

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Забезпечення ефективності діагностування та ремонту форсунок
автотракторних дизелів»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 5
Налойченко Сергій Іванович
Керівник: Яценко Ю. В.
Рецензент: Дудник В. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Якісне та швидке виконання сільськогосподарських робіт сьогодні не можна уявити без використання сучасної автотракторної та мобільної сільськогосподарської техніки. Значна кількість таких машин останнім часом оснащуються двигунами з електронно керованими насос-форсунками, при цьому технічний стан насос-форсунок в основному визначають показники дизеля: потужність, економічність, димність і викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Надійність насос-форсунок досить висока (заявлений ресурс роботи становить близько 1 млн. км пробігу або 25 тис. мото-годин), проте досвід експлуатації показує, що навіть в гарантійний період спостерігаються їх відмови, що призводить до вимушених простоїв високопродуктивної техніки [1, 2].

У зв'язку зі складною технологією ремонту насос-форсунок, жорсткими вимогами до устаткування і кваліфікації виконавців, фірми виробники надають регульовальні дані тільки авторизованим сервісним центрам. Існуючі технології діагностування і дефектації насос-форсунок розроблені виключно іноземними виробниками агрегатів, які жорстко орієнтуються на вимоги, встановлені для нових виробів навіть в процесі ремонту агрегату, не мають поняття поточного ремонту і нав'язують повну заміну всіх відповідальних деталей при обслуговуванні насос-форсунки.

У той же час відомо, що в процесі експлуатації насос-форсунки до заводських регулювань і допуски істотно змінюються, причому до певної межі це не робить помітного впливу на вихідні показники роботи дизеля. До того ж занадто завищені вимоги до вузлів в процесі складання та регулювання насос-форсунок призводять до необґрунтованих заміन ще працездатних деталей, що істотно збільшує вартість ремонту. Проведення якісного ремонту насос-форсунок стримується відсутністю широко доступних і зрозумілих технологій ремонту, а також недорогого спеціалізованого інструменту.

У зв'язку з цим, в умовах повсюдного імпортозаміщення, для ремонтних підрозділів в агропромисловому комплексі становить значний інтерес розробка нових, науково обґрунтованих методів діагностування та ремонту насос-форсунок, а також розробка нових технічних засобів їх випробування, які не потребують авторизації у виробників агрегатів і враховують реальний технічний стан кожного елемента системи харчування.

Мета роботи. Підвищення ефективності діагностування та ремонту насос-форсунок автотракторних і комбайнових дизелів.

Об'єкт дослідження. Технології та засоби діагностування насос-форсунок автотракторних і комбайнових дизелів.

Предмет дослідження. Закономірності впливу відхилень структурних параметрів насос-форсунок на їх вихідні діагностичні параметри з урахуванням напрацювання.

Методика досліджень. У теоретичних дослідженнях застосовані основи гідродинамічного розрахунку паливоподаючих систем і основні закони математичного моделювання робочих процесів. Експериментальні дослідження в лабораторних умовах проводили на спеціальному обладнанні.

Теоретична і практична значущість досліджень полягає в тому, що розроблена методика безрозбірного діагностування технічного стану прецизійних елементів насос-форсунок з електронним управлінням.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз технічного сервісу паливоподаючих систем дизелів

Скорочення обсягів виробництва сільськогосподарської продукції прямо пов'язано зі зниженням рівня технічної оснащеності сільських товаровиробників і посилюється відсутністю належної системи технічного сервісу як техніки в цілому, так і окремих її агрегатів по всьому основному переліку сільгоспмашин і обладнання.

Аналіз технічного сервісу паливоподаючих систем дизелів показав, що на сьогоднішній день не забезпечується належна якість їх технічного обслуговування в ремонтних підприємствах паливоподаючої системи і на сервісних станціях. Це, перш за все, пояснюється тим, що для технічного обслуговування сучасної, частіше імпоротної техніки, потрібна наявність висококваліфікованих фахівців, спеціалізованого інструменту, обладнання і оснастки, які в більшості випадків випускаються за кордоном.

У зв'язку з конструктивним різноманіттям застосовуваних систем, великою проблемою є оснащення необхідної технічної документації, технологічних карт ТО і ремонту. У великих агрохолдингах і сервісних станціях, де в основному експлуатуються закордонні машини, немає належної виробничої бази технічного обслуговування і ремонту паливоподаючої системи, не вистачає висококваліфікованих сервісних інженерів, в зв'язку з цим збільшуються вимушені простой гарантійних комбайнів і тракторів з вини сервісної служби дилерів.

Експлуатація закордонної сільськогосподарської техніки має ряд особливостей. По-перше, у зв'язку з більшою технічної і технологічної надійністю спостерігається високе напруження сільськогосподарських машин за сезон, це обумовлено, перш за все, інтенсивним їх використанням,

у зв'язку з недостатньою кількістю техніки в господарствах, великим набором вирощувальних культур і великою тривалістю збиральних робіт.

По-друге, для правильної організації і ефективного проведення ТО і ремонту перешкоджає багатомарочність закупленої зарубіжної сільськогосподарської техніки. У зв'язку з цим слід зазначити, що нерідко встановлюються різні моделі силових агрегатів навіть в сільськогосподарської техніки однієї моделі, і, як наслідок, збільшується номенклатура вузлів і агрегатів, наприклад, паливоподаючих систем. Встановлюється в дизелях паливна апаратура фірм Bosch, Delphi і Denso, що відрізняється між собою технологією регулювання, конструктивною і необхідною оснасткою, що використовується при техобслуговуванні і ремонті [3].

По-третє, техніко-економічний аналіз стану ремонтних підприємств і досвід експлуатації сучасних паливоподаючих систем показує, що найбільш якісне техобслуговування і ремонт складних вітчизняних і зарубіжних паливоподаючих систем забезпечується тільки в спеціалізованих підприємствах з технічного сервісу паливоподаючих систем.

По-четверте, якісний технічний сервіс паливоподаючих систем повинен здійснюватися тільки висококваліфікованими фахівцями з використанням відповідної інформаційної підтримки і сучасного обладнання.

По-п'яте, на сьогоднішній день система технічного сервісу імпортованих мобільних сільськогосподарських машин і тракторів знаходиться на високому рівні. Незважаючи на досить розвинену мережу дилерських підприємств, вони мають невисоку ефективність. Так як недостатньо розвинена їх виробнича база ремонту і ТО, спостерігаються часті як прості, так і складні відмови сільськогосподарських машин після третього сезону їх служби, внаслідок цього обсяг ремонтних робіт істотно зростає [4].

Щоб оцінити ефективність роботи інженерних підрозділів, необхідно проаналізувати рівень використання машинно-тракторного та автомобільного парків підприємства. Машинно-тракторний парк (МТП) є

основою механізації в рослинництві та його надійність і ефективність використання визначають собівартість виробленої продукції і її якість. Підвищення надійності МТП на даний день є пріоритетним завданням, але її рішення більшість фахівців представляє у вигляді комплексу заходів, які практично не зачіпають питання вдосконалення інженерних служб підприємств і системи їх інженерно-технічних забезпечення. Без цього кроку проблема надійності МТП вирішуватися не може, так як нова техніка буде надходити в середовище, умови якого не дозволять реалізувати потенційні можливості машин і раціонально управляти їх експлуатацією [5].

На даний момент технічний сервіс в АПК не має технічного оснащення, яке дозволяло б проводити технічний сервіс сучасних паливоподаючих систем [6]. Стара система інженерно-технічного забезпечення в АПК вже не може проводити діагностику і ремонт сучасних паливоподаючих систем, так як сучасні конструкції сільськогосподарських машин відрізняються значно від старої техніки наявністю різних електронних компонентів, гідро і електрокерованих і інших складних агрегатів і вузлів, що вимагають дорогого устаткування і технологій. Перехід на обслуговування у дилерів ускладнюється високою ціною замінних вузлів і агрегатів і прийнятої концепції неповного використання ресурсу техніки. Оплачувати дилерам весь обсяг сервісних робіт найближчим часом може дуже мале число сільськогосподарських товаровиробників. У зв'язку з цим, як основи управління якістю технічного стану різних систем, роль діагностування в системі технічного сервісу значно підвищується.

Перспективний варіант інженерної служби технічного сервісу зі спеціалізованими ділянками передбачає таку її структуру і матеріальне забезпечення, при якому будуть не тільки високі виробничі показники, а й можливість фахівців постійно аналізувати технологічні процеси, шукати їх резерви із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Тут гостро стоїть питання розробки моделей інформаційного забезпечення інженерних служб, автоматизованих робочих місць для інженерів, формування

внутрішньогосподарських баз даних і спеціалізованих комп'ютерних програм для роботи з ними.

1.2. Методи і засоби діагностування деталей паливної апаратури

При визначенні технічного стану паливної апаратури дизелів можна застосовувати різні методи діагностування, які розподіляться за ознаками використовуваного фізичного процесу.

Діагностування паливоподаючих систем (ППС) віброакустичним методом. Процес впорскування палива супроводжується формуванням в різних місцях системи подачі палива віброакустичних сигналів, що викликаються як переміщеннями рухомих деталей ППС (голки форсунки, нагнітального клапана, муфти приводу, деталей приводу плунжера), так і хвилями тиску палива в лініях низького і високого тисків [7,8].

Вібродіагностика форсунок – апробований метод оцінки їх технічного стану [8]. Те ж саме можна віднести і до паливних насосів високого тиску. Метод розвивається як в додатку до ППС, так і в суміжних областях техніки.

Безумовною перевагою віброакустичної діагностики є найпростіший спосіб закріплення первинних перетворювачів на об'єкті. Такі нові методи, як лазерна вібродіагностика взагалі допускають безконтактне зняття сигналу. Найпростіше реалізуються методи з обмеженою інформативністю, наприклад, що забезпечують фіксування початку і кінця подачі.

Разом з тим обробка, інтерпретація інформації, розпізнавання параметрів і дефектів вельми складні, недостатньо стабільні, достовірні і інформативні. Вібрація дуже сильно залежить від способу і якості закріплення вузла, від застосовуваних матеріалів, від стану деталей, на які встановлено об'єкт. Навіть для випробувань в безмоторних умовах бажано застосування малOSHумного стенду. При випробуваннях на дизелі діагностичні параметри змінюються в порівнянні з випробуваннями в модельних умовах, а розшифровка сигналів стає ще менш надійною.

Розрахункове визначення власних частот коливань системи і її елементів важко і зазвичай пов'язане з грубими припущеннями. З цієї причини амплітудно-частотні характеристики зазвичай виявляють дослідним шляхом.

Ряд дефектів ППС при цьому взагалі не виявляються, побудова багатofакторної діагностичної моделі з урахуванням взаємодії чинників стає практично нездійсненною. Наприклад, при вібродіагностуванні форсунок наявність більшості поширених дефектів (зависання голки, закоксовування сопел розпилувача, зрізання головки розпилувача) характеризується зниженням рівня вібрації форсунки з якого неможливо точно вказати вид дефекту. Ефективність діагностування обмежується похибкою.

Магнітоелектричний метод діагностування за параметрами переміщень рухомих деталей. Метод заснований на реєстрації змінного магнітного потоку в попередньо намагнічених деталях діагностичного механізму. Індукована ЕРС в магніточутливому елементі датчика пропорційна швидкості руху намагніченої деталі. Метод дозволяє реєструвати переміщення, фазові параметри деталей агрегатів, визначати відхилення цих параметрів від номінальних значень. При діагностуванні цим методом можуть виникнути складнощі у зв'язку з нестабільністю з плином часу магнітних властивостей діагностованого елемента. Визначення параметрів руху елементів форсунки (голки, штанги), за якими можна більш точно визначити характеристики подачі палива, викликає серйозні труднощі. У зв'язку з цим можна припустити, що при цьому методі можна витягти обмежену інформацію про стан ППС [9].

Спектрографічні методи («метал в середовищі») дуже зручні, мають добре розроблене математичне забезпечення та апробовані, наприклад, при діагностуванні та прогнозуванні залишкового ресурсу поршневої групи дизеля. Фірмами «Spectro Incorp» і «Caldwell Development» (США) розроблено для таких цілей «датчики-феррографи», реєструють частинки розміром менше 150 мікрон [10]. Але для задач з ППС вони навряд чи знайдуть застосування через відсутність накопичення металу в рідині,

малості зносів, універсальності матеріалів для різних деталей і абсолютно недостатній інформативності.

Ще більш популярні методи контролю ППС через параметри робочого процесу дизеля. Це легко пояснити: вплив перших на другі значний, в процесі регулювання ППС при виробництві і в експлуатації параметри робочого процесу є єдиними критеріями, а самі вони на великих дизелях, особливо головних суднових, постійно діагностуються. Тому ці методи розробляються в першу чергу для тихохідних суднових дизелів, що мають великий ресурс і практично не застосовуються в швидкохідних автотракторних дизелях в зв'язку з високою вартістю і обмеженим терміном роботи перетворювачів і датчиків [11].

Кінематичний метод діагностування характеризується зміною положення, руху деталей і їх спряжень з геометричної точки зору. Цей метод включає в себе безпосереднє вимірювання розмірів, зносів деталей, зазорів їх спряжень (установчі розміри важелів регулятора, хід рейки і т.п.), застосовується при перевірці окремих вузлів і деталей ППС і, як правило, проводиться при непрацюючому дизелі або розібраних вузлах .

Газоаналітичний метод оцінки стану паливної апаратури за вмістом у відпрацьованих газах дизеля Д-240 розглядається в роботі [12]. За вмістом у відпрацьованих газах O_2 і CO_2 оцінюється якість процесів сумішоутворення і згоряння і на цій основі пропонується визначати технічний стан вузлів ППС. З введенням нормативів на викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизелів охоплення цим методом діагностування істотно розширюється. Разом з тим за результатами діагностування складно судити про конкретний дефект в ППС і кількісні характеристики параметрів технічного стану паливної апаратури.

До числа найбільш популярних методів вивчення і діагностування роботи ППС відносяться гідравлічні методи і, в першу чергу, метод вимірювання тиску в нагнітальному трубопроводі (у насоса або у форсунки). Його головне і безперечне достоїнство – вимір параметра, безпосередньо

пов'язаного з інтенсивністю і особливостями впорскування. З використанням додаткової інформації та розрахункових методів цей сигнал дозволяє точно розраховувати найважливіші показники подачі для даної системи. До переваг методу також відносять і допустиму для задач діагностики складність монтажу датчика, яка при використанні накидних п'єзоплівкових датчиків фірм AVL, Kistler стає мінімальною [12].

Автоматизація постановки діагнозу дозволяє підвищити достовірність, трудомісткість робіт і знизити вимоги до кваліфікації виконавця. Однак для створення такої системи діагностики потрібне створення формалізованих достовірних діагностичних моделей. Вони повинні базуватися не на еталонній кривій, а на полях допусків, неминучих в умовах реального виробництва і експлуатації. Разом з тим створення такої діагностичної моделі – досить трудомісткий і дорогий процес.

Разом з тим можливості методу значно ширші, але існують практичні труднощі створення докладної адекватної діагностичної моделі. Це завдання можна вирішувати на основі вивчення поведінки ряду діагностичних параметрів.

Різноманітність діагностичних засобів представлено в класифікаційній схемі (табл.1.1) [13], що відображає їх відмінність за призначенням, ступенем автоматизації вимірювань, спектру вирішених завдань, конструктивних особливостях і ін.

Таблиця 1.1 – Класифікація засобів діагностування паливної апаратури

Класифікуючі ознаки	Засоби діагностування
1	2
Ступінь автоматизації	Механізовані; автоматизовані; автоматичні
Призначення та пристосованість до діагностування елементів паливної апаратури	Пристрої та прилади для вимірювання окремих параметрів та вузлів
Виконання	Переносні; пересувні; стаціонарні; бортові; частина загальної системи керування роботою дизеля

Продовження табл. 1.1

1	2
Стан об'єкту діагностування	Використовуються при: не функціонуючому об'єкті; функціонуючому об'єкті; тестових впливах на об'єкт; будь яких станах об'єкту
Характеристика інформації по діагностованому об'єкту	Кількісна оцінка; якісна оцінка; кількісна та (або) якісна оцінка з прогнозуванням стану
Адаптивність	Всі операції діагностування проводяться за участі оператора (майстра-наладчика); настройка параметрів та режимів діагностування проводиться оператором; самоналаштовуючі
Спектр задач	Інформація про стан, прогнозування та рекомендації, формування бази даних для автоматичного налаштування та управління роботою ДВЗ

Разом з розглянутими методами продовжують застосовуватися і вдосконалюватися старі методи часткового діагностування паливної системи: підключення до форсунки через трійник тарований випробувальної форсунки (максиметра), безперервний запис підйому голки, вимірювання продуктивності і фази подачі палива, вимірювання запасу по продуктивності, візуальна оцінка якості розпилювання палива форсункою.

Вимірювання параметрів ППС при невстановлених режимах вважається перспективним напрямком оцінки технічного стану регуляторів ПНВТ. Рішення зазначеної задачі може бути істотно полегшено при застосуванні електронних засобів і ПК в процесах вимірювання і обробки інформації, при визначенні точок зовнішньої швидкісної і регуляторної гілок характеристики ПНВТ і вимірі миттєвих значень параметрів подачі палива і числа обертів вала насоса.

При цьому процес діагностування займає 15 ... 20% від загального часу. Так виробнича перевірка технології діагностування тракторів автоматизованими установками показала, що на приєднання і від'єднання датчиків і перехідних пристроїв через низьку пристосованість тракторів витрачається до 80% загального часу діагностування машини. На

встановлення режиму діагностування об'єкта і безпосереднє вимірювання діагностичних параметрів витрачається 10 ... 15%. На фіксацію результатів і прогнозування залишкового ресурсу – 5 ... 6% відведеного часу [13].

Для оцінки технічного стану паливної системи застосовуються різні методи діагностування (табл. 1.2) [14], що застосовуються відповідно до завдань діагностування. При перевірці працездатності елементів паливної системи використовують методи діагностування, що виявляють (без зазначення місця і причини) певну сукупність відмов і пошкоджень (зниження тиску впорскування, нестабільність параметрів подачі палива).

Таблиця 1.2 – Класифікація методів діагностування агрегатів паливної системи

Класифікуючі ознаки	Методи діагностування
Задачі діагностування	Перевірка робото здатності; перевірка правильності функціонування; пошук дефектів
Застосування діагностичних засобів	Органолептичні; інструментальні
Характер вимірювання параметрів	Прямий; непрямий
Періодичність діагностування	Регламентний; заявочний; безперервний
Умови проведення діагностування	Польові; станція ТО; безмоторні
По ступеню розбирання об'єкту діагностування	Розбірні; нерозбірні
Режим роботи об'єкту	При усталеному режимі; при неусталеному режимі; при статодинамічному режимі
Діагностичні параметри	Параметри робочого процесу; параметри супутніх процесів; структурні параметри
Використаний фізичний процес	Віброакустичний; магнітоелектричний; спектрографічний; тепловий; гідравлічний; газоаналітичний; кінематичний; інші

При перевірці правильності функціонування вузла діагностування направлене на визначення сукупності дефектів технологічних регулювань і налаштувань, що викликають неприпустиме зниження техніко-економічних і

екологічних показників. При пошуку дефектів методи діагностування дозволяють виявити місце, вид і причину дефекту (знос плунжерних пар, циклової подачі, витрати на управління). За ступенем розбирання об'єкта діагностування методи поділяються на розбірні і безрозбірні.

Розбірні методи застосовуються при оцінці рухливості плунжерної пари, голки розпилювача, вимірювання зносу різних деталей паливної системи. Методи безрозбірної діагностики, як правило, засновані на непрямих вимірах структурних параметрів при установці датчиків або діагностичних пристроїв зовні об'єкта, що діагностується без зняття його з дизеля або на стенді для випробування паливної системи.

За діагностичними параметрами всі методи ділять на три групи в залежності від того, чи характеризує вимірюваний параметр робочий процес всієї ППС або її складової частини, супутній процес роботи, або безпосередньо структурний параметр деталі або спряження деталей [15].

Методи діагностування за параметрами робочих процесів дозволяють перевіряти вихідні показники ППС (тиск палива в лінії високого тиску, хід голки розпилювача форсунки і т.п.) і численні технічні характеристики її складових частин (фазові параметри подачі палива і тиску, швидкість переміщення голки, витрата і ін.).

Зазвичай точність вимірювання цих параметрів досить висока, так як в більшості випадків здійснюють пряме вимірювання контрольованої фізичної величини. Фізичний процес характеризується зміною фізичної величини в часі. В основі гідравлічного – тиск; теплового – температура; віброакустичного – амплітуда коливань на певних частотах і т. д.

Основний недолік методів діагностування паливної апаратури за допомогою механічних засобів – неминуче їх втручання в нормальне функціонування систем живлення. Крім цього, виконане часткове розбирання може негативно позначатися на працездатності елементів ППС [16].

Електронні автоматизовані системи створюють умови для вирішення проблеми діагностування на принципово новій індустріальній основі, тобто виконання майже всіх операцій технічного діагностування блоками електронної установки з видачею кінцевого результату про склад об'єкта у вигляді «придатний», «непридатний», «норма», «менше норми», «більше норми», категорії якості і т.п. При цьому процес діагностування ППС може здійснюватися безперервно по заданій оптимальній програмі в певній закономірній послідовності.

Для перевірки прецизійних елементів паливної апаратури авторами [17] пропонується пристрій для діагностування прецизійних пар паливного насоса і форсунок дизеля (рисунок 1.1). При діагностуванні прецизійних елементів за допомогою запропонованого пристрою її по черзі приєднують до вузлів дизельної паливної апаратури і нагнітають паливо в порожнину цього елемента, і за часом падіння тиску визначають технічний стан цього елемента без його демонтажу з двигуна.

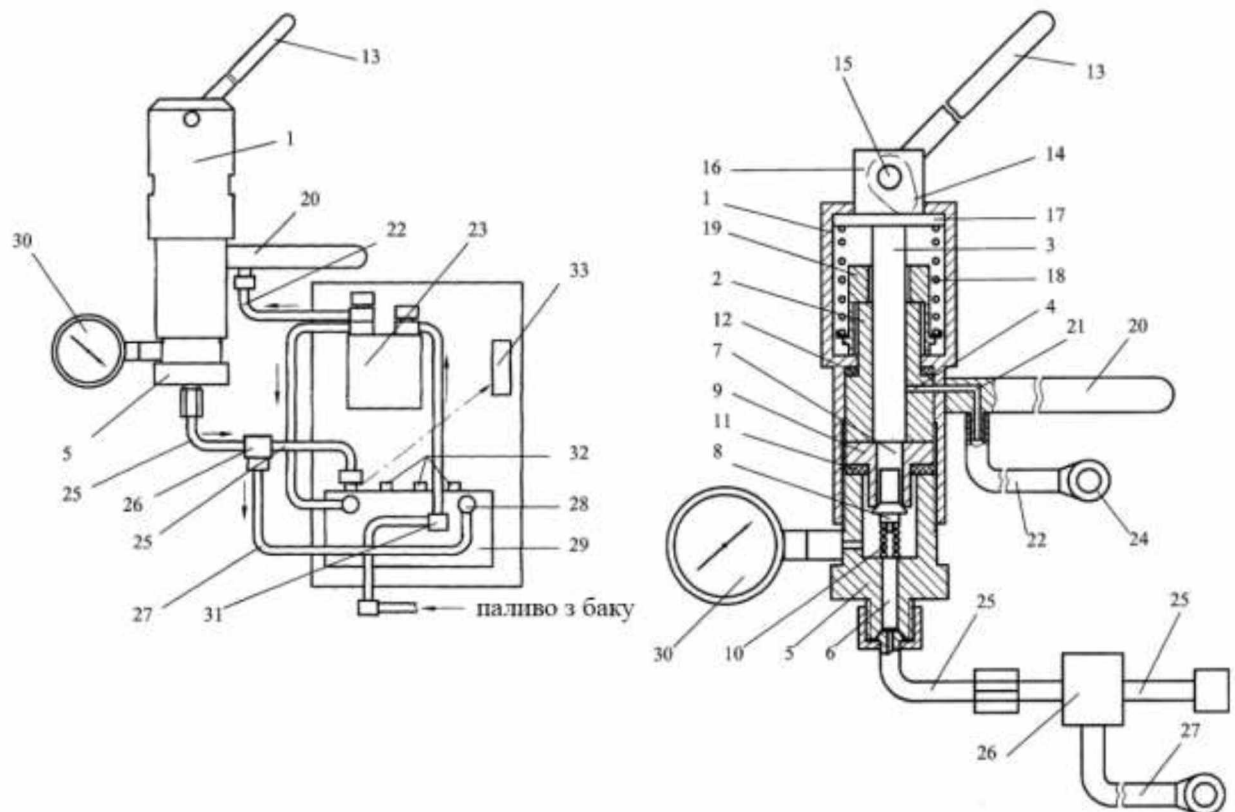


Рисунок 1.1 – Пристрій для діагностування прецизійних пар паливного насоса і форсунок дизеля [17]: 1 – плунжерний насос; 2 – корпус-втулка; 3 –

плунжер; 4 – радіальний канал; 5 – порожнистий штуцер; 6 – канал високого тиску; 7 – порожнину нагнітання (надплунжерний простір); 8 – нагнітальний клапан; 9 – сідло; 10 – пружина; 11,12 – ущільнювальні шайби; 13 – привід плунжерного насоса; 14 – кулачковий елемент; 15 – вал; 16 – щічки; 17 – упорна шайба; 18 – пружина; 19 – упорна втулка; 20 – рукоятка; 21 – внутрішній канал; 22 – всмоктуючий трубопровід; 23 – паливний фільтр; 24 – приєднувальний штуцер; 25 – нагнітальний трубопровід (рукава); 26 – запобіжний клапан; 27 – зливний трубопровід; 28 – зливна порожнина; 29 – ПНВТ; 30 – манометр; 31 – помпа; 32 – штуцери; 33 – форсунка.

Пропонується стенд для випробування насос-форсунок і форсунок дизельних двигунів (рисунок 1.2), який має можливість діагностування, як форсунок, так і насос-форсунок як з механічним, так і з електронним управлінням, а також забезпечити прийнятну точність визначення контрольованих параметрів при невисокій трудомісткості робіт.

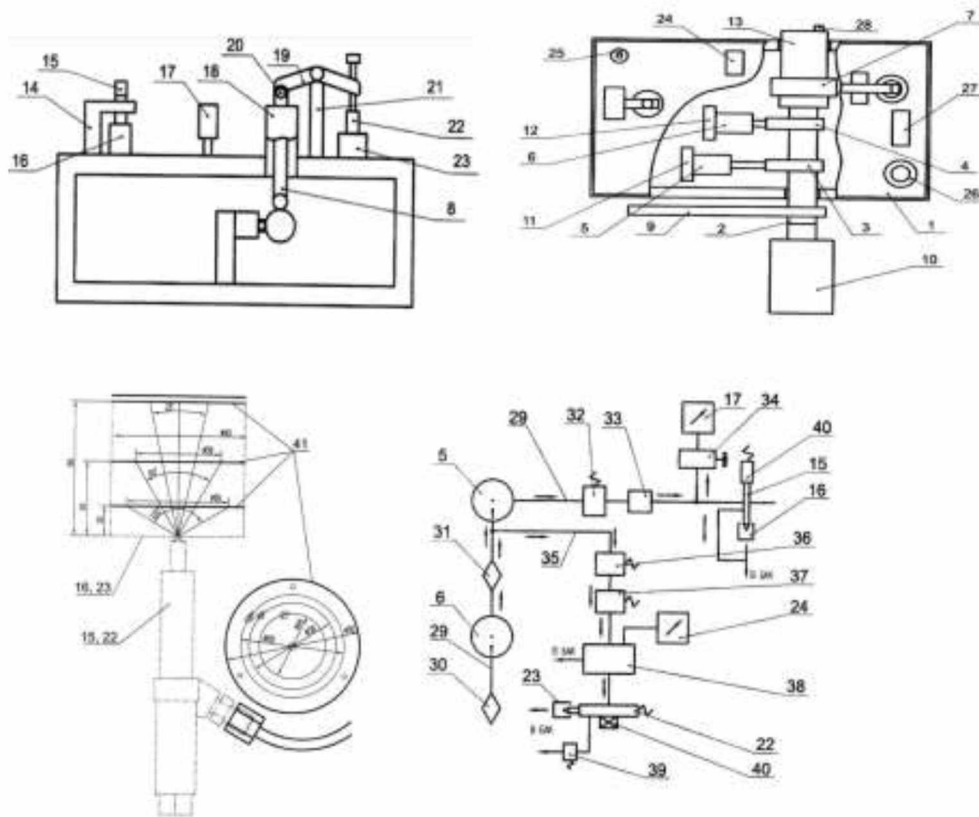


Рисунок 1.2 – Стенд для випробування насос-форсунок і форсунок дизельних двигунів [18]:

1 – корпус; 2 – приводний вал; 3,4,7 – кулачки; 5 – паливний насос плунжерного типу; 6 – підкачувальний паливний насос; 8 – нижній кінець штовхача; 9 – ручний важіль; 10 – електродвигун; 11,12,14 – кронштейни; 13 – втулки; 15 – форсунка; 16 – камера вприскування; 17 – манометр (датчик тиску); 18 – напрямна втулка; 19 – коромисла; 20 – датчик сили; 21 – верхній кінець стійки; 22 – дослідна насос-форсунка; 23 – камера вприскування; 24 – манометр (датчик тиску); 25 – щуп; 26 – кришка заливного отвору для палива; 27 – термінал (індикатор); 28 – контакт електронних схем; 29 – основна гідролінія; 30 – магнітний фільтр; 31 – фільтр тонкого очищення; 32 – нагнітальний клапан; 33 – гідроаккумулятор; 34 – кран; 35 – додаткова гідролінія; 36 – зливний клапан; 37 – нагнітальний клапан; 38 – гідроаккумулятор; 39 – зливний клапан; 40 – соленоїдний клапан; 41 – екран

Фірма Berman, Aisenberg & Platt розробила пристрій для діагностування насос-форсунок (рисунок 1.3). Привід кулачкового вала здійснюється безпосередньо від стенду для регулювання паливної апаратури. Насос-форсунка жорстко фіксується в Sam-Vox, який призначений для приводу плунжера насос-форсунки в рух. Пристрій не дозволяє діагностувати насос-форсунки з різним ходом плунжера і насос-форсунки з електронним управлінням.



Рисунок 1.3 – Сам-Вох для випробування насос-форсунок

1.3. Аналіз діагностичних параметрів насос-форсунки

У ППС з насос-форсунками розрізняють структурні і діагностичні параметри [1]. Елементи насос-форсунки, що відносяться до структурних параметрів (знос, зазор), безпосередньо характеризують технічний стан конкретних елементів вузла.

При визначенні технічного стану ППС з насос-форсунками, її діагностичні параметри, в основному, побічно характеризують структурні параметри елементів, тому що залежать від них.

У процесі діагностування визначальний прямим вимірюванням структурний параметр одночасно виступає як діагностичний параметр. У процесі діагностування основним завданням є вибір конкретних несправностей і визначення поточних значень структурних параметрів, при порушенні яких насос-форсунка втрачає працездатність. Висновок про стан насос-форсунки робиться виходячи з еталонних або нормативних значень. На рисунку 1.4 приведена схема структурних елементів і конструктивно-регульовальних параметрів ППС з насос-форсунками дизелів, по відношенню до яких може проводитися діагностування.



Рисунок 1.4 – Структурні елементи ППС з насос-форсункою

Працездатність кожного елемента і його складових визначається сукупністю регламентованих показників, їх технічного стану або

структурними параметрами. На етапі аналізу ППС, як об'єкта, що діагностується, слід вибрати необхідну і достатню кількість структурних параметрів. Їх вибір повинен в ідеалі забезпечувати відсутність помилок пропуску несправного стану і помилок помилкового вибраковування (при створенні діагностичних моделей такі помилки прийнято називати помилками 1 і 2 роду).

Оціночними показниками якості роботи ППС виступають значення діагностичних параметрів. У свою чергу перелік діагностичних параметрів багато в чому визначається методами, засобами і умовами діагностування. У зв'язку з цим тут же наводиться аналіз «споживчих» якостей діагностичних параметрів при різних методах діагностування.

Проведений аналіз показує, що найбільш повну інформацію про стан структурного параметра при проведенні безрозбірного діагностування, дає аналіз процесу подачі палива по тиску палива в лінії нагнітання.

Зазвичай в якості діагностичних параметрів приймаються характерні параметри кривих тисків палива в лініях високого тиску (ЛВТ) у штуцера насоса і у штуцера форсунки і низького тиску (ЛНТ) в голівці насоса, а так само їх параметри:

- середній тиск упорскування;
- усереднений тиск в ЛНТ;
- тривалість подачі по плунжеру;
- максимальний тиск в ЛВТ;
- середнє значення $dP/d\varphi$ в ЛВТ від початку нагнітання до першого максимуму;
- залишковий тиск в ЛВТ;
- параметри дробного уприскування на пусковому режимі;
- циклова подача палива, отримані шляхом обробки.

При діагностуванні паливної апаратури за вказаними характеристиками аналіз її працездатності проводять по осцилограмам процесу впорскування шляхом виділення характерних ділянок [19, 20]. За осцилограмами тиску

впорскування палива і по їх розташуванню щодо оцінки ВМТ виявляють більшість несправностей паливної апаратури. Діагностування проводять шляхом порівняння еталонної і досліджуваної осцилограм, знятих на одному і тому ж режимі роботи двигуна. Їх аналіз дозволяє встановити, що зрушення максимуму осцилограми щодо ВМТ і нахил ділянки лінії початку подачі визначають стан плунжерній пари, розпилювача штовхача і приводу насос-форсунки. Ордината ділянки падіння тиску в результаті початку підйому голки визначає зусилля затягування пружини форсунки і стан прецизійної пари голка корпус розпилювача. Максимальний тиск палива характеризує стан отворів розпилювача. Цей метод, дозволяє визначити кут випередження подачі палива в кожному циліндрі, максимальну і мінімальну частоти обертання колінчастого вала, кути випередження впорскування, що встановлюються автоматичною муфтою, а також зусилля затягування пружини [21]. Поряд з цим виявляються знос плунжерних пар, знос, обрив і закоксованість розпилюючих отворів, заклинювання плунжерів і голок розпилювачів, поломки пружин запірних клапанів, голки розпилювача і плунжерів.

У той же час необхідно відзначити, що зазначені вище методики діагностування досить трудомісткі і вимагають спеціального обладнання. У зв'язку з цим одним з головних напрямків зниження експлуатаційних витрат на обслуговування і ремонт, є вдосконалення процесів технічного обслуговування з впровадженням діагностичних засобів і методів, які, дозволять знизити трудомісткість і підвищити точність діагнозу.

Висновки і завдання досліджень

Огляд і аналіз стану проблеми показав, що до теперішнього часу створені певні наукові і технічні основи забезпечення надійності і оцінки якості роботи паливної апаратури в процесі експлуатації.

Для досягнення мети роботи поставлені наступні завдання досліджень:

- провести комплексний аналіз показників якості роботи насос-форсунок з електронним управлінням, існуючих методів і засобів їх діагностування;
- обґрунтувати допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунок від значень, рекомендованих виробниками з урахуванням їх напрацювання;
- розробити методику по елементного діагностування технічного стану насос-форсунок і діагностичні засоби для оцінки параметрів їх роботи;
- провести економічну оцінку запропонованих заходів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика проведення стендових досліджень

Для безмоторних випробувань експериментальної паливоподаючої системи з насос-форсункою була прийнята установка (рис.2.1), зібрана на базі одноканального стенду для регулювання дизельної паливної апаратури КИ-354.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – комп'ютер, 2 – стенд для випробування паливної апаратури КИ-354, 3 – приймальний блок, 4 – насос-форсунка, 5 – блок живлення з гальванічною розв'язкою, 6 – аналогово-цифровий перетворювач, 7 – пристрій для визначення характеристики впорскування, 8 – Sam-Vox, 9 – блок управління насос-форсункою

Для підтримки робочої температури палива в заданих межах 20 ... 40°C в стенді передбачена система термостабілізації. Температура палива, що надходить до насос-форсунки, фіксувалася стендовим термометром ТПЖ-4.

Схема експериментальної системи з вимірювальним комплексом представлена на рисунку 2.2. Вимірювальний комплекс працює наступним чином. Випробовувана насос-форсунка 7 встановлена в Сам-бокс 8, на розпилювач герметично закріплений приймальний штуцер 6. Електричний паливопідкачувальний насос з бака стенду 10 подає тестову рідину через фільтр в насос-форсунку 7. При випробуванні насос-форсунок з електронним управлінням використовується універсальний імітатор сигналів. Впорскується насос-форсункою 7 в трубопровід 1 паливо викликає поява хвиль тиску, які перетворюються датчиками тиску і подаються на вхід аналого-цифрового перетворювача 3, де сигнал оцифровується і відправляється в пам'ять електронного блоку управління для подальшої обробки. Для загасання що виникли під час уприскування хвиль тиску на кінці трубопроводу 1 встановлений електромагнітний клапан з ефективним прохідним перетином, що змінюються згідно з фактичним режиму роботи. Для створення протитиску вприскуванню в регулюючий блок 2 вмонтований редуктор тиску, тиск відкриття якого приблизно дорівнює тиску в кінці стиснення в циліндрі двигуна.

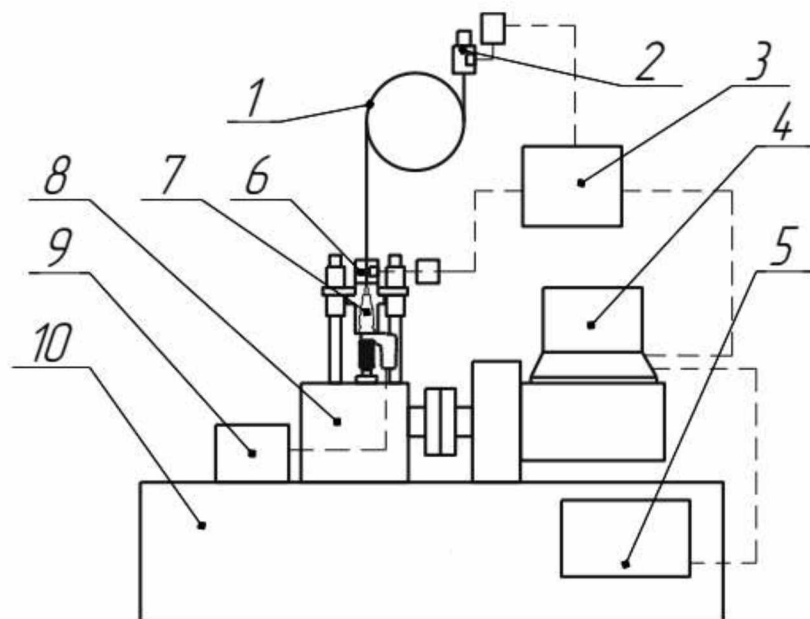


Рисунок 2.2 – Схема експериментальної установки: 1 – трубопровод; 2 – блок регулювання; 3 – АЦП ZET Lab; 4 – персональний комп'ютер; 5 – панель управління стендом; 6 – приймальний штуцер; 7 – насос-форсунка; 8 – Cam-box; 9 – універсальний імітатор сигналів; 10 – стенд КИ-354

Далі програма робить обробку отриманих даних і виводить результати процесу вимірювання на монітор. Застосування даної методики дозволяє істотно скоротити час на оцінку діагностичних параметрів при випробуванні насос-форсунки.

Управління електромагнітом насос-форсунки здійснюється універсальним імітатором сигналів, сила струму керуючих імпульсів вимірюється індуктивним датчиком, встановленим на живильному проводі. Вимірювання тиску в лінії високого тиску насос-форсунки проводиться за допомогою датчика тиску, встановленого в каналі корпусу насос-форсунки між плунжером і запірним клапаном, а результат вимірювання передається через АЦП на ПК.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалася насос-форсунка виробництва фірми BOSCH.

Сигнал управління на насос-форсунку подавався від багатофункціонального імітатора сигналів. Цей імітатор повністю повторює форму керуючих електромагнітом сигналів провідних виробників насос-форсунок, а також форсунок паливоподаючих систем типу Common Rail і може генерувати ШИМ сигнал для управління регулятором тиску. Основні технічні характеристики імітатора представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики імітатора сигналів

Параметр	Значення
Форма сигналу для насос-форсунок	Bosch, Denso, Delphi
Тривалість імпульса, мс	0,15...2,5
Крок тривалості імпульса, мс	0,01
Частота імпульсів, хв ⁻¹	100... 1000
Частота ШИМ, Гц	1000
Кро скважності ШИМ, %	0,1

Випробування проводилися на калібрувальній рідині Shell Calibration Fluid S.9365 DIN ISO 4113 (таблиця 2.2), призначеної для калібрування дизельної паливної апаратури. Калібрована рідина являє собою суміш малов'язких мінеральних масел і спеціальних присадок, що забезпечують поліпшення окислювальної стабільності, захисту від корозії і провідності, що сприяє зниженню зносу випробовуваних агрегатів.

Таблиця 2.2 – Основні параметри рідини Shell Calibration Fluid S.9365 DIN ISO 4113

Параметр	Значення
Кінематична вязкість, при 40°C, мм ² /с	2,6
Густина, при 15°C, кг/м ³	820
Температура спалаху у відкритому тиглі, °C	80
Температура застигання, °C	-27
Специфікації / допуски: гідравлічні рідини	ISO 4113, SAE, Robert Bosch – VS 15665-OL, Lucas-CAV

Реєстрація миттєвих значень тиску палива в ЛВН проводилася тензометричними перетворювачами МД-200 V ТУ 4212-163- 00227459-98 (рисунок 2.3). Порожнина датчиків, що сприймає тиск палива, виготовлена зі сплаву з вмістом титану 87%.

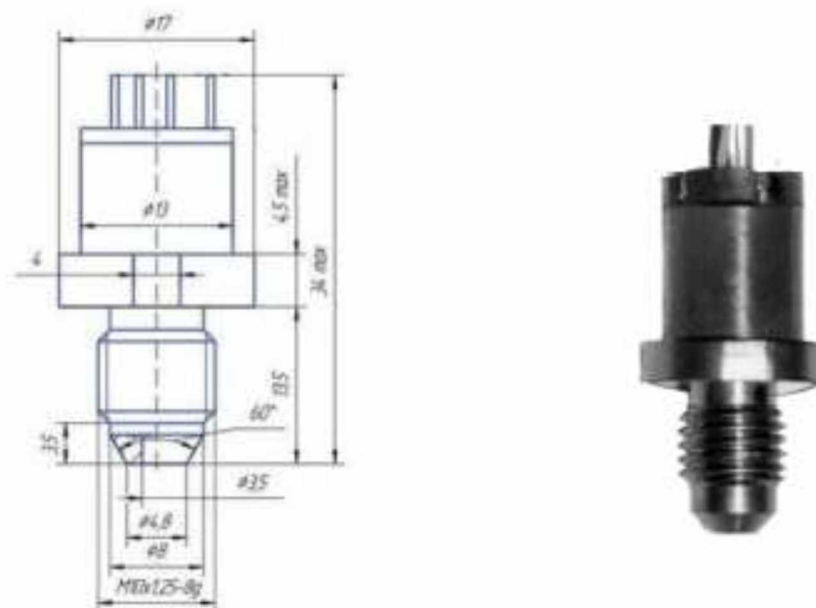


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд тензометрического датчика серії МД

Тензоперетворювач працює наступним чином. Під дією тиску вимірюваного середовища сапфірово-титанова мембрана прогинається, тензорезистори змінюють свій опір, що призводить до розбалансу моста Вітстона, який пропорційний вимірюваному тиску.

Тарировочне значення використовуваних тензоперетворювачів наведені нижче:

- початкове значення вихідного сигналу, що відповідає номінальному значенню вимірюваного параметра при температурі $20 \pm 5^\circ\text{C}$ – 10,25 мВ;

- кінцеве значення вихідного сигналу, що відповідає номінальному значенню вимірюваного параметра при температурі $20 \pm 5^\circ\text{C}$ – 137 мВ.

Вимірювання сили струму проводилися датчиком струму виробництва фірми BOSCH, який дозволяє вимірювати силу струму до 30 ампер.

2.2. Обробка експериментальних даних

Статистична обробка експериментальних даних проводилась на персональному комп'ютері за допомогою стандартних програм спеціалізованого програмного пакета обробки сигналів.

Відносна похибка вимірювання циклової подачі палива розраховувалася за формулою:

$$\Delta = \Delta g_i / g_i = \sqrt{(\Delta T/T)^2 + (\Delta R/R)^2 + (\Delta M/M)^2} \cdot 100\% , \quad (2.1)$$

де $\Delta T/T$ – відносна похибка, пов'язана з тарировкою вимірювальної апаратури;

$\Delta R/R$ – відносна похибка, викликана самої апаратурою;

$\Delta M/M$ – відносна похибка, пов'язана з обробкою отриманих результатів.

Похибки обробки результатів викликаються особливостями цього процесу:

$$\Delta M/M = (0,01/2 \cdot 0,05) \cdot 100\% = 1\% . \quad (2.2)$$

Загальна гранична помилка складе:

$$\Delta = \sqrt{2,55^2 + 0,7^2 + 1^2} \cdot 100\% = 2,8\% \quad (2.3)$$

Середньоквадратична похибка приймається рівною 1/3 граничної:

$$\sigma = 2,8/3 = 0,93\% \quad (2.4)$$

Аналогічним чином були визначені величини абсолютних і відносних похибок положення інших величин. Результати розрахунків наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Ймовірна, абсолютна і відносна похибки вимірювань

Назва	Розмірність	Абсолютна похибка (max)	Відносна похибка, %
Циклова подача палива	грам	3,48	±2,8
Тривалість впорскування	мс	0,29	±1,1
Тиск:			
- палива (до 200 МПа)	МПа	0,01	±0,5
- палива (до 5 Мпа)	МПа	0,001	±1,5
Струм керування	А	0,05	±0,5

2.3. Методика експериментального дослідження технічного стану прецизійних елементів насос-форсунки

У зв'язку з тим, що основною причиною виходу з ладу насос-форсунок є знос прецизійних елементів насос-форсунок, нами запропоновано і апробовано спосіб поелементної перевірки насос-форсунок з електронним управлінням, який не вимагає спеціального устаткування і відрізняється простотою, малою трудомісткістю і точністю діагнозу [22].

Перед перевіркою насос-форсунки її плунжер жорстко фіксується, опорна пробка клапана насос-форсунки демонтується. Замість розпилувача вставляється перехідник, що сполучається зі стендом для перевірки форсунок. Випробуваний клапан насос-форсунки підключається до модулятора, який шляхом зміни шпаруватості сигналу дозволяє управляти положенням запірною елемента.

Спосіб перевірки полягає в наступному: від широтно-імпульсного модулятора 10 (рисунок 2.4) на електромагніт клапана 1 подається сигнал, при цьому клапан 1 закривається, роз'єднуючи порожнину високого тиску *Д* і зливний канал *В*. Паливо від стенду під високим тиском (до 35 МПа) через перехідник 9 надходить до випробуваного електромагнітного клапана 1.

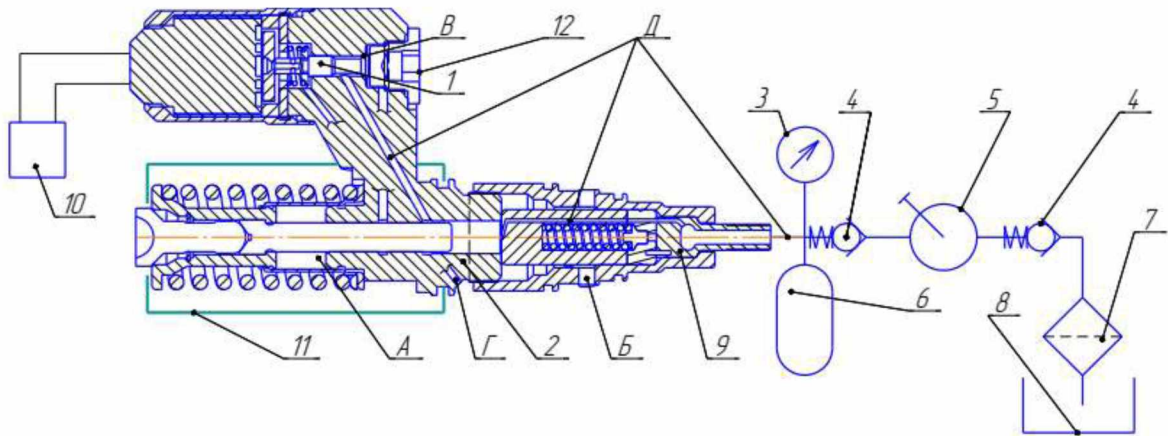


Рисунок 2.4 – Схема підключення насос-форсунки до стенду 1 – запірний клапан; 2 – насос-форсунка; 3 – манометр; 4 – клапан; 5 – ручний нагнітальний насос; 6 – компенсаційний обсяг; 7 – паливний фільтр; 8 – паливний бак; 9 – перехідник; 10 – блок управління; 11 – фіксатор плунжера; 12 – опорна пробка. А – контроль плунжерної пари; Б – контроль розпилювача і торцевих ущільнень проставки; В – контроль герметичності запірного конуса клапана; Г – контроль направляючої запірного клапана; Д – лінія високого тиску.

Якщо технічний стан клапана, плунжера і торцевих поверхонь в нормі, то тиск залишається постійним, в іншому випадку тиск знижується. Якщо паливо просочується через порожнину *А* плунжера, значить зношений плунжер, якщо витік палива йде через вхідні отвори *Б*, то негерметичні торцеві поверхні розпилювача і корпусу. Якщо через порожнину запірного конуса клапана *В* – то порушена герметичність запірного конуса клапана. Гідрощільність направляючої частини клапана визначається за швидкістю

падіння тиску в манометрі при просочуванні палива через канал зворотного зливу G .

Таким чином, на підставі швидкості падіння тиску і місця просочування палива можна зробити висновок про технічний стан прецизійних спряжень елементів випробуваної насос-форсунки і прийняти рішення про їх заміну або відновлення. Дана методика використовувалася для визначення впливу напрацювання насос-форсунки на технічний стан прецизійних елементів насос-форсунки.

При уявній простоті даний метод дозволяє знизити трудомісткість перевірки, не вимагає спеціального устаткування, але достатньо ефективний.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Обґрунтування параметрів роботи насос-форсунки

Паливоподаючі системи з насос-форсунками випускають різні фірми: Bosch, Delphi, Detroit Diesel Allison, Lucas, Cummins та ін. І переважна кількість з них містять електронно-керовані пристрої для регулювання моменту початку і кількості палива, що впорскується. Аналіз основних конструкцій насос-форсунок показав, що принцип роботи більшості з них практично однаковий, в зв'язку з чим для досліджень була обрана насос-форсунка виробництва фірми Bosch, найбільш поширена в автотракторних дизельних двигунах об'ємом від 10,6 до 16 л. і широко застосовується в сільськогосподарському виробництві, зокрема, на дизелях нових сучасних високопродуктивних посівних комплексів, бурякозбиральної, кормозаготівельної і сінозаготівельної техніки, тракторів, а також автомобілів для перевезення сільськогосподарської продукції.

Оцінка параметрів роботи даної насос-форсунки, виконувана шляхом діагностування ППС, повинна містити кількісні характеристики, що дозволяють оцінити параметри її функціоналу в межах допустимих значень, встановлених заводом виробником. В якості оціночних характеристик насос-форсунки будемо розглядати її діагностичні показники, тобто ті, які можливо визначити і зафіксувати без розбирання насос-форсунок, наприклад, якість розпилу (оцінюється при перевірці на стенді), циклова подача (оцінюється витратоміром стенду) та ін.

В якості структурних параметрів необхідно прийняти ті параметри, які в процесі експлуатації насос-форсунки мимовільно змінюються або коректуються при її технічному обслуговуванні або ремонті шляхом

регулювання або заміни деталей. Наприклад, в процесі експлуатації, через порушення теплового зазору між коромислом і штовхачем відбувається знос штовхача і змінюється зусилля преднатягу пружини плунжера; через забруднене паливо змінюється ефективний прохідний перетин сітчастого фільтра, відбувається знос прецизійних елементів, таких як плунжерні пара, клапанний вузол і розпилувач, має місце заклинювання плунжерної пари, втрата герметичності запірного конуса клапана, направляє частини клапана, запірного конуса голки розпилувача; порушується гідрощільність направляючої частини голки розпилувача; змінюється ефективний прохідний перетин отворів розпилувача. Також в процесі експлуатації відбувається зміна зазору між якорем і електромагнітом і змінюється зусилля преднатягу пружини клапана, змінюється хід клапана, порушується щільність посадки заглушок технологічних отворів і інші.

Поелементний аналіз конструкції насос-форсунки 0414701019 фірми Bosch дозволив описати для неї 5 діагностичних і 24 структурних параметрів.

Для більш повного уявлення про структурні і діагностичні параметри, що найбільше істотно впливають на робочі процеси насос-форсунки, зведемо їх в загальну схему (рисунок 3.1) [18].

Вплив на робочий процес нагнітаючої частини надають такі параметри, як: знос штовхача, зусилля пружини плунжера, рухливість плунжера, гідрощільність плунжерної пари; керуючої частини – герметичність електромагнітного клапана, опір обмотки електромагніту, зазор між якорем і електромагнітом, зусилля пружини електромагніта, гідрощільність направляючої частини клапана, герметичність запірного конуса клапана, хід клапана; розпилюючої частини - зусилля пружини розпилувача, хід голки розпилувача, рухливість голки, гідрощільність направляючої частини голки, герметичність запірного конуса голки, ефективне прохідний перетин розпилюють отворів розпилувача; несучої частини - технічний стан торцевого ущільнення між корпусом і проставкою і між проставкою і

розпилювачем, герметичність кілець ущільнювачів і заглушок технологічних отворів, ефективно прохідний перетин сітчастого фільтра.

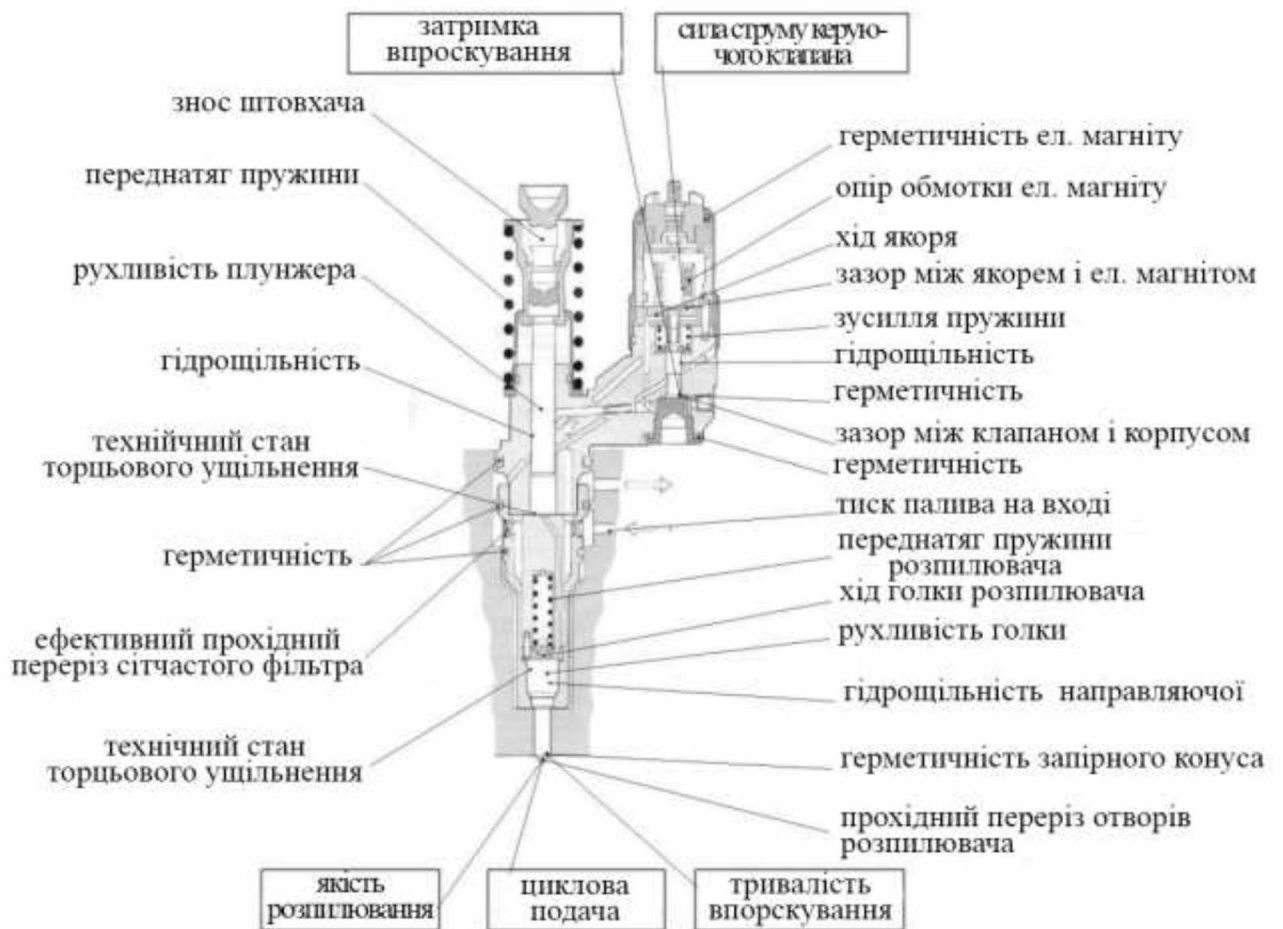


Рисунок 3.1 – Найбільш значущі структурні і діагностичні (в рамці) параметри насос-форсунки 0414701019 фірми Bosch

В якості основних діагностичних параметрів визначені: циклова подача, якість розпилю, тривалість впорскування, сила струму керуючого клапана, затримка впорскування.

Робочий процес насос-форсунки можна представити у вигляді інформаційної моделі [23], де вона функціонує як багатопараметрична система (рисунок 3.2). Робочий процес S насос-форсунки визначається сукупністю її структурних параметрів X . Складові вектора X є коригувальні та в процесі роботи змінюються. Сюди входить: гідрощільність прецизійних

деталей, хід голки розпилювача, зусилля пружини і хід якоря, герметичність запірнього конуса клапана, ефективний прохідний перетин розпилюючих отворів розпилювача і т.п. У даній системі некерованим є вхід Y , складовими якого є: якість палива, природно-кліматичні умови, добові та сезонні коливання температур і ін.



Рисунок 3.2 – Інформаційна модель функціонування насос-форсунки

Складові вектора Z виступають управителями факторами в цій моделі. До них можна віднести частоту і тривалість керуючих електромагнітом імпульсів, силу струму керуючого імпульсу, тиск підкачки в ЛНТ, форма кулачка і ін. Значення вихідного діагностичного S насос-форсунка, некеровані параметри, керуючі параметри ZYW , діагностичні параметри, структурні параметри X , якість палива (склад, забрудненість) сезонні і добові коливання температури, технічний стан системи, частота імпульсів від БУ, тривалість імпульсів від БУ, сила струму керуючих імпульсів, параметра вектора W безпосередньо залежить від стану вхідних параметрів:

$$W = S\{X, Y, Z\}, \quad (3.1)$$

де S – оператор перетворення вхідних параметрів, що визначає критерій оптимальності системи в цілому або узагальнений показник її якості, заданий в аналітичній формі.

Для оцінки роботи насос-форсунок шляхом діагностування її параметрів, повинні містити кількісні характеристики, це дозволяє оцінити їх в межах допустимих значень. Критерії функціонування системи визначаються як:

$$w_i^\phi \leq [w_{i \text{ доп}}], \quad W^\phi \leq [W_{\text{доп}}], \quad (3.2)$$

де W^ϕ і w_i^ϕ – відповідно, фактичний стан насос-форсунки і сукупність оціночних показників насос-форсунки.

Якщо фактичне значення W^ϕ і w_i^ϕ менше або дорівнюють її значенням допустимим $W_{\text{доп}}$ і $w_{i \text{ доп}}$, то насос-форсунка в справному стані. При виході будь-якого діагностичного параметра з допустимої межі, необхідно впливати на систему шляхом зміни будь-якого керованого параметра насос-форсунки для приведення показників роботи її в штатний стан. Якщо цього не відбувається, то потрібно змінити конкретний структурний параметр шляхом його регулювання, відновлення або заміни деталі

Впливати на діагностичні параметри насос-форсунки найлегше через зміну структурних параметрів електромагнітного запірного клапана, так як, параметри роботи електромагнітного запірного клапана в значній мірі визначають циклову подачу, тривалість впорскування, затримку впорскування (VIP-сигнал) і силу струму керуючого сигналу, які перевіряються при дефектації насос-форсунки за заводською технологією. Важливо відзначити, що рекомендований процес регулювання запірного клапана найбільш трудомісткий, вимагає складного обладнання та висококваліфікованих фахівців.

Аналіз несправностей насос-форсунок дозволив сформулювати такі статистичні дані по найбільш поширених причин виходу з ладу насос-форсунок фірми Bosch (табл. 3.1). Те, що сумарне відсоткове співвідношення по всьому відмов перевищує 100%, пояснюється тим, що на деяких насос-форсунках зустрічаються відмови відразу декількох елементів. Як і слід було очікувати, працездатність насос-форсунки в значній мірі (до 95% можливих відмов) визначається станом її прецизійних вузлів. Також, якщо подивитися на сукупність відмов, то найбільший відсоток відмов припадає на розпилювач – до 95%, при цьому сам процес заміни розпилювача не вимагає трудомістких операцій і складних технологій. На другій позиції, до 75% відмов, знаходиться запірний клапан. Серед окремих позицій ремонту найбільш частою відмовою є порушення герметичності запірного конуса клапана – ця відмова зустрічається в 40% випадків. На інші види поломок припадає мала частка відмов.

Таблиця 3.1 – Статистика відмов насос-форсунок фірми Bosch

Назва	Характеристика	Відсоткове співвідношення
1	2	3
Клапан	Порушення герметичності запірного конуса	40%
	Збільшення зазору між клапаном і елеткромагнітом	15%
	Знос направляючої частини (втрата гідросцільності)	20%
Плунжер	Механічний знос (втрата гідросцільності)	5%
	Заклинювання	1%
Електромагніт	Порушення герметичності ущільнюючих кілець	0,5%
	Дефект обмотки (замикання, розрив)	1,5%
Розпилювач	Механічна поломка пружини голки	9%
	Порушення герметичності запірного конуса	30%
	Механічні пошкодження торцевих ущільнень	2%
	Знос направляючої частини голки	30%

Продовження табл. 3.1

1	2	3
Розпилювач	Закоксування отворів розпилювачів	4%
	Зниження тиску впорскування	20%
Штовхач	Механічний знос	1%
Сітчастий фільтр	Забруднення	1,6%
Корпус	Механічний знос	7%
	Іржа	3%

В цілому, основні дефекти по насос-форсунках зводяться до зносу золотникової частини клапана і корпусу, заклинювання і задирів прецизійних поверхонь, кавітаційним і ерозійним руйнуванням розподільних кромek клапана і корпусу, корозійних руйнувань напрямних поверхонь і дефектів плунжерних пар. Знос прецизійних елементів і посилений витік палива через нещільність знижують корисну продуктивність насос-форсуки. Для оцінки останньої можна використати напрацювання насос-форсуки (годинну подачу або середню циклову подачу палива).

Так як процес заміни клапанного вузла або його ремонту вимагає трудомістких операцій і складних технологій, то становить інтерес більш докладне вивчення процесів, що відбуваються з запірним клапаном. Зокрема, необхідно дослідити та обґрунтувати величину допустимих відхилень технічного стану запірного клапана від номінального значення, при яких не відбувається помітного порушення діагностичних показників.

3.2. Теоретичний розрахунок робочого процесу насос-форсуки

При моделюванні процесів, що відбуваються в лінії високого тиску ППС розглядається сукупність характерних елементів: акустично довгих гідравлічних зв'язків, порожнин, клапанів, регулюючих елементів типу жиклера, золотників, і т.д. Це дозволяє в значній мірі спростувати розрахунки: поліпшити стійкість рахунку, знизити час рахунку, спростити підготовку та алгоритм вихідних даних.

У математичної моделі насос-форсунки були деякі припущення, що є загальноприйнятими. Так при розгляді процесів в трубопроводах нехтували тривимірністю потоку, зниженням швидкості звуку під дією гідродинамічного тертя при використанні рішення Д'Аламбера – непостійністю швидкості звуку при зміні тиску.

При моделюванні процесів, що відбуваються в насос-форсунки нехтували динамічним напором, і кілька порожнин об'єднували. Золотники, клапани, і т.п. розглядали як місцеві опори. Тертя в напрямних клапанах не враховували, а емпіричною залежністю описували властивості палива.

Конструктивно ППС з насос-форсункою містить акустичні елементи, наприклад, канал підведення палива до розпилюючого апарату, тому зневага збурень хвиль і кінцем швидкості поширення інтерференцією в них і призвело б до спотворення швидкопротікаючих процесів подачі палива.

Для теоретичного дослідження робочого процесу клапана необхідно розглянути конструкцію гідравлічно розвантаженого запірного клапана насос-форсунки фірми Bosch з оцінкою ряду його параметрів, таких як: діаметри каналів, кут запірного конуса сідла і клапана, зусилля пружини якоря, хід якоря і ін.

Складемо робочу схему функціонування клапана (рисунок 3.3) для двох робочих положень клапана: відкритий і закритий. Одним з важливих і необхідних умов роботи електромагнітного клапана є максимально швидке його закриття із забезпеченням повної герметичності, а також відсутність протитиску від палива, що проходить через нього на слив при його переміщенні. З огляду на те, що в багатьох програмах розрахунку паливоподаючої апаратури широко використовують рівняння балансів і витрат в граничних умовах, запишемо рівняння об'ємного балансу для кожної порожнини насос-форсунки.

Для надплунжерної порожнини насос-форсунки з електронним управлінням вприскування палива рівняння об'ємного балансу з урахуванням

руху плунжера, руху клапана, витрат витоків через плунжер, через клапан, через направляючу клапана має такий вигляд [28]:

$$\frac{dP_{пл}}{dt} = \frac{1}{V_{пл} \cdot \beta_{пл}^{зф}} \left[S_{пл} \frac{dh_{пл}}{dt} - S_{кл} \frac{dh_{кл}}{dt} - Q_{вих} - Q_{пл}^{зм} - Q_{нап\ кл}^{зм} - Q_{рас}^{зм} \right]. \quad (3.3)$$

З рівняння Бернуллі, безперервності потоку рідини через різні перетини слід, що у відкритому положенні клапана витрата палива $Q_{пл}$, що виходить із надплунжерної порожнини в підклапанну дорівнює витраті палива $Q_{вих}$, що виходить з підклапанної порожнини на злив [23]:

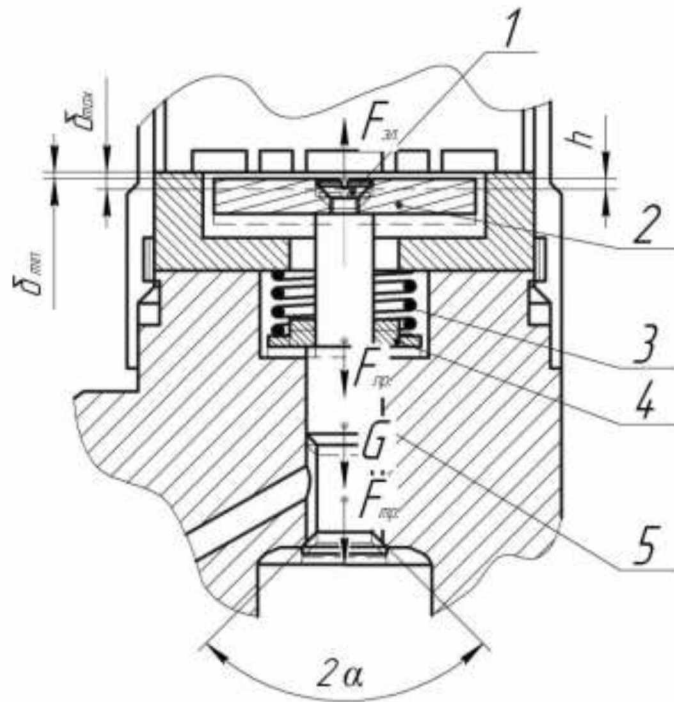


Рисунок 3.3 – Схема роботи запірною клапана насос-форсунки (відкрите положення показано пунктиром): 1 – гвинт, 2 – якор, 3 – пружина електромагнітного клапана, 4 – підпружинений штовхач, 5 – голка клапана, δ і δ_1 – повітряний зазор між якорем і електромагнітом у відкритому і закритому положеннях, h – хід якоря, α – напівкут конуса сідла клапана, $F_{пруж}$ – зусилля пружини якоря, $F_{тр}$ – сила тертя, G – вага клапана, $F_{ел}$ – зусилля електромагніту

$$Q_{\text{вих}} = \mu S_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{пл}} - P_{\text{под}}}{\rho}}, \quad (3.4)$$

де: S – площа перетину клапанної щілини запірного клапана, м²;

$P_{\text{пл}}, P_{\text{под}}$ – тиск палива в надплунжерній порожнині і підкачки, МПа;

ρ – щільність палива, кг/ м³.

Площа перерізу клапанної щілини запірного клапана:

$$S_{\text{кл}} = \pi \cdot h_{\text{кл}} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\text{кл}}}{2}\right) \left[2r_2 - h_{\text{кл}} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\text{кл}}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{\text{кл}}}{2}\right) \right], \quad (3.5)$$

де: r_2 – радіус конуса, м.

$\alpha_{\text{кл}}$ – напівкут конуса сідла клапана.

Таким чином, підставивши вираз 3.3 в 3.2 отримуємо:

$$Q_{\text{вих}} = \mu \cdot \pi \cdot h_{\text{кл}} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\text{кл}}}{2}\right) \cdot \left[2r_2 - h_{\text{кл}} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\text{кл}}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{\text{кл}}}{2}\right) \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{пл}} - P_{\text{под}}}{\rho}}. \quad (3.6)$$

Цей вираз дозволяє описати витрати палива в різних перетинах паливних порожнин. При цьому в даному виразі не враховується ряд показників, таких як витоку палива через радіальні зазори в напрямних частинах плунжера, клапана і розпилювача.

Таким чином, отримані рівняння дозволяють стверджувати, що на зміну характеристик насос-форсунки в процесі експлуатації буде впливати зміна радіальних зазорів в прецизійних з'єднаннях і повітряного зазору між якорем і електромагнітом. Залежності зміни радіальних зазорів в прецизійних з'єднаннях в процесі напрацювання насос-форсунки відомі і мають лінійний характер без урахування періодів обкатки і граничних зносів.

Для насос-форсунок з електронним управлінням основними дефектами, що лімітують їх ресурс, є знос прецизійних поверхонь золотникової частини запірною клапана. Зношування пов'язано з динамічною дією абразивних частинок, що рухаються з відносно високою швидкістю разом з паливом, що просочилося по зазору, і механічною дією абразивних частинок, що затискаються в зазорі при пружноциклічній деформації прецизійних поверхонь. Ресурс клапанного вузла лімітується, в більшості випадків, заклинюванням і задирами клапана, втратами гідросільності через зноси напрямних поверхонь. В середньому близько 80% клапанних вузлів бракуються через знос вказаних поверхонь і втрати гідравлічної щільності нижче допустимих меж.

Для вирішення рівнянь також необхідно встановити залежність повітряного зазору між електромагнітом і якорем від напрацювання, так як зазвичай в процесі експлуатації насос-форсунки зазор δ між електромагнітом і якорем змінюється, що пов'язано з механічним зносом замикаючого конуса клапана. Це, в свою чергу, призводить також і до зміни жорсткості пружини клапана.

З метою визначення залежності зміни повітряного зазору між електромагнітом і якорем, нами був проведений статистичний аналіз зазорів між електромагнітом і якорем більш ніж 100 насос-форсунок, що мають різне напрацювання. Слід зазначити, що розглядалися насос-форсунки як без, так і з порушенням працездатності, і повністю відмовлені насос-форсунки. Результати даних досліджень представлені у вигляді графіка рисунок 3.4.

У підсумку, знаючи фактичне напрацювання насос-форсунки, ми з великою ймовірністю можемо говорити про величину зазору між електромагнітом і якорем.

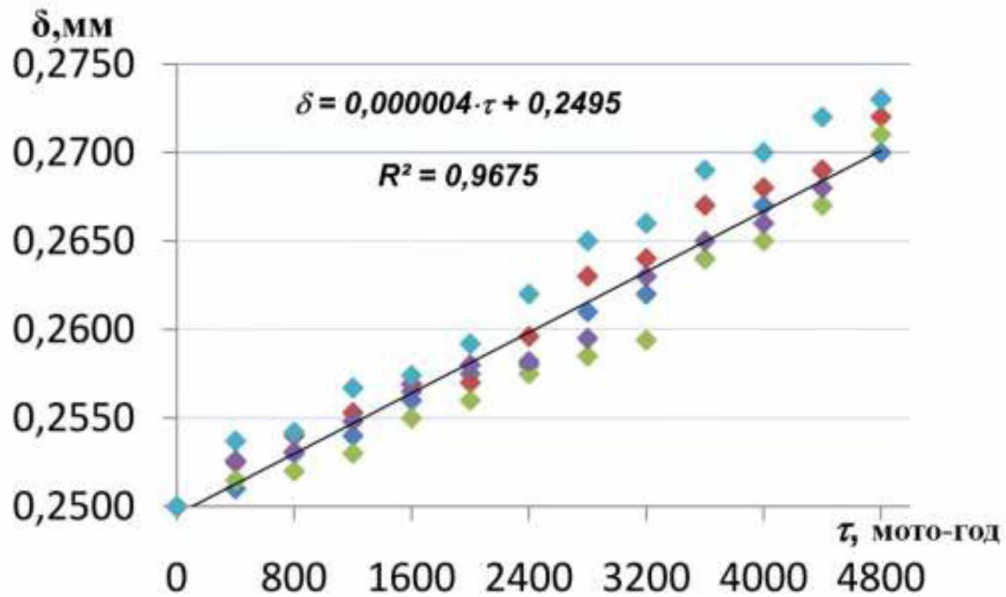


Рисунок 3.4 – Графік залежності повітряного зазору δ від напрацювання τ насос-форсунки

Встановлено зв'язок між напрацюванням насос-форсунки і її радіальними зазорами в прецизійних елементах в залежності від повітряного зазору між електромагнітом і якорем дозволяє реалізувати отримані зв'язки.

3.3. Вплив змін структурних параметрів насос-форсунки на їх діагностичні параметри

Експериментальні дослідження робочого процесу насос-форсунки дизеля DC11.03 були проведені з метою уточнення і перевірки результатів розрахунково-чисельних досліджень і оцінки його отриманих математичних виразів, що описують процес роботи електромагнітного запірною клапана насос-форсунки. Для виключення впливу перешкод і випадкових відхилень експериментальні криві усереднювалися по п'яти послідовним упорскуванням.

Стендові випробування насос-форсунки проводилися з метою перевірки і уточнення меж допустимих відхилень, отриманих розрахунково-

чисельним моделюванням. В ході експериментів досліджувалися процеси, що відбуваються у всіх діагностичних параметрах насос-форсунки при послідовній зміні кожного структурного параметра і проводилося їх порівняння з даними, отриманими розрахунковим шляхом. Для розкриття взаємозв'язків між діагностичними і структурними параметрами, як приклад нижче представлені деякі з численних файлограмм, отриманих експериментально в різних режимах роботи.

Розглянемо експериментальні осцилограми, отримані в номінальному режимі. На рисунку 3.5. представлені криві тиску в надплунжерній порожнині при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем.

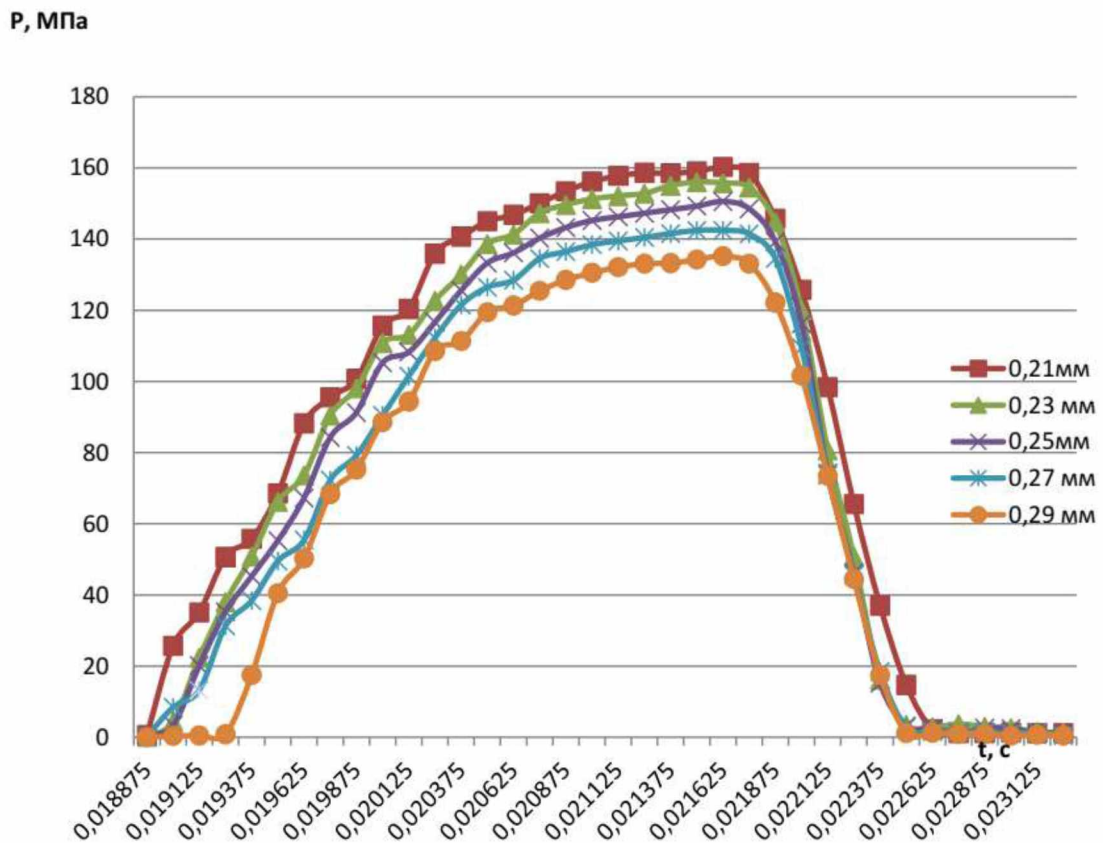


Рисунок 3.5 – Зміна тиску в надплунжерній порожнині в процесі впорскування палива при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем в номінальному режимі роботи

З рисунка 3.5 видно, що збільшення повітряного зазору між якорем і електромагнітом впливає з 0,21 до 0,29 мм, призводить до запізнювання закриття клапана, внаслідок чого тиск надплунжерної порожнини теж знижується, так як через відкритий клапан відводиться додаткова кількість палива.

Аналогічним способом були проаналізовані графіки тиску в надплунжерній порожнині для інших режимів роботи насос-форсунок (рисунки представлені нижче).

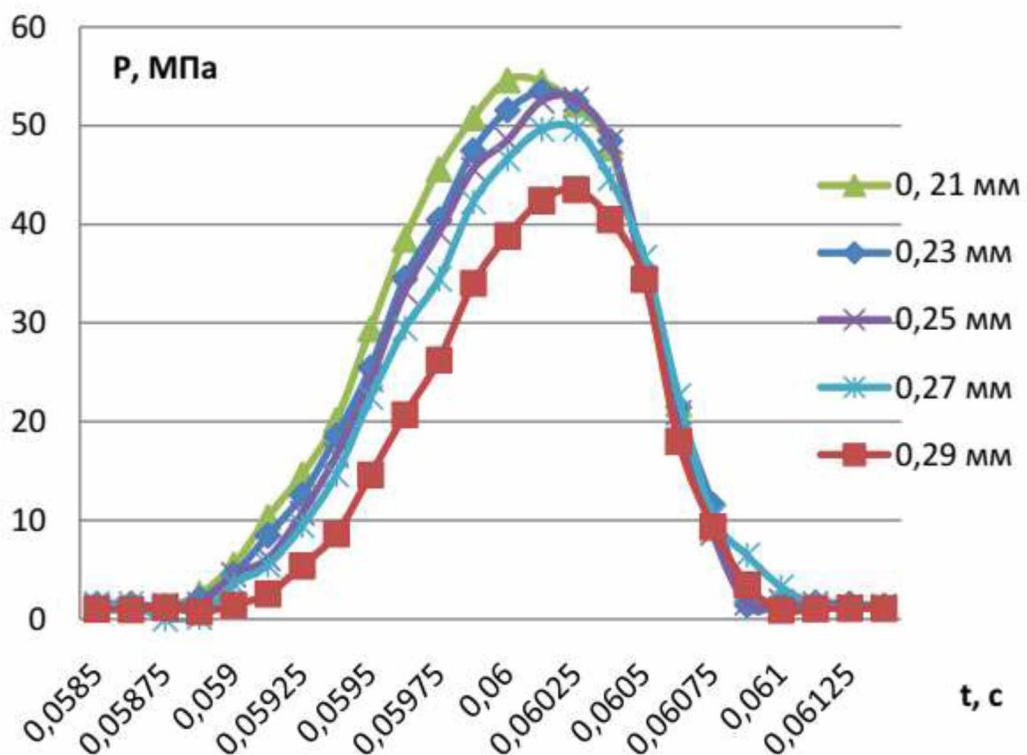


Рисунок 3.6 – Зміна тиску в надплунжерній порожнині в процесі впорскування палива при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем в режимі холостого ходу

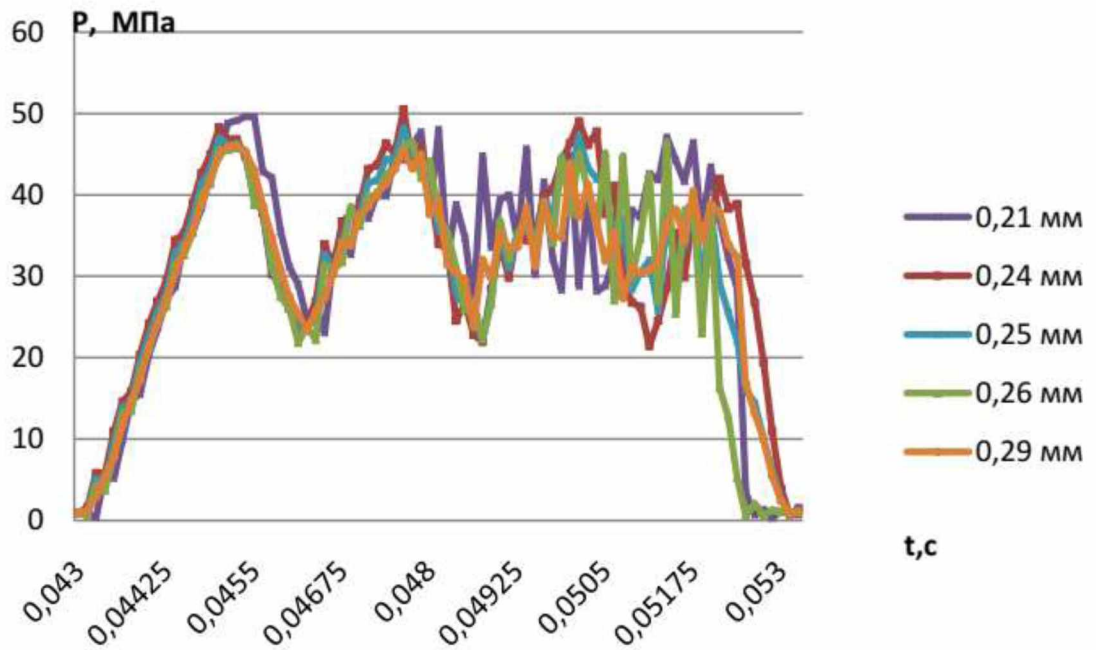


Рисунок 3.7 – Зміна тиску в надплунжерній порожнині в процесі впорскування палива при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем в режимі пуску

Для визначення впливу повітряного зазору між електромагнітом і якорем насос-форсунки на циклову подачу були проведені експерименти в двох режимах керуючого сигналу електромагніту при різній частоті обертання приводу насос-форсунки.

Отримані результати представлені в таблиці 3.2, а побудовані на їх основі залежності між величиною повітряного зазору і циклової подачею наведені на рисунку 3.8.

Таблиця 3.2 – Дані отримані при випробуванні насос-форсунки зі зміною повітряного зазору

Повітряний зазор δ , мм	n , хв^{-1}	Тривалість управляючого сигналу t , мкс	Циклова подача g_u , $\text{мм}^3/\text{ц}$
1	2	3	4
0,29	300	3,2	20,3
	500	2,6	105,8
	1000	2,6	176,8

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4
0,27	300	3,2	24,1
	500	2,6	112,5
	1000	2,6	209,8
0,25	300	3,2	30,0
	500	2,6	130,6
	1000	2,6	220,3
0,23	300	3,2	49,1
	500	2,6	136,7
	1000	2,6	234,2
0,21	300	3,2	40,7
	500	2,6	142,1
	1000	2,6	244,8

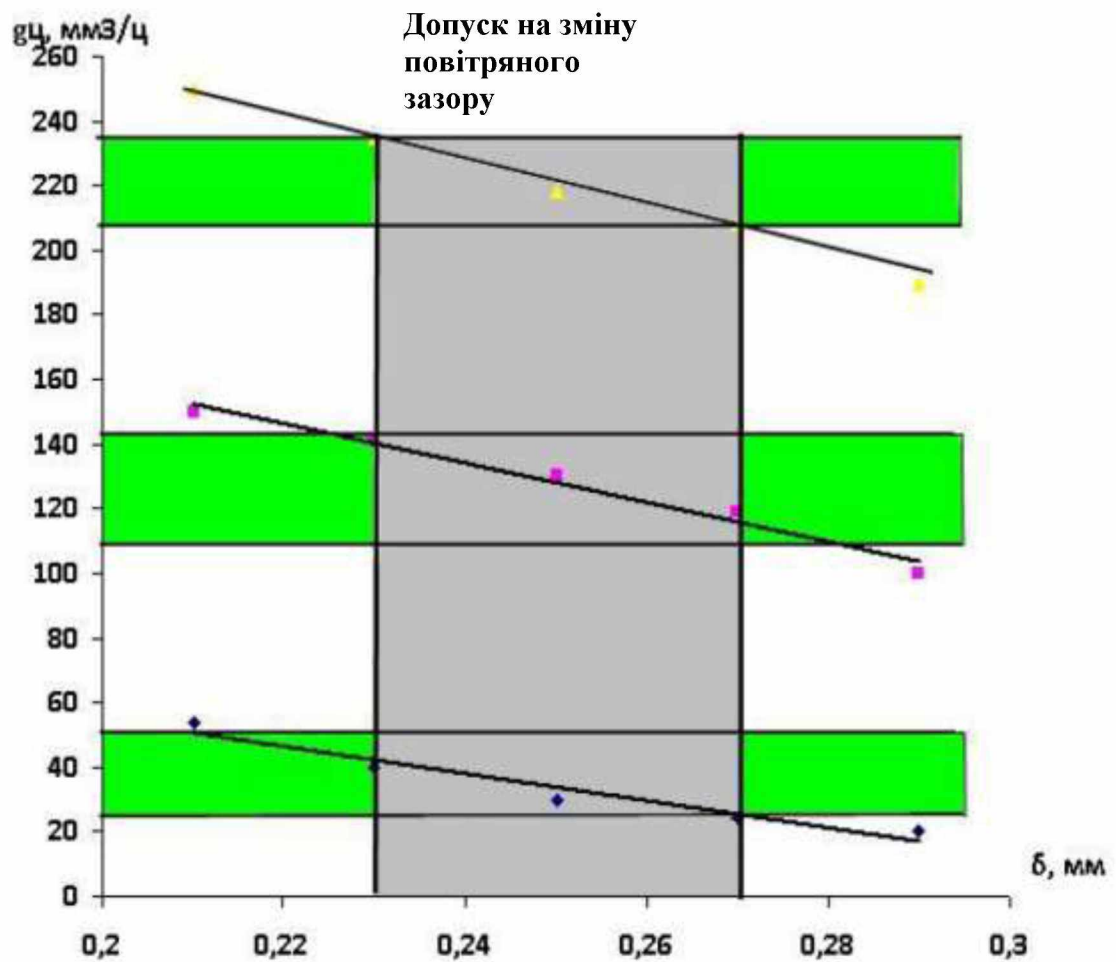


Рисунок 3.8 – Графік залежностей між повітряним зазором і цикловою подачею в різних режимах роботи

Характер встановленого взаємозв'язку величини циклової подачі з величиною ходу якоря запірнього клапана показані на рисунку 3.9.

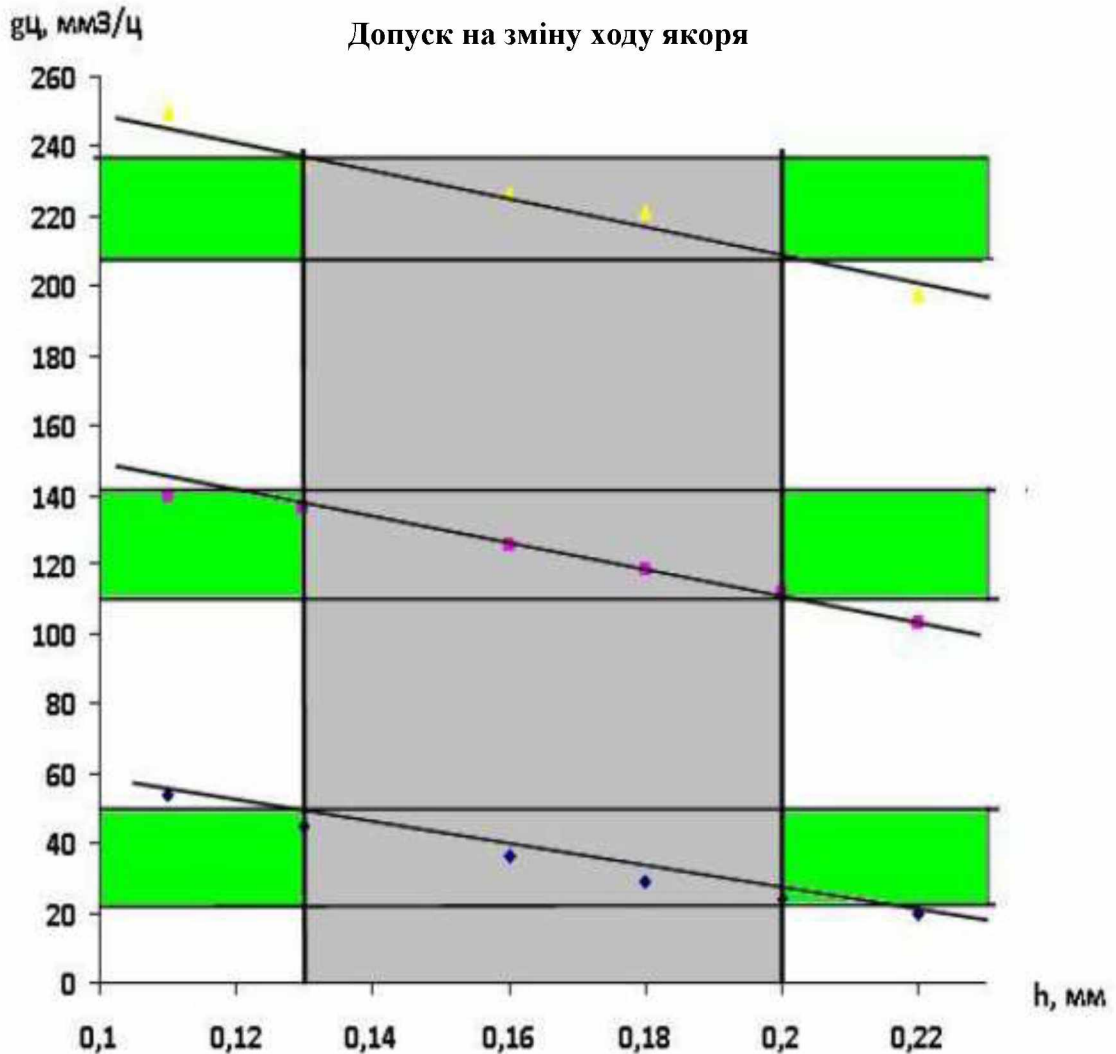


Рисунок 3.9 – Графік залежності циклової подачі палива G_c від ходу якоря h в різних режимах роботи

За графіком видно, що зменшення ходу якоря викликає збільшення циклової подачі палива, що обумовлено збільшенням тривалості впорскування при високому тиску палива в паливоподаючій системі. Допустиме відхилення циклової подачі, наприклад, в номінальному режимі роботи, нормоване заводом виробником, становить від 208,4 до 235 мм³ на рисунку показано сірим кольором. Даній межі на графіку відповідає зміна

ходу якоря в межах 0,14 (+0,006-0,004 мм) на малюнку показаний сірим кольором. Видно, що найбільш інформативними режимами роботи для циклової подачі палива по структурному параметру «хід якоря» є номінальний.

Так як в технологічному описі процесу ремонту насос-форсунок не наводиться обґрунтованих даних по допустимим відхиленням повітряного зазору при складанні насос-форсунки, то дані залежності дозволяють з достатньою точністю визначити і аргументовано стверджувати, що при зазначених в тест-плані допустимих циклових подачах (табл. 3.2) можливі відхилення величини повітряного зазору лежать в межах $0,25 \pm 0,02$ мм.

Таким чином, в ході проведених експериментальних досліджень доведено, що вимоги до контролю даних показників при складанні і регулюванню насос-форсунок можуть бути істотно розширені в порівнянні із заводськими вимогами, наприклад, хід якоря може досягати 0,17 мм, замість встановленого значення 0,14, тобто збільшуватися на 21,5% без помітного впливу на показники роботи насос-форсунки в цілому.

Висновки

Доведено, що вимоги до контролю даних показників при складанні та регулюванні насос-форсунки можуть бути істотно розширені в порівнянні із заводськими вимогами, наприклад, хід якоря може досягати 0,17 мм, замість встановленого значення 0,14, тобто збільшуватися на 21,5% без помітного впливу на показники роботи насос-форсунки в цілому. Необхідно відзначити, що згідно з офіційної технології фірми Bosch при будь-якому відхиленні даного параметра від 0,14 форсунка не підлягає ремонту і утилізується.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і тепlopостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколога-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;

- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

Висновки щодо підвищення стану охорони праці

У розділі охорони праці магістерської роботи представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Економічна ефективність впровадження результатів дослідження складається з зниження вартості технічного сервісу за рахунок скорочення часу на діагностування насос-форсунок, поліпшення експлуатаційних і екологічних параметрів роботи дизеля, виражається в збільшенні вироблення сільськогосподарських машин, зокрема, зниження витрат ПММ, дотриманні екологічних показників дизеля. У таблиці 4.1 наведено порівняння кількості діагностованих параметрів розробленого стенду з наявними стендами для діагностування насос-форсунок.

Таблиці 4.1 – Порівняння стендів для діагностування насос-форсунок

Параметри	Стенди		
	Bosch	Nova Ditex	Розробка
Струм управління форсункою	+	–	+
Період затримки впорскування	+	–	+
Тривалість впорскування	+	–	+
Величина циклової подачі	+	+	+
Витрата на управління	+	+	–
Крутизна переднього та заднього фронту характеристики	–	–	+
Максимальна витрата через сопла розпилювача	–	–	+
Реєстрація мультивпорскування	–	–	+

Таким чином, розроблений стенд за кількістю діагностованих параметрів перекидає стенди Bosch EPS 815 і Nova Ditex.

Для розрахунку економічної ефективності впровадження результатів досліджень був проаналізований хронометраж процесу діагностування насос-форсунок Bosch 0 414701019 на розробленому стенді.

У порівнянні з технологією Bosch і Nova Ditex загальна трудомісткість ремонту електрокерованих насос-форсунок скорочується до 1,5 люд.-год. (таблиця 4.2). тобто 1,9 рази на діагностичні роботи і на 24% скорочується загальна трудомісткість ремонтних робіт.

Таблиця 4.2 – Обсяг ремонту та трудомісткість діагностування

Параметри	Стенди		
	Bosch	Nova Ditex	Розробка
Трудомісткість, люд.-год.			
- діагностування	0,5	0,43	0,254
- ремонт	1	1	1
- післяремонтне діагностування	0,5	0,43	0,254
- загальна	2	1,86	1,508
Обсяг ремонту, шт. за рік	598	654	755

Завдяки зниженню трудомісткості процесу діагностування з'явилася можливість відремонтувати протягом року додатково 157 насос-форсунок, які можуть принести підприємству додаткові доходи в розмірі 358000 грн.

Висновки

Завдяки зниженню трудомісткості процесу діагностування з'явилася можливість відремонтувати протягом року додатково 157 насос-форсунок, які можуть принести підприємству додаткові доходи в розмірі 358000 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що коригувати показники роботи насос-форсунки найбільш ефективно шляхом впливу на запірний клапан.

2. При розрахунку робочих процесів насос-форсунок з напрацюванням необхідно враховувати природні знос деталей і витоки в прецизійних спряженнях. Отримано аналітичні вирази для визначення витоків в прецизійних спряженнях і зміни повітряного зазору електромагніту.

3. Доведено, що вимоги до контролю даних показників при складанні та регулюванні насос-форсунки можуть бути істотно розширені в порівнянні із заводськими вимогами, наприклад, хід якоря може досягати 0,17 мм, замість встановленого значення 0,14мм., Тобто збільшуватися на 21,5% без помітного впливу на показники роботи насос-форсунки в цілому.

4. Економічний ефект від впровадження запропонованої технології склав 358000 грн.