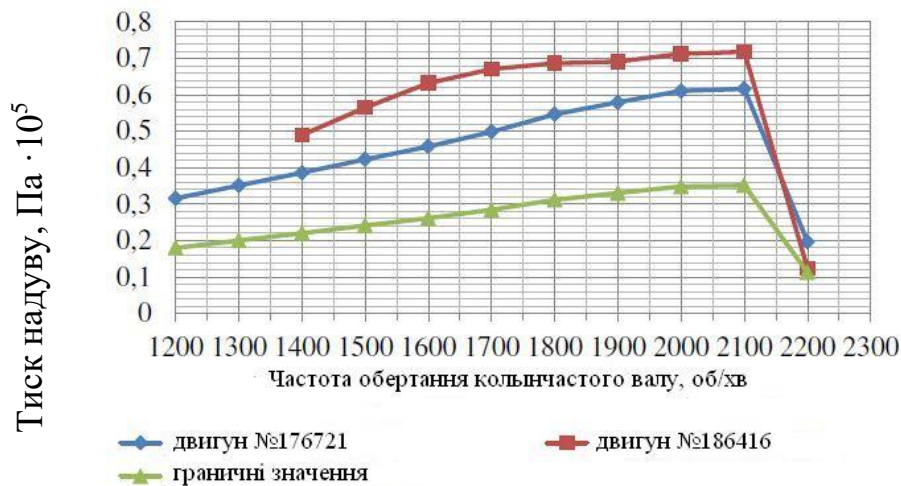


Рис. 3.3. Залежність граничних значень тиску надуву ГТН від частоти обертання колінчастого валу двигунів СМД-62 ( $p_n^{\text{гран.}} = f \cdot n$ ).

За графічними залежностями (Рис. 3.3) отримано рівняння регресії та визначено приватні коефіцієнти для двигунів СМД-62, що характеризують

залежність граничних значень тиску надуву на всьому діапазоні частот обертання колінчастого валу:

$$p_H^{\text{пред}} = 420 - 1,2 \cdot n + 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 - 8 \cdot 10^{-7} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot n^4 - 3 \cdot 10^{-14} \cdot n^5, \quad (3.1)$$

Умовою можливості подальшої експлуатації ГТН є виконання нерівності:

$$p_H^{\text{вим.}} \cdot n > p_H^{\text{гран.}} \cdot n, \quad (3.2)$$

Таким чином, використання розробленої методики та діагностичного комплексу дозволяє адекватно оцінити стан турбокомпресора в експлуатаційних умовах, без його демонтажу та дорогого діагностичного обладнання.

З отриманих за методикою, розробленою в АЧГАА, залежностей тиску надуву від частоти обертання колінчастого валу ( $p_H = f \cdot n$ ) та рівняння (3.3) регресії для двигунів СМД-62 визначаємо значення ефективної потужності досліджуваних двигунів на всьому діапазоні частот обертання колінчастого валу.

$$N_e = 0,006441 \cdot N_{\text{БН}}^2 + 0,00003135 \cdot N_{\text{БН}} \cdot p_H + 55,76 \quad (3.3)$$

Побудуємо графіки залежностей ефективної потужності від частоти обертання колінчастого валу двигуна за п'ятьма повторностями (Рис. 3.4 та 3.5).

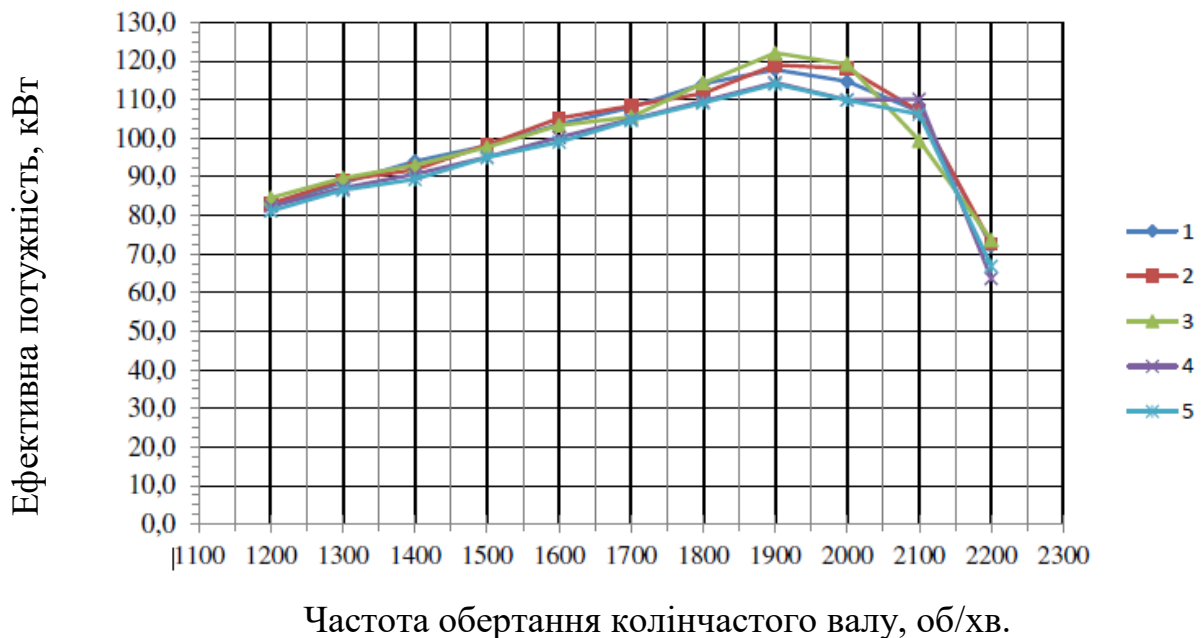


Рис. 3.4. Залежність ефективної потужності від частоти обертання колінчастого валу двигуна № 176721.



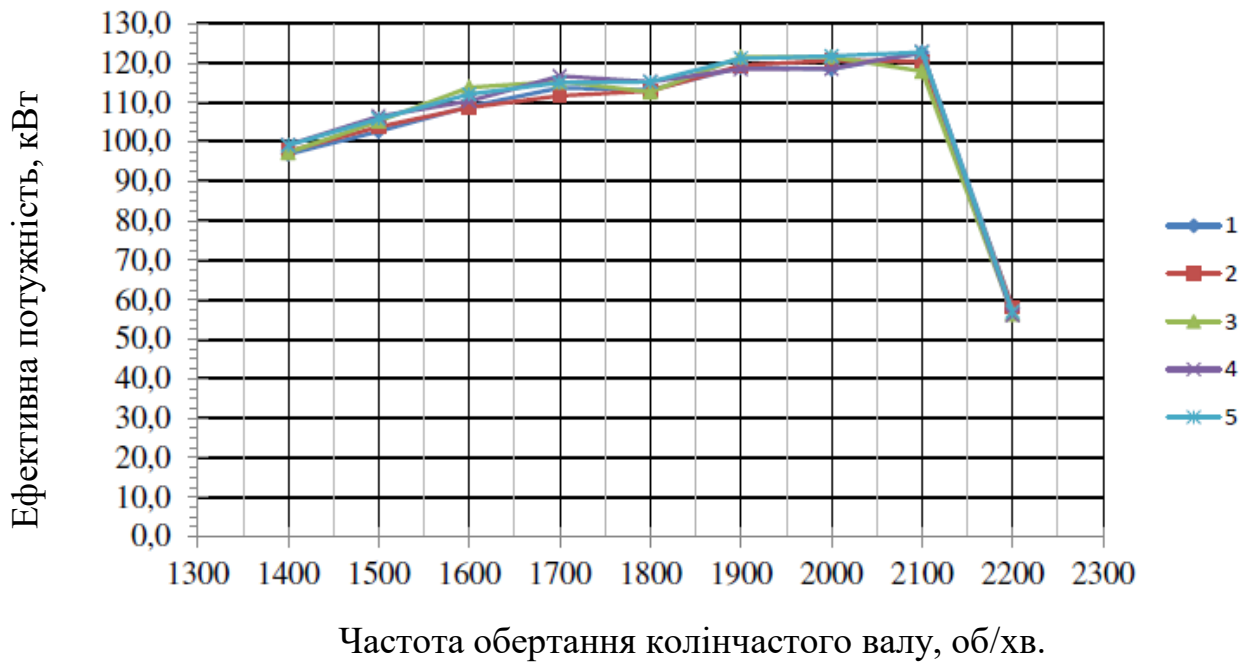


Рис. 3.5. Залежність потужності двигуна без наддуву від частоти обертання колінчастого валу двигуна № 186416.

На рисунках 3.6 та 3.7 представлені графіки залежностей ефективної потужності від частоти обертання колінчастого валу досліджуваних двигунів, отримані за стандартною та запропонованою методиками.



Рис. 3.6. Залежності ефективної потужності від частоти обертання колінчастого валу двигуна № 176721, отримані за стандартною та запропонованою методикою.



Рис. 3.7. Залежності ефективної потужності від частоти обертання колінчастого валу двигуна № 186416, отримані за стандартною та запропонованою методикою.

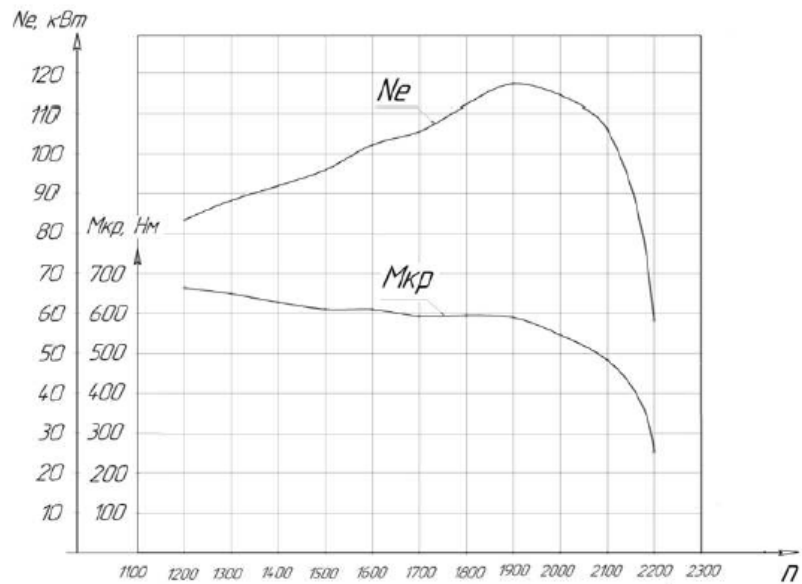
З аналізу графіків залежностей зміни ефективної потужності від частоти обертання колінчастого валу (рис. 3.6 та 3.7), отриманих за стандартною та запропонованою методиками, видно, що характер зміни даних залежностей дуже близький. Таким чином, використання розробленої методики та діагностичного комплексу дозволяє адекватно оцінити енергетичні показники досліджуваних двигунів в експлуатаційних умовах, без застосування дорогого обладнання.

Результати визначення енергетичних показників досліджуваних двигунів, отримані за допомогою розробленої методики, представлені у вигляді «часткової» регуляторної характеристики ( $M_d = f \cdot n$ ,  $N_e = f \cdot n$ ) (Рис. 3.8 та 3.9).

Розрахунок рівномірності роботи циліндрів досліджуваних двигунів проводився за співвідношенням потужностей двигунів з циліндрами, що по черзі відключалися. Порівнювалися потужності двигунів з відключеними циліндрами при номінальній частоті обертання колінчастого валу ( $n_{ном} = 2100$  об/хв).

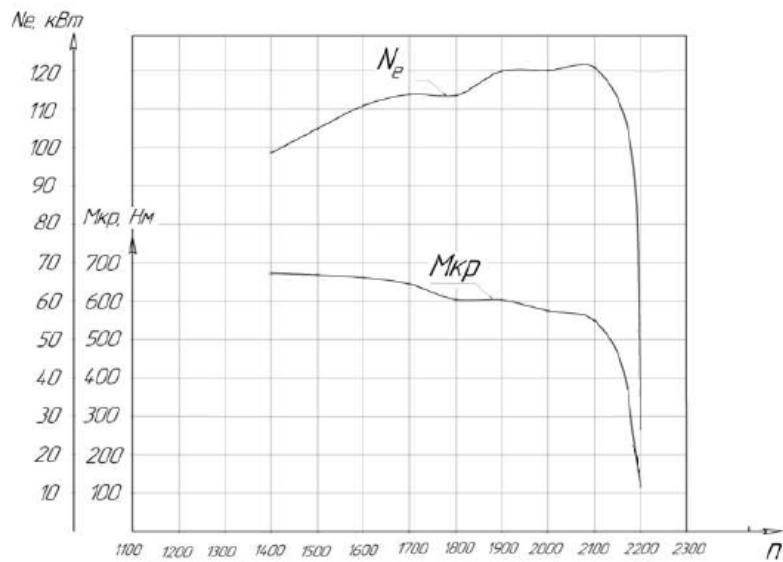
Результати визначення нерівномірності розподілу потужності по циліндрах у п'ятикратній повторності представлені у таблицях 3.1 та 3.2.

Нерівномірність розподілу потужності по циліндрах досліджуваних двигунів без урахування тиску наддуву складала: у двигуна № 176721  $\delta = 9,75\%$ ; у двигуна № 186416  $\delta = 9,75\%$ .



*Частота обертання колінчастого валу двигуна, об/хв.*

Рис. 3.8. Часткова регуляторна характеристика двигуна № 176721, отримана за запропонованою методикою.



*Частота обертання колінчастого валу двигуна, об/хв.*

Рис. 3.9. Часткова регуляторна характеристика двигуна № 186416, отримана за запропонованою методикою.

Таблиця 3.1 – Результати визначення ефективної потужності двигуна № 176721 з почергово відключеними циліндрами без урахування тиску надуву.

Номер відключеного циліндра	Потужність, кВт (при $n_{ном}=2100$ об/хв)					
	Номер повторності					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
-	89,12	89,19	82,26	91,85	88,53	88,19
1	65,24	65,66	70,06	68,12	66,01	67,02
2	64,59	65,17	65,82	63,94	66,26	65,16
3	65,32	64,86	67,31	68,63	65,23	66,27
4	68,37	69,73	71,23	73,81	70,62	70,75
5	71,18	69,57	66,15	67,39	68,12	68,48
6	71,71	74,38	73,43	69,12	70,57	71,84

Таблиця 3.2 – Результати визначення ефективної потужності двигуна № 186416 з почергово відключеними циліндрами без урахування тиску надуву.

Номер відключеного циліндра	Потужність, кВт (при $n_{ном}=2100$ об/хв)					
	Номер повторності					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
-	101,83	100,01	98,17	102,03	101,92	100,79
1	78,23	74,81	76,16	79,73	75,37	76,86
2	78,91	82,43	82,23	79,1	78,54	80,24
3	77,31	75,32	74,86	78,63	74,27	76,08
4	73,9	75,33	74,28	72,61	71,94	73,61
5	81,18	79,57	76,15	77,39	78,12	78,48
6	73,59	76,17	76,82	74,94	75,26	75,36

Результати визначення умовної індикаторної потужності циліндрів без урахування тиску надуву представлені в табл. 3.3.

Значення умовної індикаторної потужності досліджуваних двигунів без урахування тиску надуву склали:

-у двигуна № 176721  $N_i = 119,62$  кВт;

-у двигуна № 186416  $N_i = 144,11$  кВт.

Таблиця 3.3 – Результати визначення умовної індикаторної потужності по циліндрах без урахування тиску наддуву.

Номер циліндра	Умовна індикаторна потужність, кВт	
	Двигун № 176721	Двигун № 186416
1	21,17	23,93
2	23,03	20,55
3	21,92	24,71
4	17,44	27,18
5	19,71	22,31
6	16,35	25,43

Оцінка стану паливної апаратури проводилася розробленим комплексом за відомою методикою на підставі аналізу отриманої закономірності зміни тиску у паливопроводі. Запис даних проводився кожної секції паливних насосів діагностованих дизелів у п'яти повторностях. Середні величини тисків по секціях досліджуваних двигунів представлені табл. 3.4 і 3.5.

Таблиця 3.4. – Результати визначення тиску у паливопроводах двигуна № 176721

Час, мс	Тиск у паливопроводі, МПа					
	Номер секції					
	1	2	3	4	5	6
0,0	0,41	0,97	0,54	1,2	1,09	0,53
0,2	0,25	0,81	0,38	1,04	1,03	0,47
0,4	0,3	0,86	0,43	1,09	1,18	0,62
0,6	0,42	0,98	0,55	1,21	1,40	0,84
0,8	1,52	2,08	2,34	2,31	2,60	2,04
1,0	3,04	3,60	4,13	3,83	4,22	3,66
1,2	4,46	5,12	5,92	5,35	5,84	5,28
1,4	6,08	6,64	7,73	6,87	7,46	6,90
1,6	7,6	7,76	7,2	5,87	8,68	8,52
1,8	7,2	6,90	7	7,81	7,92	8,88
2,0	7	9,71	9,146	9,75	10,83	8,12
2,2	9,146	11,85	11,29	11,69	13,07	10,37
2,4	11,29	14,00	13,44	13,63	15,32	12,61
2,6	13,44	16,16	15,6	15,61	17,58	14,86
2,8	15,6	18,29	17,81	17,53	15,91	17,68
3,0	17,73	17,01	16,58	16,73	14,96	16,35

## Продовження таблиці 3.4

3,2	16,45	15,74	15,31	15,97	17,46	15,11
3,4	15,18	17,98	17,55	18,21	19,80	17,00
3,6	17,42	20,21	19,78	20,44	22,13	19,34
3,8	19,65	22,45	22,02	22,68	24,47	21,67
4,0	21,89	24,10	24,10	21,20	24,40	22,68
4,2	20,41	23,34	23,78	19,73	23,62	21,13
4,4	18,94	22,57	23,12	22,10	22,84	19,86
4,6	21,31	21,76	24,24	23,15	22,01	22,22
4,8	24,35	23,01	25,36	26,31	23,25	24,59
5,0	20,45	24,29	20,89	23,32	24,51	26,32
5,2	16,55	25,49	16,42	20,33	25,70	20,67
5,4	12,67	21,01	11,96	17,34	21,20	16,76
5,6	6,82	17,11	7,72	13,46	17,29	12,86
5,8	6,93	13,23	8,12	7,61	13,39	7,00
6,0	5,84	7,10	6,18	6,63	7,53	7,50
6,2	4,3	7,63	4,24	6,63	7,62	5,99
6,4	2,86	6,40	2,30	5,09	6,52	4,43
6,6	1,435	4,86	0,34	3,65	4,96	2,98
6,8	0,21	3,42	0,38	2,23	3,51	1,54
7,0	0,25	2,00	0,37	1,02	2,07	0,30
7,2	0,24	0,77	0,36	1,02	0,83	0,32
7,4	0,23	0,81	0,36	0,98	0,85	0,30
7,6	0,23	0,80	0,32	0,98	0,83	0,27
7,8	0,19	0,79	0,32	0,99	0,80	0,26
8,0	0,19	0,79	0,33	1,00	0,79	0,20
8,2	0,2	0,75	0,34	3,12	0,73	0,19
8,4	0,21	0,75	1,56	2,22	0,72	0,18
8,6	2,87	0,76	1,34	1,00	0,71	2,10
8,8	1,43	0,77	0,34	0,99	0,71	4,20
9,0	0,21	2,01	0,33	0,99	1,93	2,13
9,2	0,2	0,77	0,33	0,98	0,68	0,13
9,4	0,2	0,76	0,32	0,79	0,65	0,11
9,6	0,19	0,76	0,35	0,79	0,64	0,09

Таблиця 3.5 – Результати визначення тиску у паливопроводах двигуна № 186416

Час, мс	Тиск у паливопроводі, МПа					
	Номер секції					
	1	2	3	4	5	6
0,00	0,44	0,58	0,44	0,79	0,61	0,44
0,20	0,47	0,56	0,40	0,82	0,58	0,44
0,40	0,29	0,48	0,41	0,87	0,61	0,41
0,60	1,94	0,49	2,01	0,85	0,62	1,06
0,80	4,57	1,94	4,67	2,05	1,19	2,24
1,00	5,27	4,48	5,44	4,67	2,85	4,55
1,20	7,92	4,98	7,55	5,29	4,51	5,15
1,40	7,54	6,58	7,24	6,91	6,20	7,41
1,60	7,11	6,45	7,87	8,54	8,47	9,24
1,80	9,61	8,01	10,44	8,24	8,04	8,91
2,00	12,11	10,24	12,61	8,14	7,76	8,72
2,20	14,74	12,11	15,67	10,48	10,18	11,08
2,40	17,59	15,46	17,95	12,64	12,59	14,44
2,60	16,45	18,20	17,48	14,88	15,08	15,84
2,80	15,08	17,24	16,49	17,70	17,76	17,79
4,00	17,16	16,40	17,92	16,47	16,65	17,40
4,20	19,17	17,26	20,06	15,14	15,48	16,12
4,40	21,24	19,47	22,11	17,02	17,40	18,11
4,60	24,45	21,24	24,74	19,46	19,61	20,41
4,80	22,87	24,16	24,17	21,69	21,85	22,74
4,00	22,12	24,56	24,47	22,70	24,44	24,04
4,20	24,47	22,78	24,65	21,16	22,41	22,74
4,40	25,41	24,99	26,41	19,89	21,48	21,57
4,60	27,16	25,24	26,91	22,25	24,22	24,70
4,80	20,70	26,58	21,45	24,61	25,41	26,01
5,00	16,79	20,42	17,05	26,45	27,04	27,71
5,20	12,89	15,98	14,02	20,70	21,07	21,84
5,40	6,15	12,14	6,19	16,79	17,09	17,84
5,60	7,42	5,74	7,20	12,89	14,12	14,85
5,80	6,14	6,52	6,49	7,04	6,71	5,22

Продовження таблиці 4.5

6,00	4,49	6,14	4,64	7,64	7,66	6,74
6,20	4,27	4,60	4,48	6,02	6,19	4,46
6,40	1,67	4,41	1,84	4,47	4,61	2,28
6,60	0,46	1,84	0,47	4,01	4,20	1,14
6,80	0,41	0,66	0,44	1,67	1,66	0,68
7,00	0,48	0,64	0,64	0,66	0,46	0,40
7,20	0,46	0,66	0,62	0,48	0,40	0,40
7,40	0,41	0,66	0,60	0,61	0,60	0,41
7,60	0,29	0,64	0,49	0,64	0,46	0,49
7,80	0,26	0,66	0,47	0,48	0,46	0,46
8,00	2,66	0,64	2,88	0,46	0,48	1,41
8,20	6,12	2,98	6,67	0,64	0,40	2,84
8,40	2,14	6,67	2,47	0,48	1,60	2,11
8,60	0,18	2,61	0,46	2,16	4,70	1,08
8,80	0,29	0,69	0,69	4,26	4,26	1,16
9,00	0,42	0,84	0,69	2,17	1,20	0,78
9,20	0,29	0,81	0,66	0,79	0,66	0,49
9,40	0,44	0,76	0,61	0,82	0,68	0,49
9,60	0,26	0,64	0,14	0,87	0,69	0,48

За даними таблиць побудовані осцилограми зміни тиску в паливопроводах досліджуваних двигунів (рис. 3.10 та 3.11).

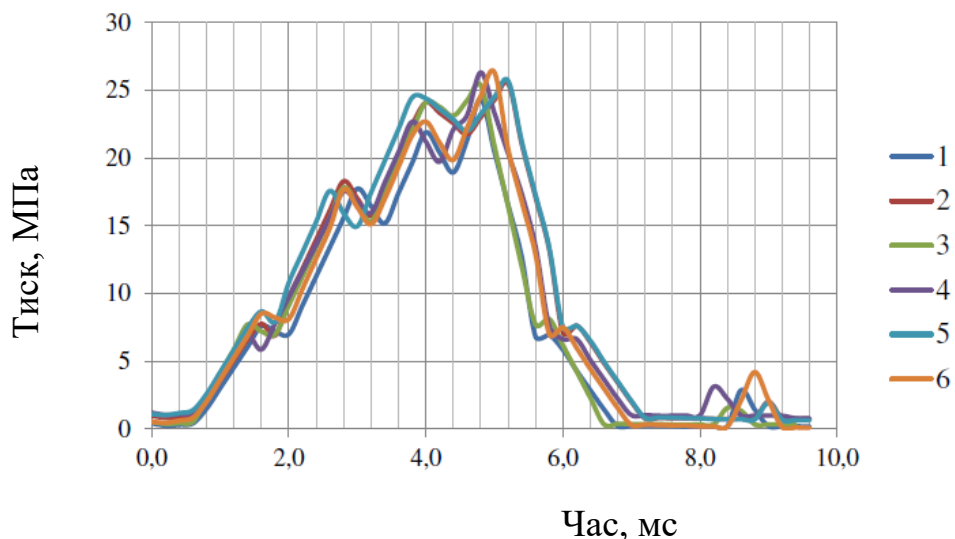


Рис. 3.10 Експериментальна осцилограма зміни тиску у паливопроводах двигуна № 176721



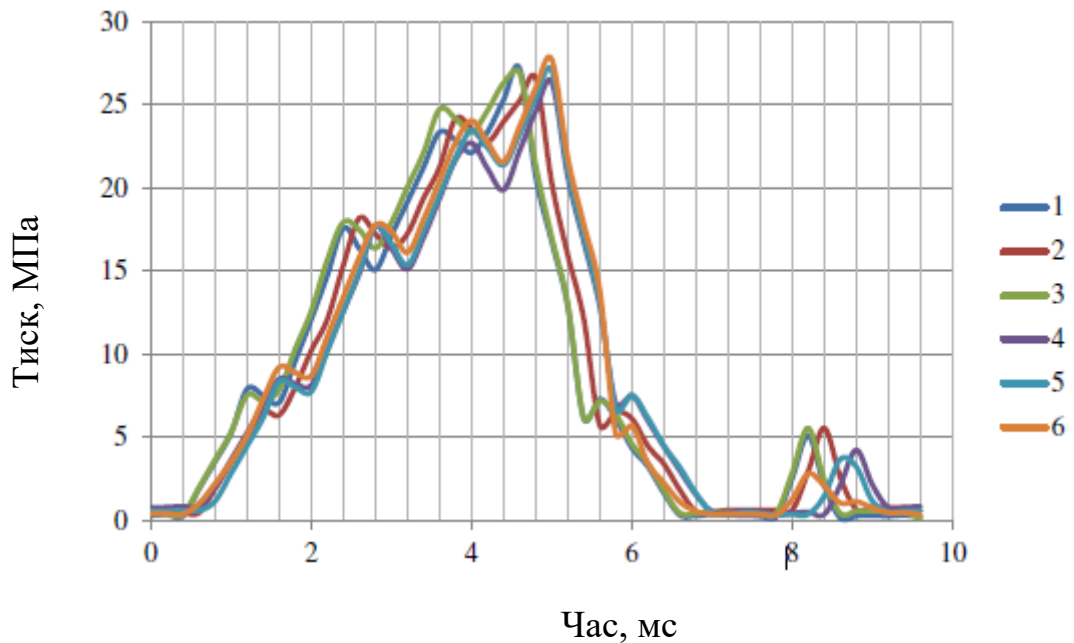


Рис. 3.11. Експериментальна осцилограма зміни тиску у паливопроводах двигуна № 186416

Згідно з експериментальними осцилограмами, для характерних ділянок були визначені приватні коефіцієнти рівнянь регресії для двигунів СМД-62:

$$\begin{aligned}
 & -0,40 \cdot t^4 + 2,62 \cdot t^2 + 1,06 \cdot t + 0,26 \\
 p_{\tau t} = & -1,47 \cdot t^4 + 16,01 \cdot t^2 - 44,90 \cdot t + 64,97 \quad (3.4) \\
 & -0,90 \cdot t^4 + 21,87 \cdot t^2 - 176,47 \cdot t + 471,84
 \end{aligned}$$

Результати визначення тиску початку упорскування палива форсунками діагностованих дизелів представлені в таблиці 4.6.

Аналізуючи значення тиску початку упорскування палива форсунками досліджуваних двигунів, отримані за запропонованою методикою, необхідно відзначити, що вони близькі до значень, отриманих за стандартною методикою пристосуванням для діагностики форсунок, що входять до комплексу стенду для перевірки та регулювання паливного обладнання. Таким чином, використання розробленої методики та діагностичного комплексу дозволяє адекватно оцінити значення тиску початку упорскування палива форсунками в експлуатаційних умовах, без застосування дорогого обладнання.

Таблиця 3.6 – Значення тиску початку упорскування палива форсунками досліджуваних двигунів.

Порядковий номер форсунки	Тиск упорскування палива форсункою, МПа	
	Двигун № 176721	Двигун № 186416
1	17,74	17,68
2	18,28	18,21
4	17,81	17,96
4	17,66	17,70
6	17,68	17,77
6	17,68	17,78

Визначення кута випередження подачі палива (КВПП) та стану автоматичної муфти випередження подачі палива досліджуваних двигунів проводилося відповідно до стандартної методики.

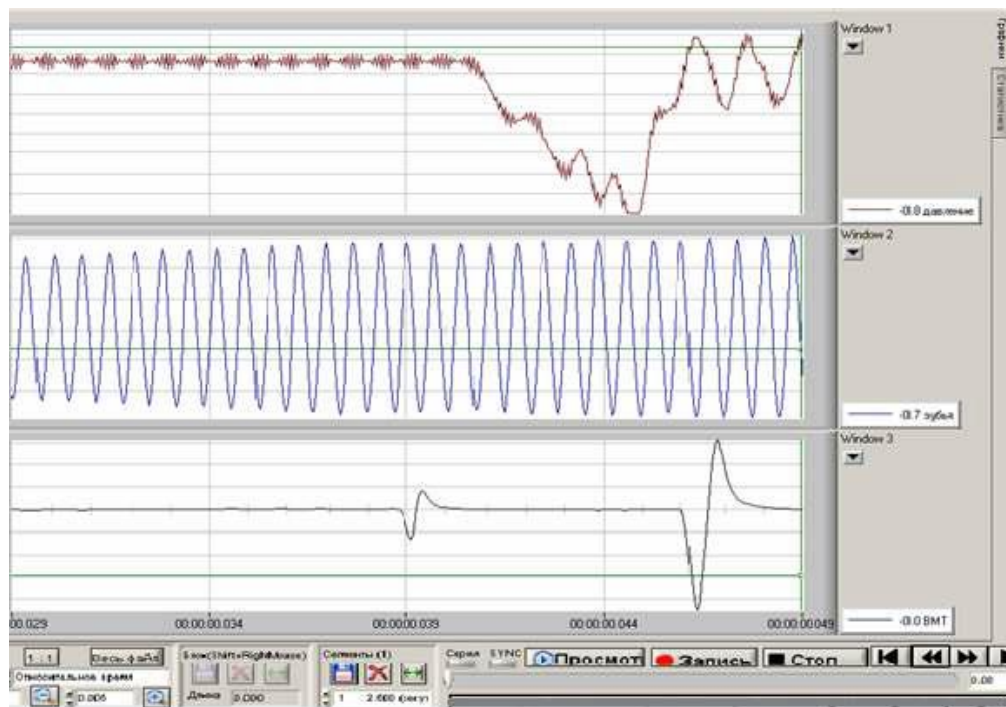


Рис. 3.12. Визначення установочного КВПП двигуна № 176721

Значення КВПП досліджуваних двигунів склали:

-у двигуна № 176721 КВПП =  $26^{\circ}$ ;

-у двигуна № 186416 КВПП =  $26,7^{\circ}$

В результаті діагностування досліджуваних двигунів запропонованою методикою отримані результати (таблиця 3.7), на підставі яких побудовані графіки КВПП залежно від частоти обертання колінчастого валу (Рис. 3.14 та 3.15).

Таблиця 4.7 - Результати визначення КВПП досліджуваних двигунів

Частота обертання колінчастого валу, об/хв	Середнє значення КВПП, град.	
	Двигун № 176721	Двигун № 186416
0 (установочний кут)	26,97	26,74
800	26,27	27,26
1000	26,74	27,74
1200	27,17	28,44
1400	27,96	28,91
1600	28,27	29,46
1600	28,76	40,0
1800	40,21	41,22
2000	41,82	44,26
2200	44,76	44,46

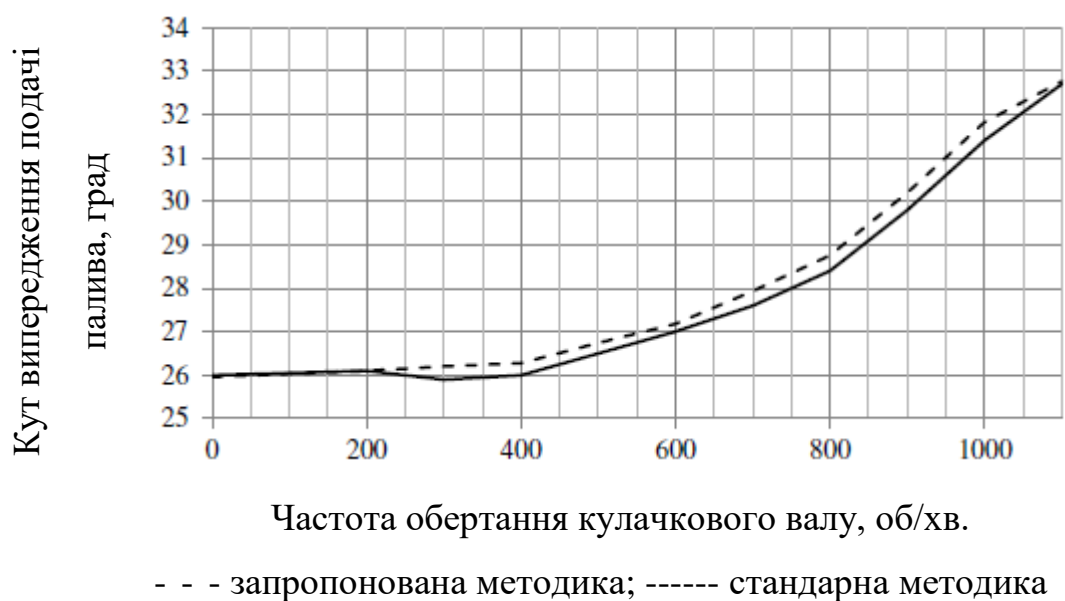


Рис. 3.14. Графіки зміни КВПП двигуна № 176721

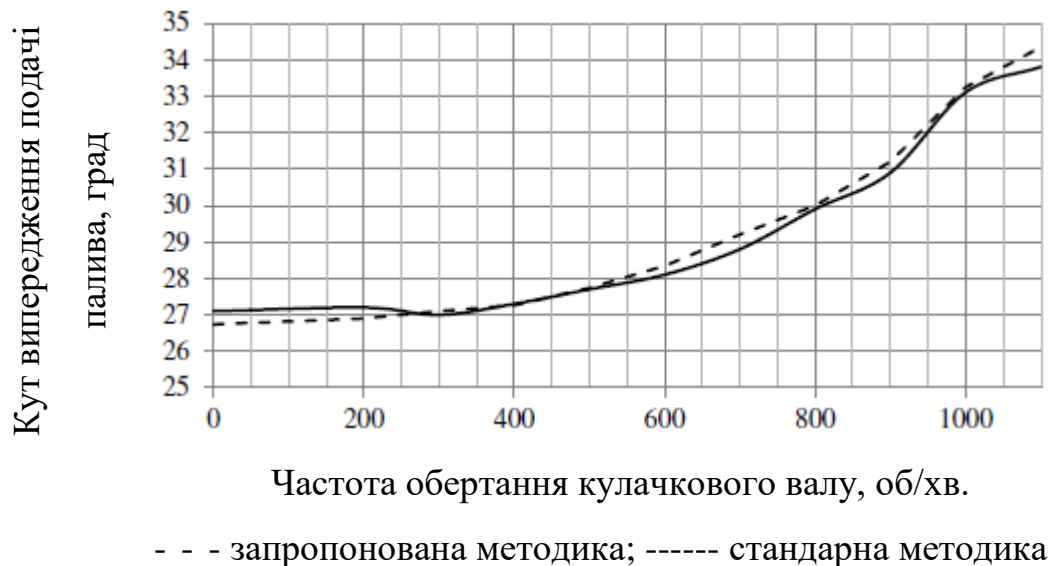


Рис. 3.14. Графіки зміни КВПП двигуна № 186416

Стандартна методика не передбачає визначення КВПП на всьому діапазоні частот обертання колінчастого валу двигуна. Тому для порівняння результатів визначення відносних кутів розвороту напівмуфт автоматичної муфти за запропонованою методикою зі стандартною методикою з таблиці 4.6 необхідно взяти значення КВПП для частот обертання колінчастого валу двигуна 1600 об/хв і 2000 об/хв (оскільки співвідношення частоти обертання кулачкового валу ТНВД до частоти обертання колінчастого валу двигуна – 1/2). Результати діагностування автоматичних муфт випередження подачі палива досліджуваних двигунів за запропонованою методикою представлені у таблиці 3.8.

Аналізуючи значення відносних кутів розвороту напівмуфт автоматичної муфти досліджуваних двигунів, отримані за запропонованою методикою, необхідно відзначити, що вони близькі до значень, отриманих за стандартною методикою на стенді для перевірки та регулювання палива. Таким чином, використання розробленої методики та діагностичного комплексу дозволяє адекватно діагностувати автоматичні муфти випередження подачі палива в експлуатаційних умовах, без застосування дорогого обладнання.

Таблиця 3.8 – Результати діагностування автоматичних муфт випередження подачі палива досліджуваних двигунів за запропонованою методикою

Досліджувані двигуни	Установочний КВПШ, град.	Відносний кут розвороту напівмуфт автоматичної муфти, град.	
		при частоті обертання колінчастого валу 1600 об/хв	при частоті обертання колінчастого валу 2000 об/хв
№ 176721	26	2,4	6,8
№ 184616	26,7	2,7	6,6

Крім того, за результатами визначення КВПШ, для досліджуваних двигунів СМД-62 (паливний насос НД-/6Б4-24) було отримано рівняння, що визначає залежність КВПШ від установочного кута та оборотів колінчастого валу двигуна (кулачкового валу ТНВД) на всьому діапазоні швидкостей  $\gamma = f \gamma_{уст} \cdot n$ . Також методом регресійного аналізу були визначені коефіцієнти, що входять до цього рівняння:

$$\gamma = (\gamma_{уст}, n) = \gamma_{уст} + 4 \cdot 10^{-4} \cdot n + 4 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot n \quad (3.6)$$

## ВИСНОВКИ

Аналіз стану проблеми показав, що при діагностуванні дизельних двигунів краще використовувати універсальні прилади та комплекси, що дозволяють здійснювати комплексне діагностування двигунів та їх систем. Найбільший інтерес представляє методика діагностування технічного стану дизельних двигунів, заснована на оцінці їх динамічних якостей, проте для диференціювання можливих несправностей вона потребує вдосконалення та розробки додаткових методик та засобів, що їх реалізують.

Удосконалена методика дозволяє визначати залежності основних параметрів  $p_n = f n$ ,  $M_k = f n$ ,  $N_e = f n$ ,  $p_m = f t$ ,  $\gamma = f n$ , за якими можна судити про технічний стан турбокомпресора, циліндропоршневої групи та системи паливоподачі дизелів з газотурбінним надувом.

Для реалізації вдосконаленої методики скомплектований діагностичний комплекс, що складається з персонального комп'ютера з розробленим програмним забезпеченням, плати аналого-цифрового перетворення, плати сполучень, індукційних датчиків імпульсів, датчиків тиску (надува та палива), інвертора напруги та маховика з відомим моментом, що дозволяє з достатньою точністю діагностувати стан турбокомпресора, циліндропоршневої групи та системи паливоподачі дизелів з газотурбінним надувом на всьому діапазоні частот обертання колінчастого валу.

Застосування розробленого діагностичного комплексу дозволяє знизити витрати часу та праці загалом на 62,6%, а трудомісткість діагностування одного двигуна – з 8 до 4 чоловік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тарасов Ю. В. Оценка эффективности рециклинга транспортных средств, вышедших из эксплуатации. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков: ХНАДУ, 2016. С. 46-64.

2. Полянский А.С. Нормирование диагностических параметров элементов двигателя. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (технічні науки)*. Харків : ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2017. Вип. 180. С. 48-66.

4. Полянский А.С. Совершенствование метода оценки технического состояния цилиндропоршневой группы. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків : ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2018. № 14. С. 44-48.

4. Коробко А. Зміна потужності і витрати палива двигуна колісної машини під час вимикання частини його циліндрів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. – ДНУ УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого. Дослідницьке, 2018. Вип. 22 (46). С. 87-94.

6. Молодан А.А. Теоретические расчеты относительного дополнительного расхода топлива при отключении цилиндров. *Інженерія природокористування*. Харків : ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2018. №2 (10). С. 76-82.

6. Полянский А.С. Выбор диагностических параметров оценки технического состояния колесных машин. *«Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення сил охорони правопорядку»*: Збірник тез доповідей науково-практичної конференції, 27 жовтня 2016 р. Харків: Національна академія національної гвардії України, 2016. С. 84-88.

7. Тарасов Ю.В. Підвищення ефективності і довговічності деталей циліндро-поршневої групи відремонтованих дизелів. *Секція 2. «Технічне та тилове забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України»*

*сучасний стан, проблеми та перспективи»*: Збірник тез доповідей науково-практична конференції, 14 березня 2019 р. Харків: Національна академія Національної гвардії України, 2019. С. 64-68.

8. Тарасов Ю.В. Оцінка залишкового напрацювання до відмови деталі з тріщиною в двигуні з відключеними циліндрами. *«Актуальні питання забезпечення службово-бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів»*: Збірник тез доповідей ІХ всеукраїнської науковопрактичної конференції, 29 жовтня 2020 р. – Харків: Національна академія Національної гвардії України, 2020. С. 94-98.

9. Бахарев В. П. Проектирование и конструирование в машиностроении. Ч.1. Общие методы проектирования и расчета. Надежность техники. Старый Оскол: ТНТ, 2014.

10. Альгин В. Б Технологические и эксплуатационные методы обеспечения качества машин: монографія. Минск: «Беларус. навука», 2010. 446 с.

11. Арав Б. Л. Обеспечение параметрической надежности показателей тракторного дизеля с учетом условий производства и эксплуатации. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2004. № 1. С. 120-128.

12. Комаров В. В. Оценка соответствия качества автомобилей. Москва : НПСТ «Трансконсалтинг». 2004. 460 с.

14. Подригало М. А., Волков В. П., Бобошко А. А. Динамика автомобіля. Харьков : Изд-во ХНАДУ. 2008.

14. Абрамов Д.В. Динамічні властивості і стабільність функціонування автотранспортних засобів: монографія. Харьков : ХНАДУ. 2014. 440 с.

16. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. Навчальний посібник. Харьков : ХНАДУ, 2004. 244 с.