НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет конструювання та дизайну

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
технічного сервісу та інженерного менеджменту імені
М. П. Момотенка

_____ Руслан ШАТРОВ

«_____» _____ 2026 р

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Розробка конструкції засобів діагностування нагнітальних клапанів системи Common Rail зернозбирального комбайна «Славутич»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор _____ Володимир БУЛГАКОВ
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. _____ Тітова Людмила Леонідівна

Виконав _____ Білецький Максим Павлович

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка
_____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ПІБ)
«_____» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
Білецькому Максиму Павловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Розробка конструкції засобів діагностування нагнітальних клапанів системи Common Rail зернозбирального комбайна «Славутич»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «15» квітня 2026 р. № 1044 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру 20 травня 2026 року
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Матеріали первинного бухгалтерського обліку, нормативно-методичні матеріали, науково-технічна література
Перелік питань, які потрібно розробити:
1. РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОТОЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ;
2. РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ФОРСУНОК COMMON RAIL;
3. РОЗДІЛ 3 ОБМІН КОНСТРУКТОРСЬКИМИ РОЗРАХУНКАМИ ТА СТАНДАРТНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК;
4. РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧИХ УМОВ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ФОРСУНОК COMMON RAIL;
5. РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБКИ

Перелік графічних документів: Електронна презентація на 14 слайдів
Дата видачі завдання «06» січня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
_____ Тітова Людмила Леонідівна
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Білецький Максим Павлович
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Розробка конструкції засобів діагностування нагнітальних клапанів системи Common Rail зернозбирального комбайна «Славутич».

Описи містять 66 сторінок, 19 зображень, 12 таблиць, 25 назв використаних джерел.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, система впорскування Common Rail, інжектор, діагностика, випробувальний стенд, система подачі палива, тиск палива, насос високого тиску, технічний стан, надійність.

Тема дослідження – процес діагностики клапанів упорскування паливної системи common-rail зернозбирального комбайна «Славутич».

Це дослідження зосереджено на конструктивних параметрах та методах роботи діагностичного інструменту для клапана впорскування палива в системі Common Rail.

Метою цієї роботи є підвищення ефективності технічного обслуговування та ремонту системи паливного живлення зернозбирального комбайна «Славутич» шляхом розробки схеми діагностики форсунок Common Rail.

У цій статті аналізується конструкція та робота систем впорскування Common Rail у сучасних зернозбиральних комбайнах. У ній розглядаються причини несправностей системи впорскування, визначаються важливі діагностичні параметри та визначаються вимоги до їх моніторингу. Розглянуто існуючі методи діагностики компонентів систем впорскування високого тиску, а також обговорено їхні переваги та недоліки.

На основі проведених досліджень було розроблено випробувальний стенд для клапанів уприскування Common Rail. Пристрій дозволяє контролювати герметичність, термін служби, швидкість потоку та стабільність тиску. Було розраховано основні компоненти випробувального стенду, обґрунтовано вибір компонентів та визначено технічні характеристики.

Відділ охорони праці аналізує безпечну експлуатацію діагностичного обладнання та заходи щодо запобігання нещасним випадкам на виробництві під час діагностики. Фінансовий відділ визначає ефективність використання розробленого діагностичного засобу та визначає скорочення витрат на оплату праці та ремонт систем паливного постачання.

Результати цієї роботи можуть бути використані в ремонтно-технічних об'єктах агропромислового комплексу, на автозаправних станціях та в сільськогосподарських підприємствах, що використовують комбайни з паливними системами Common Rail.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ…… 3

ЗМІСТ…….. 5

ВСТУП…….. 6

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОТОЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.. 8

1.1. Аналіз результатів поточного дослідження…….. 8

1.2. Аналіз конструкції та принципу роботи системи впорскування палива common-rail у зернозбиральному комбайні «Славутич».. 13

1.3. Конструкція та аналіз відмов форсунок Common Rail……. 16

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ФОРСУНОК COMMON RAIL……. 20

2.1. Обґрунтування розробки діагностичного інструменту…… 20

2.2. Конструкція випробувального стенду для діагностики випускних клапанів……. 21

2.3. Як працює діагностичний інструмент…….. 26

2.4. Вибір основних будівельних елементів……. 31

2.5. Розрахунок найважливіших параметрів стану……. 32

2.6. Опис оновленої функціональності пристрою…….. 32

РОЗДІЛ 3 ОБМІН КОНСТРУКТОРСЬКИМИ РОЗРАХУНКАМИ ТА СТАНДАРТНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК…….. 35

3.1. Визначення основних даних проекту……. 35

3.2. Розрахунок сили тиску на випускному клапані…… 36

3.3. Розрахунок монтажної схеми випускного клапана……... 40

РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧИХ УМОВ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ФОРСУНОК COMMON RAIL……... 49

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБКИ….. 56

ВИСНОВКИ……. 63

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 65

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується високим ступенем механізації технологічних процесів, особливо важливою частиною яких є комбайни. Їхня продуктивність значною мірою залежить від технічного стану двигуна та системи подачі палива, оскільки відмови окремих компонентів паливної системи призводять до втрати потужності, збільшення витрати палива, погіршення впливу на навколишнє середовище та тривалих простоїв техніки в полі.

В останні роки системи впорскування Common Rail стали поширеними в двигунах автомобілів. Вони пропонують високу точність вимірювання, низьку витрату палива та низький рівень викидів. Однак ці системи характеризуються складною конструкцією та підвищеними вимогами до якості обслуговування та діагностики.

Однією з найважливіших частин системи впорскування Common Rail є форсунка насоса високого тиску. Від їх технічного стану залежить стабільність високого тиску в паливній магістралі, постійна подача палива до форсунок та надійність усього двигуна. Корозія контактних поверхонь, витоки, забруднення або механічні пошкодження форсунок призводять до відмов паливної системи та зносу комбайна.

Експлуатація зернозбиральних комбайнів вимагає ретельного контролю параметрів паливної системи. Однак існуючі методи діагностики форсунок часто демонструють високу вартість, складну конструкцію або обмежену функціональність. Тому актуальним завданням є розробка спеціалізованих діагностичних інструментів, які дозволяють швидко та надійно визначати технічний стан форсунок без значних витрат часу та ресурсів.

Метою цієї дипломної роботи є підвищення ефективності обслуговування системи паливного живлення зернозбирального комбайна «Славутич» шляхом розробки схеми діагностики форсунок Common Rail.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

- Проаналізувати конструкцію та принцип роботи систем впорскування палива common-rail для зернозбиральних комбайнів;

- Дослідження функціональних деталей вихідних клапанів насоса високого тиску та причин їхньої несправності;

- Аналіз існуючих методів та підходів до діагностики компонентів паливної системи;

- Розробити проект зі створення діагностичної процедури для паливних форсунок.

– Виконати необхідні конструкторські розрахунки та обґрунтувати параметри розробленого пристрою;

- Оцінка техніко-економічної ефективності запропонованого рішення;

- Розробити заходи щодо робочого середовища для експлуатації діагностичного обладнання.

Тема дослідження – процес діагностики клапанів упорскування паливної системи common-rail зернозбирального комбайна «Славутич».

Це дослідження зосереджено на конструктивних параметрах та методах роботи діагностичного інструменту для форсунок Common Rail.

Практичне значення цієї роботи полягає в розробці конструкції діагностичного інструменту, який підвищить достовірність визначення технічного стану клапанів упорскування, скоротить тривалість діагностичних процедур та знизить витрати на обслуговування та ремонт паливних систем комбайнів.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОТОЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

1.1 Аналіз результатів поточного дослідження

Важливим напрямком підвищення ефективності сучасних комбайнів є вдосконалення методів моніторингу та діагностики технічного стану системи подачі палива. Параметри моніторингу особливо важливі в системах впорскування Common Rail, які працюють за надзвичайно високого тиску впорскування та вимагають більш точної діагностики їх окремих компонентів.

Сучасні дослідження зосереджені переважно на методах вимірювання та контролю параметрів подачі палива, що створюються форсунками та впорскувальним клапаном у системі подачі палива. Ключові контрольовані параметри включають тиск палива, швидкість потоку, склад полум'я палива, кут розпилення, рівномірність розподілу частинок палива та герметичність компонентів системи подачі палива.

Сучасні дизельні двигуни зернозбиральних комбайнів оснащені системами впорскування Common Rail, які забезпечують високий тиск впорскування, точне дозування та низьку витрату палива. Надійність цих систем значною мірою залежить від технічного стану випускних клапанів насоса високого тиску.

На рисунку 1.1 показано загальну структуру системи впорскування палива common-rail для дизельного двигуна зернозбирального комбайна.

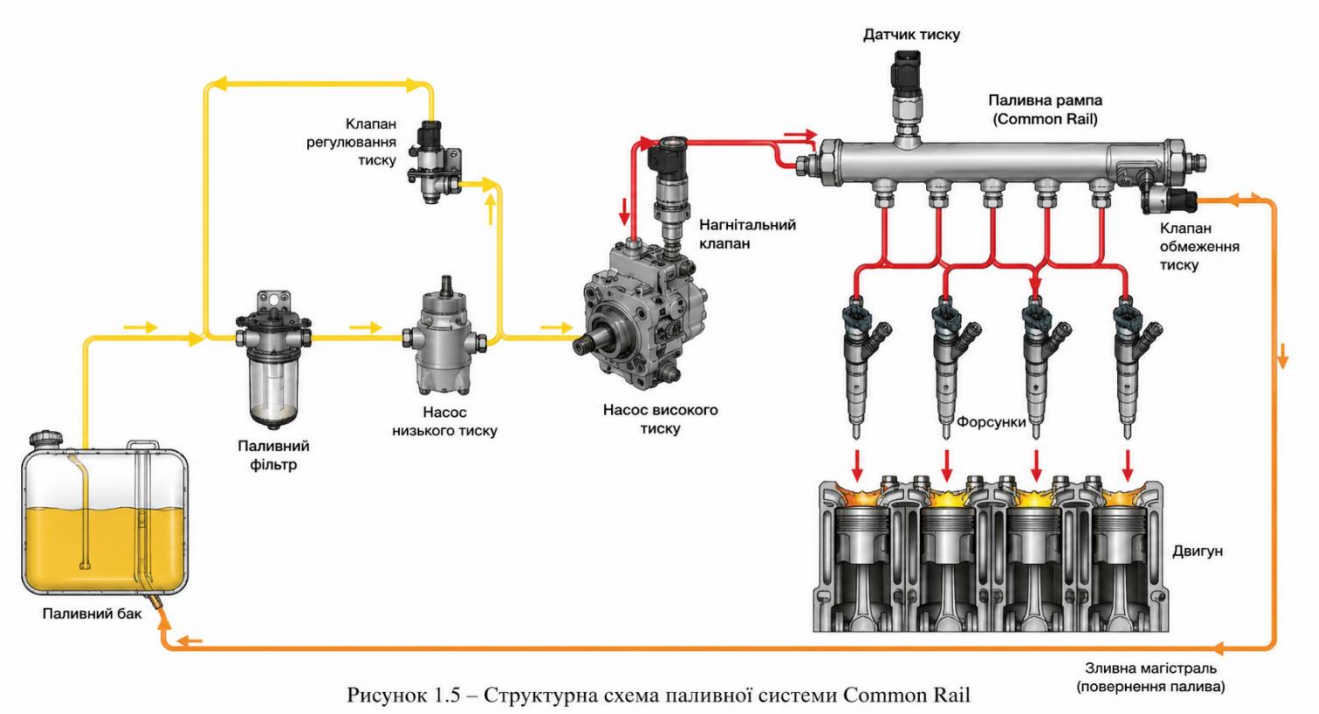


Рисунок 1.5 – Структурна схема паливної системи Common Rail

Рисунок 1.1. Блок-схема системи впорскування палива Common Rail.

Під час виготовлення та ремонту систем подачі палива навіть невеликі відхилення геометричних параметрів відносно цільових значень можуть суттєво вплинути на якість впорскування палива. Це призводить до погіршення сумішоутворення, збільшення питомої витрати палива, зниження потужності двигуна та підвищення токсичності вихлопних газів.

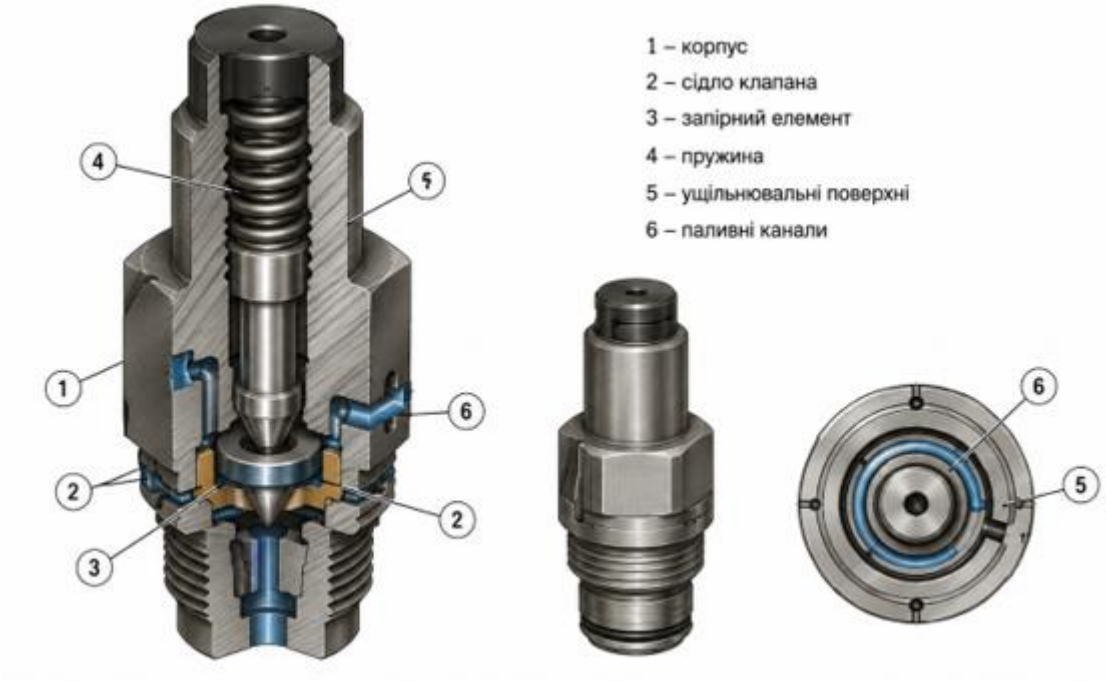


Рисунок 1.2. Конструкція випускного клапана

Згідно з законодавчими вимогами до систем подачі дизельного палива, полум'я повинно забезпечувати хороше розпилення, без утворення суцільних струменів, скупчення крапель або локальних ділянок надмірної концентрації палива. Візуальний контроль цих параметрів недостатньо інформативний; необхідне використання спеціалізованого діагностичного обладнання.

Серед сучасних методів перевірки характеристик потоку палива найбільш широко використовуються оптичні, електронні та комбіновані діагностичні методи. До оптичних методів належать:

- Методи візуалізації тіней.

Лазерна діагностика:

Голографічна інтерферометрія:

Високошвидкісна цифрова фотографія:

Методи аналізу структури полум'я палива.

Відомі методи діагностики систем подачі палива можна класифікувати за принципом отримання діагностичної інформації (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 - Класифікація методів діагностики паливної системи

Найпоширеніші методи контролю тиску та витрати палива дозволяють оцінити технічний стан форсунок на основі падіння тиску та внутрішніх

витоків.

На рисунку 1.4 показано порівняння найважливіших діагностичних методів.

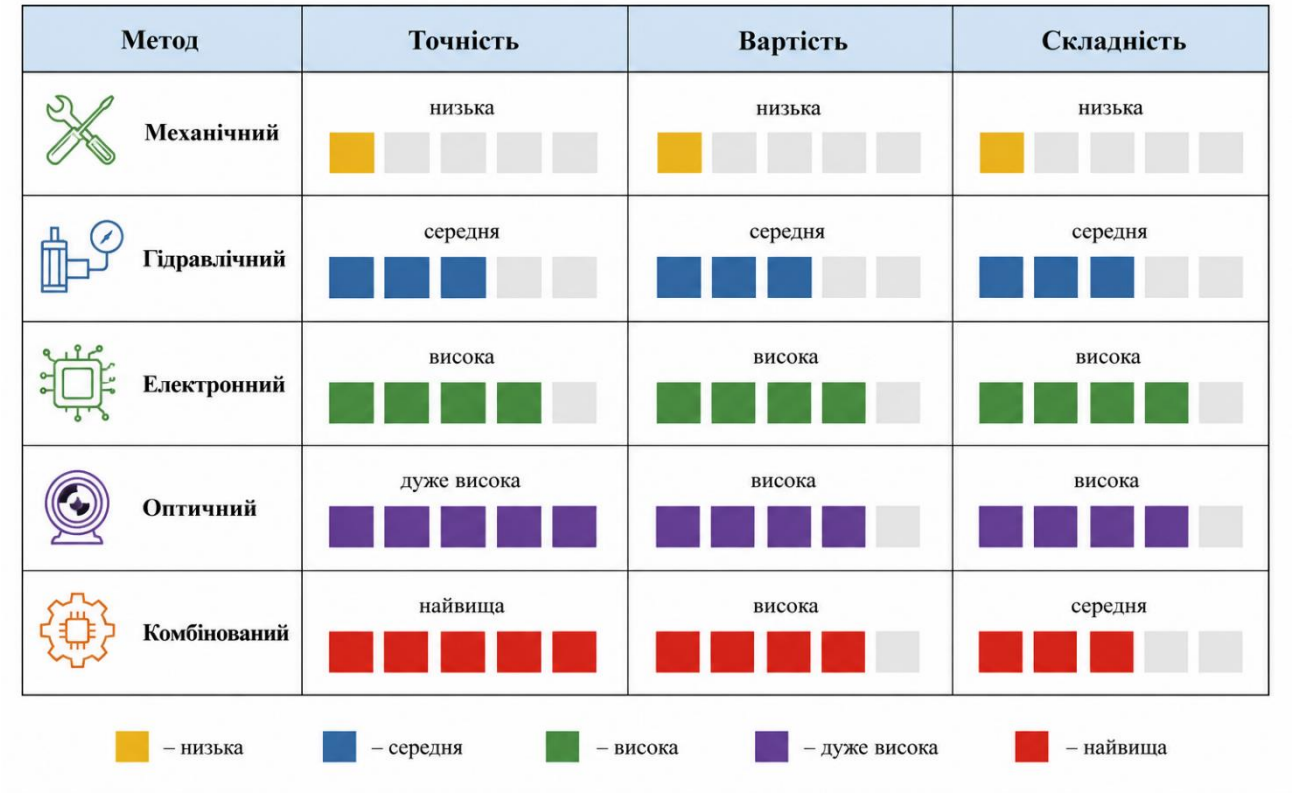


Рисунок 1.4 Порівняння характеристик діагностичних методів

Сучасні дослідження показують, що найважливішими параметрами для визначення технічного стану випускних клапанів є наступні:

- тиск відкриття клапана;

- гідроізоляція поверхонь покрівлі;

- потік:

- Швидкість:

Стабільність в управлінні стресом.

На рисунку 1.5 показано причинно-наслідкову діаграму відмови випускного клапана.



Рисунок 1.5. Основні причини виходу з ладу випускного клапана.

Аналіз існуючого випробувального обладнання показав, що більшість діагностичних стендів призначені для масштабного тестування паливної системи та є дорогими. Тому необхідно розробити спеціалізований діагностичний інструмент для форсунок common-rail зернозбирального комбайна «Славутич», який дозволить здійснювати оперативний моніторинг технічного стану та знизити витрати на обслуговування.

Перевагами оптичних методів є висока точність вимірювання, безконтактний контроль та відсутність втручання в досліджуваний процес. Вони дозволяють отримувати інформацію про структуру полум'я палива, тип атомізації та параметри руху окремих частинок палива.

Методи голографічної інтерферометрії становлять великий інтерес, оскільки вони дозволяють досліджувати хвильові поля та визначати властивості середовищ, змінюючи оптичні параметри. Використання сучасних цифрових голографічних систем дозволяє багаторазово підвищити чутливість вимірювання та отримати значну кількість інформації в одному експерименті.

Діагностика форсунок Common Rail включає моніторинг тиску палива, витоків та потоку. Це включає реєстрацію змін тиску в паливній магістралі, аналіз швидкості збільшення та зменшення цього тиску та визначення величини витоку на ущільнювальних поверхнях клапанів.

Аналіз технічної літератури показав, що більшість існуючих випробувальних стендів призначені для комплексного тестування систем

подачі палива та характеризуються складною конструкцією та високою вартістю. Водночас, специфічних методів контролю технічного стану паливних форсунок недостатньо, що перешкоджає своєчасному виявленню несправностей та збільшує вартість ремонту системи подачі палива.

Аналіз результатів поточних досліджень підкреслює необхідність розробки спеціалізованого діагностичного інструменту для форсунок Common Rail зернозбирального комбайна «Славутич». Запропонований інструмент має забезпечити високу точність керування, простоту використання, надійність та придатність для використання в ремонтно-технічних підприємствах сільськогосподарської техніки.

На основі результатів аналізу було сформульовано наступні цілі дослідження:

Аналіз конструкції та принципу роботи клапанів упорскування Common Rail.

- Визначення важливих діагностичних параметрів клапанів серця.
- Розробіть попередній план вашої діагностики;
- Виконати необхідні конструкторські розрахунки;
- Оцінити техніко-економічну ефективність впровадження розробленого діагностичного засобу.

1.2 Аналіз конструкції та принципу роботи системи впорскування палива common-rail у зернозбиральному комбайні «Славутич».

Сучасні комбайни оснащені високопродуктивними дизельними двигунами, що працюють із системами впорскування Common Rail. Використання цих систем забезпечує вищу ефективність двигуна, нижчі викиди та покращену продуктивність машини.



Рисунок 1.6. Загальний вигляд насоса високого тиску з нагнітальним клапаном.

Система впорскування Common Rail — це система впорскування на основі акумулятора, де створення високого тиску та впорскування є окремими процесами. Паливо під високим тиском зберігається в паливній магістралі (акумуляторі) та подається до форсунок незалежно від режиму роботи двигуна.

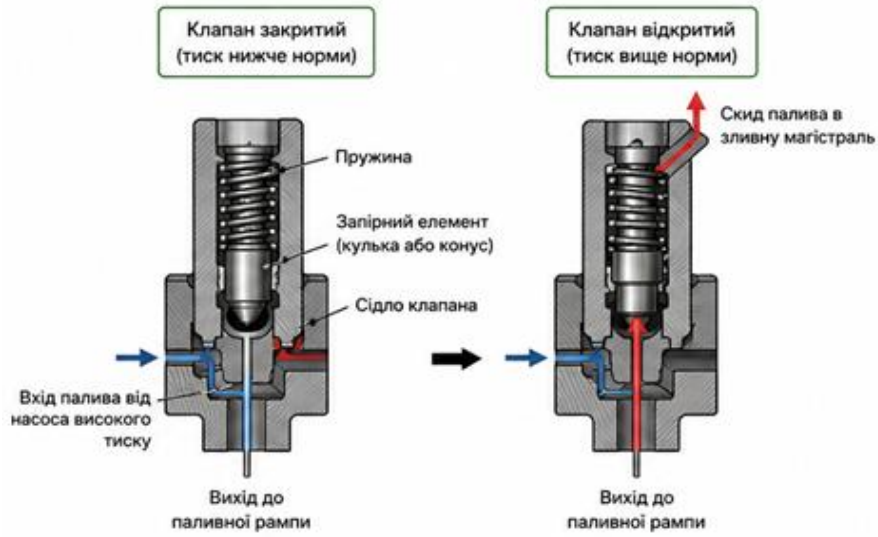


Рисунок 1.7. Принцип роботи інжекторного клапана в системі Common Rail.

Конструкція системи включає такі основні елементи:

- паливний бак;

- фільтр грубої очистки палива;

- Гарний паливний фільтр.

- насос низького тиску;

- насос високого тиску;

- випускний клапан;

- Паливний розподільний патрубок (common rail);

Паливні форсунки:

- датчик тиску;

- Електронний блок керування двигуном (ЕБУ)

- Паливні магістралі високого та низького тиску.

Під час роботи двигуна паливо надходить з бака до очисних фільтрів, а потім насосом низького тиску перекачується до насоса високого тиску. Насос високого тиску стискає паливо до тиску 150–250 МПа та подає його в паливопровід через форсунку.

Паливний інжектор є однією з найважливіших частин системи, оскільки він підтримує необхідний тиск і запобігає зворотному потоку палива. Від їх належного функціонування залежить стабільність роботи насоса високого тиску та всієї системи впорскування.

Паливна рампа виконує роль резервуара та забезпечує рівномірний розподіл високого тиску до форсунок. Електронний блок керування отримує сигнали від датчиків та генерує команди на відкриття форсунок залежно від умов роботи двигуна.

Основні переваги системи Common Rail:

- Висока точність вимірювання палива.

- Можливість введення кількох ін'єкцій протягом одного циклу.

- зменшення питомої витрати палива;

- Зменшити токсичність вихлопних газів;

– Покращені пускові характеристики двигуна;

- Більша потужність і крутний момент.

Окрім своїх переваг, ця система вимагає високого рівня паливного

вузла та належного технічного стану його компонентів. До найпоширеніших несправностей належать знос форсунок насоса високого тиску, паливних форсунок та поршневих вузлів, а також засмічення паливних магістралей.

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики системи Common Rail комплексу у Славутичі.

№ п/п	Параметр	Значення
1	Тип системи	Common Rail
2	Максимальний тиск упорскування, МПа	180…200
3	Робочий тиск у паливній рампі, МПа	20…160
4	Продуктивність насоса високого тиску, $см^3$/об	15…25
5	Кількість циліндрів двигуна, шт.	6
6	Кількість форсунок, шт.	6
7	Діаметр плунжера насоса, мм	10
8	Хід плунжера насоса, мм	8
9	Тип форсунок	Електромагнітні
10	Тип нагнітального клапана	Кульковий (редукційний)
11	Електронний блок керування	Bosch EDC/Delphi
12	Паливо	Дизельне ДП (згідно ДСТУ)

Аналіз показує, що форсунки суттєво впливають на стабільність тиску в магістралі впорскування та функціонування всієї системи Common Rail. Тому швидка діагностика цих форсунок є важливим завданням при технічному обслуговуванні зернозбиральних комбайнів.

Результати аналізу призвели до необхідності розробки спеціального інструменту для діагностики форсунок, який би дозволив швидко визначити їх технічний стан та підвищити надійність системи паливопостачання комбайна «Славутич».

1.3 Конструкція та аналіз відмов форсунок Common Rail

Паливна форсунка є фундаментальною частиною системи впорскування Common Rail. Вона забезпечує необхідний тиск у паливній магістралі та стабільну роботу насоса високого тиску. Якість процесу впорскування, економія палива двигуна та екологічні показники автомобіля залежать від її технічних характеристик.

Паливна форсунка складається з корпусу, сідла клапана, запірного елемента, пружини, ущільнювальних поверхонь та паливних каналів. Під впливом тиску палива запірний елемент переміщується відносно сідла клапана, що забезпечує подачу палива до впорскувальної магістралі. Після зниження тиску пружина повертає запірний елемент у початкове положення та закриває паливний канал.

На рисунку 1.8 показано конструкцію клапана впорскування Common Rail.



Рисунок 1.8. Конструкція клапана впорскування Common Rail.

Під час роботи паливні форсунки піддаються високим навантаженням, зазнають значних перепадів тиску та постійно контактують з паливом. Робочий тиск у сучасних системах Common Rail може досягати 180–250 МПа, що ставить високі вимоги до точності виготовлення та якості матеріалів компонентів клапанів.

Основні причини, чому перестав працювати випускний клапан:

- Забруднення палива механічними домішками;

- абразивне зношування ущільнювальних поверхонь,

- Корозійне пошкодження компонентів;

– Руйнування пружини від втоми;

- порушення водонепроникності посадкових поверхонь;

- Закріпіть запірний елемент.

- Руйнування робочих поверхонь внаслідок кавітації.

Особливо небезпечно, якщо механічні домішки потрапляють на поверхню контакту між ущільнювальним елементом та сідлом клапана. Навіть незначне пошкодження поверхні може спричинити внутрішню витік палива та падіння тиску в паливній магістралі.

На рисунку 1.5 показано причинно-наслідкову діаграму відмови випускного клапана.

Несправні випускні клапани проявляються такими симптомами:

- труднощі із запуском двигуна;

– Нестабільна інерція.

- зниження потужності двигуна;

Збільшена витрата палива:

- підвищений вміст диму у вихлопних газах;

- Несправність в електронній системі керування двигуном;

- Коливання тиску в паливній магістралі.

Для оцінки технічного стану випускних клапанів використовуються такі діагностичні параметри:

- тиск відкриття клапана;

- гідроізоляція поверхонь покрівлі;

- значення внутрішніх витоків;

Швидкість клапана:

– Стабільність в управлінні стресом;

Людські ресурси.

Аналіз існуючих методів перевірки показав, що більшість із них вимагають демонтажу компонентів паливної системи та використання дорогого діагностичного обладнання. Це збільшує складність робіт та витрати

на обслуговування.

Тому метою поточного проєкту є розробка спеціалізованого інструменту для діагностики паливних форсунок, який дозволяє швидко визначити їх технічний стан на основі основних діагностичних параметрів та скорочує час, необхідний для обслуговування та ремонту системи впорскування палива common-rail.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ФОРСУНОК COMMON RAIL.

2.1 Обґрунтування розробки діагностичного інструменту

Аналіз існуючих методів та засобів діагностики показав, що більшість сучасних випробувальних стендів призначені для комплексного тестування систем подачі палива та характеризуються значною вартістю, складною конструкцією та високими витратами на обслуговування. Крім того, існуюче обладнання не завжди дозволяє швидко оцінити технічний стан форсунок без необхідності демонтажу значної кількості компонентів системи подачі палива.

Для підвищення ефективності технічного обслуговування системи подачі палива комбайнів було запропоновано розробку спеціального випробувального стенду для діагностики клапанів упорскування в системі Common Rail.

Основні вимоги до розробленого пристрою:

- забезпечити герметичність клапанів;
- Здатність визначати початковий тиск.
- Оцінка ступеня внутрішніх витоків;
- Простий дизайн:
- експлуатаційна надійність;
- Підходить для використання в майстерні.



Рисунок 2.1. Функціональна схема випробувального стенду для діагностики клапанів.

Запропонований випробувальний стенд дозволяє проводити тестування форсунок без необхідності їх встановлення на паливний насос високого тиску, що значно зменшує складність діагностичних робіт.

2.2 Конструкція випробувального стенду для діагностики випускних клапанів

На основі аналізу існуючих систем керування подачею палива було розроблено випробувальний стенд для діагностики форсунок Common Rail у зернозбиральних комбайнах. Випробувальний стенд служить для визначення технічного стану форсунок за такими параметрами: герметичність, тиск відкриття, внутрішні витоки, стабільність тиску та швидкість реагування.

Запропонована конструкція випробувального стенду дозволяє проводити лабораторні випробування без необхідності встановлення клапана на насос високого тиску двигуна. Це скорочує час діагностики та підвищує достовірність результатів випробувань.

Огляд підтримки показано на рисунку 2.2.

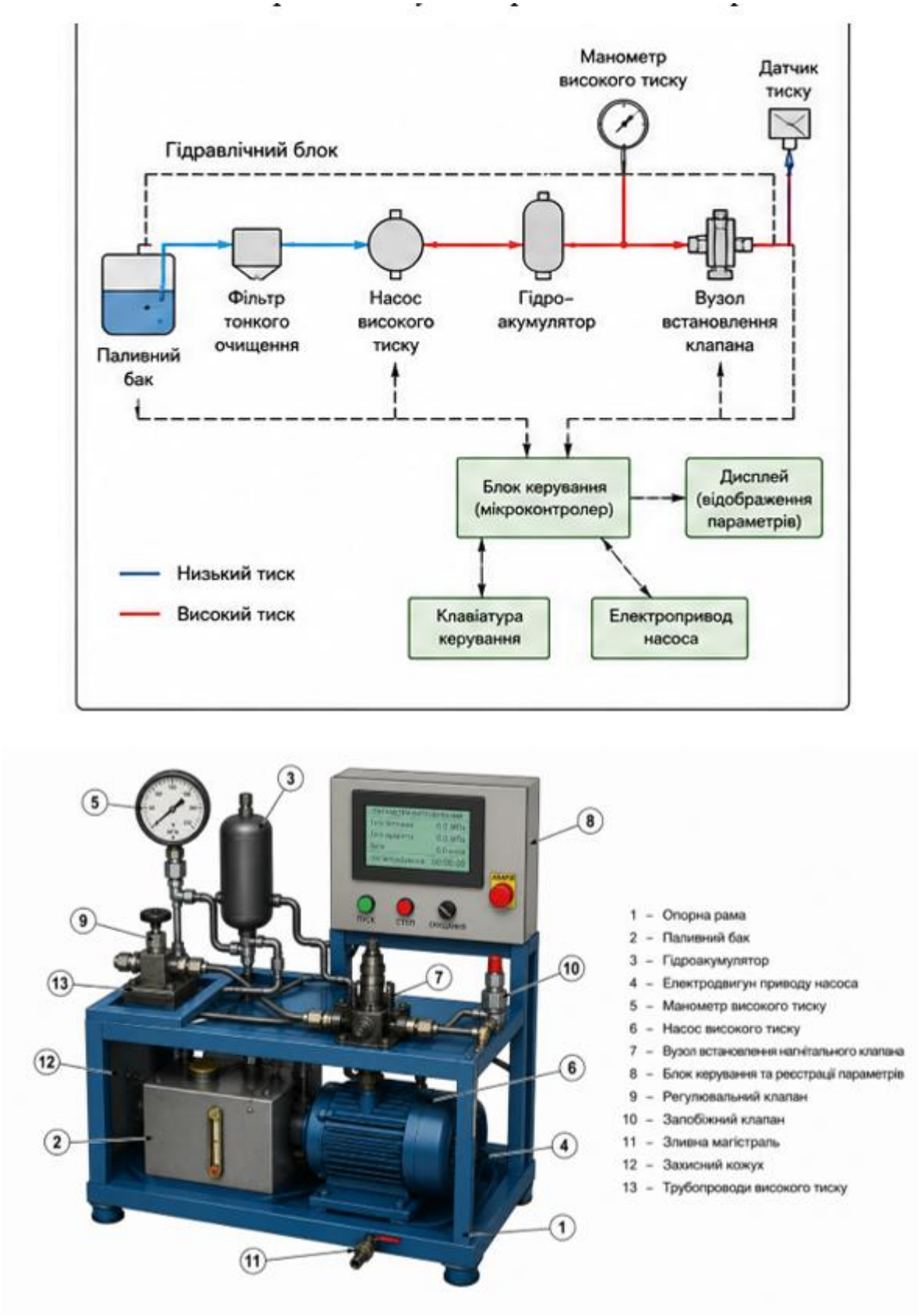


Рисунок 2.2. Огляд випробувального стенду для діагностики випускних клапанів.

Конструкція павільйону складається з таких основних елементів:

Опорна конструкція основи складається зі зварної рами, виготовленої з прямокутних сталевих профілів. До цієї рами кріпляться всі основні компоненти та вузли основи. Для забезпечення стійкості конструкції передбачені поперечні та поздовжні арматурні елементи.

Паливний бак зберігає робочу оливу та забезпечує безперервну роботу гідравлічної системи. Він оснащений фільтром грубого очищення, який запобігає потраплянню механічних домішок у насос високого тиску.

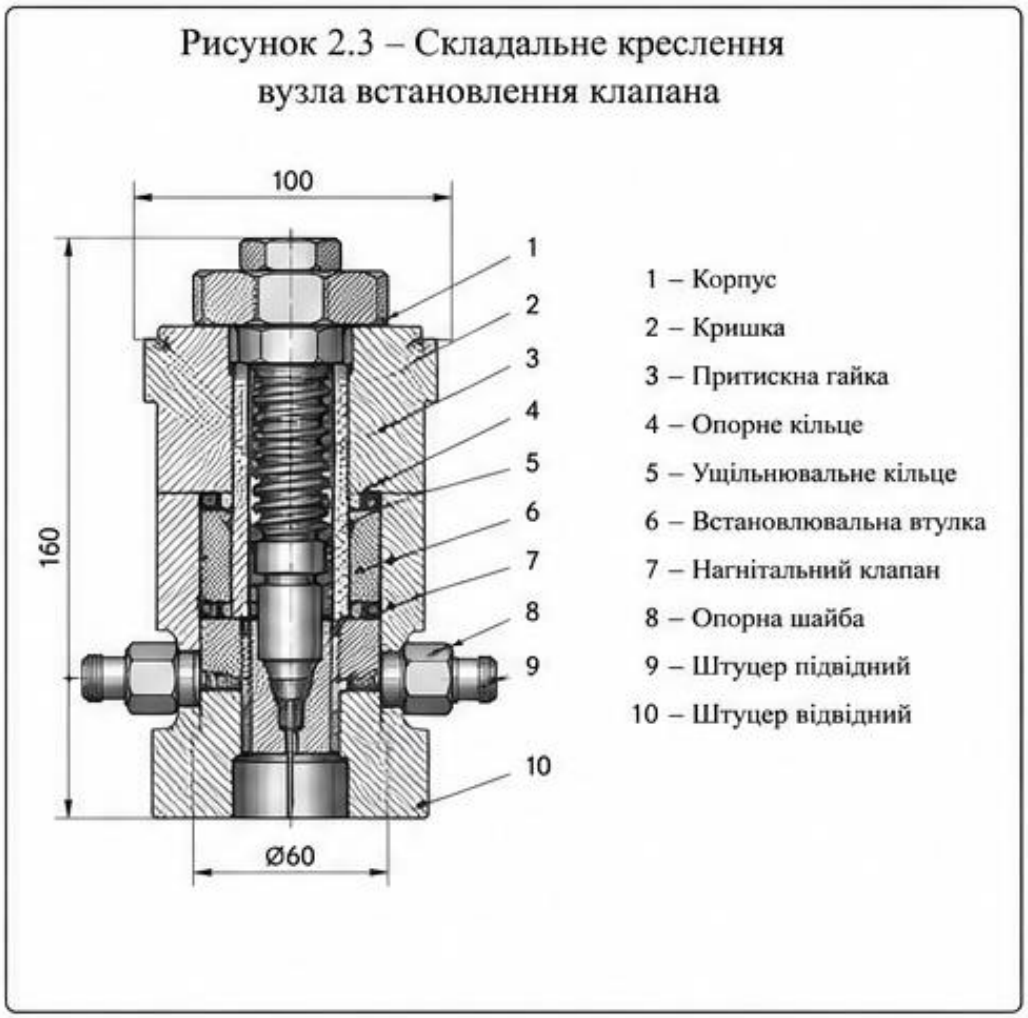


Рисунок 2.3. Схема складання блоку встановлення клапана.

Для створення необхідного тиску використовується електричний насос високого тиску. Крутний момент передається від електродвигуна до насоса через гнучку муфту, яка компенсує будь-яке перекіс валу та зменшує вібрації.

Основним функціональним вузлом випробувального стенду є вузол

випускного клапана. Конструкція вузла дозволяє використовувати змінні адаптери, що дозволяє проводити випробування клапанів різних розмірів та виробників. Герметичність з'єднання забезпечується ущільнювальними кільцями та конічними поверхнями.

Робочі параметри клапана контролюються за допомогою манометра високого тиску та електронного датчика тиску. Зібрані дані надсилаються до блоку керування, де вони обробляються та відображаються на цифровому екрані.

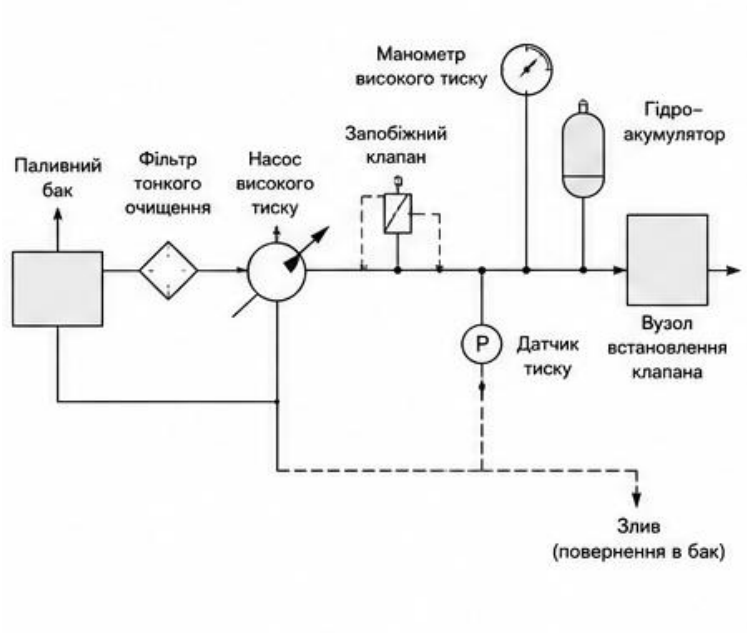


Рисунок 2.4. Гідравлічна схема основи.

Для забезпечення безпечної роботи випробувального стенду конструкція включає запобіжний клапан, який автоматично відкривається у разі перевищення допустимого тиску в системі. Надлишок рідини повертається в паливний бак через зливну трубу.

Блок керування пропонує:

- Вмикання та вимикання електродвигуна;
- Контроль тиску в системі;
- Запис результатів вимірювань;

Аварійна сигналізація:

- Відображення параметрів на екрані.

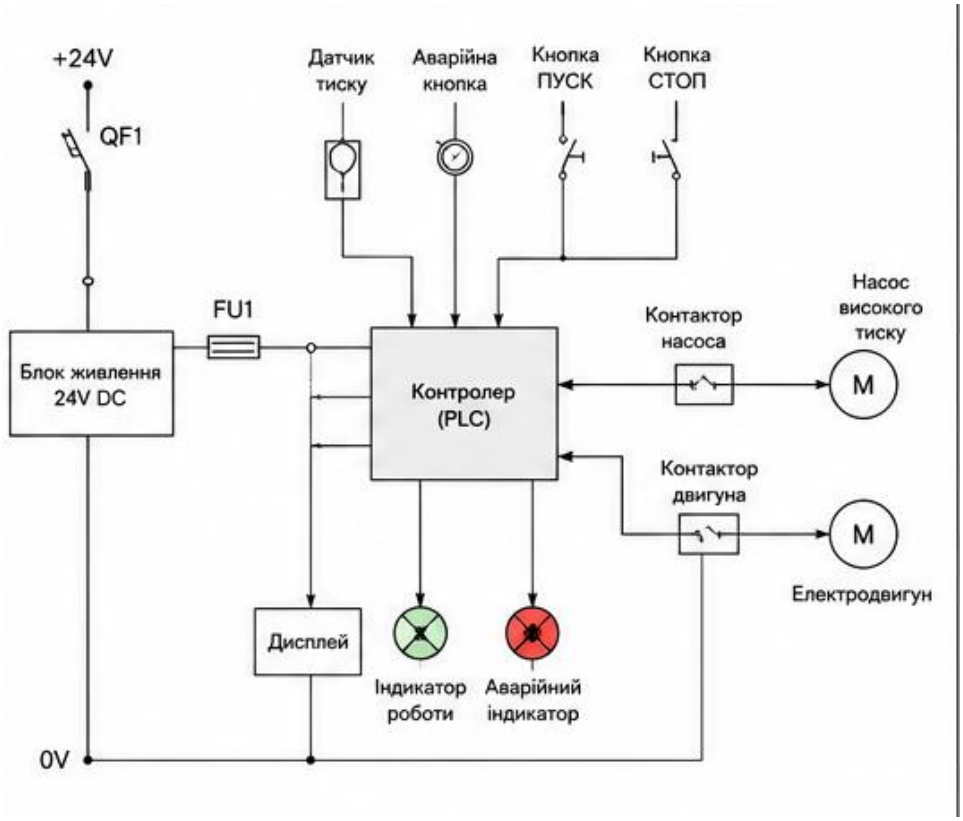


Рисунок 2.5. Схема електричної системи керування

Принцип роботи підсилювача полягає в поступовому збільшенні тиску робочої рідини до відкриття вихідного клапана. Початковий тиск клапана визначається на основі показань манометра та датчика тиску. Потім проводиться перевірка на герметичність та визначається розмір будь-яких внутрішніх витоків.

Запропонований проект дозволяє повну діагностику форсунок Common Rail, забезпечує високу точність вимірювань та може бути використаний на ремонтних та технічних об'єктах агропромислового комплексу.

Технічні характеристики опори:

- Максимальний робочий тиск - 250 МПа;

Продуктивність насоса – 1,5–2,0 л/хв;

- Потужність електродвигуна - 1,5 кВт;

- Напруга живлення - 220/380 В;

- Клас точності манометра - 1,0;

- Діапазон вимірювання датчика тиску: 0–250 МПа;

– Забійна вага – приблизно 80 кг.

Розроблений проект відповідає вимогам експлуатаційної надійності, точності діагностики та можливості серійного виробництва.

2.3 Як працює діагностичний інструмент

Принцип роботи розробленого діагностичного блоку базується на створенні контрольованого тиску робочої рідини в гідравлічній системі випробувального стенду та реєстрації робочих параметрів клапана впорскування Common Rail. Під час випробування визначаються найважливіші діагностичні параметри клапана: початковий тиск, герметичність, значення внутрішнього витоку та стабільність тиску.

Функціональна схема бази даних показана на рисунку 2.1.

Перед початком випробування запобіжний клапан вставляється у спеціальний адаптер, розташований на монтажному блоці, та затягується накидною гайкою. Після встановлення клапана всі з'єднання в гідравлічній системі перевіряються на герметичність.

Паливо з бака проходить через фільтр тонкого очищення до насоса високого тиску. Насос приводиться в рух електродвигуном і створює необхідний тиск у системі. Тиск контролюється за допомогою манометра високого тиску та електронного датчика тиску.

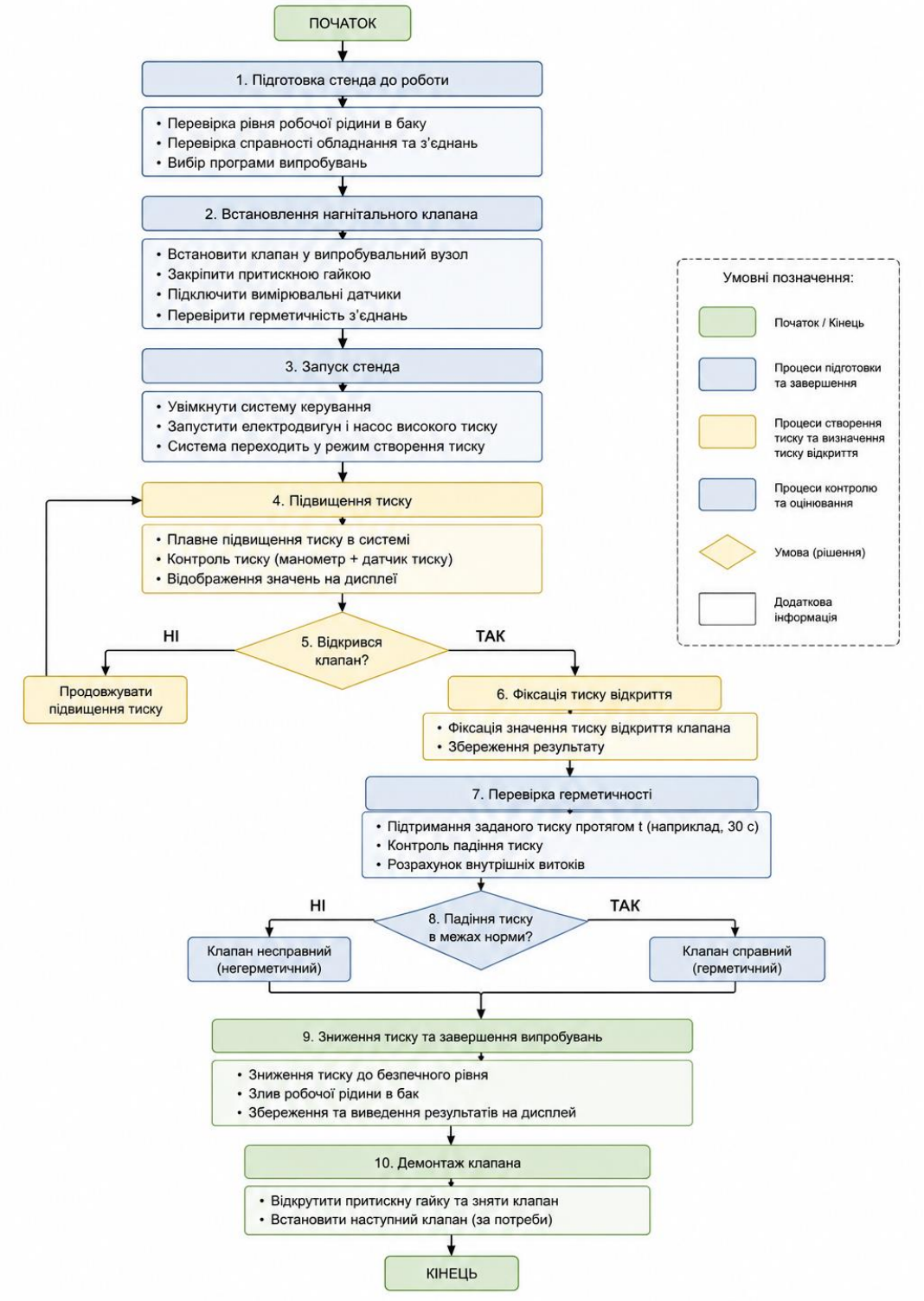


Рисунок 2.6. Алгоритм роботи випробувального стенду для діагностики випускних клапанів.

Фундамент працює в такому порядку:

Крок 1. Підготовка до іспиту

Перш ніж оператор введе базу в експлуатацію:

Встановіть випускний клапан у випробувальне положення.

Підключіть датчики рульового керування.

- Перевірте рівень робочої рідини в бачку.

Блок керування запускається.

Після завершення підготовки система переходить у режим очікування.

Крок 2. Створення робочого тиску

Після натискання кнопки запуску електродвигун активує насос високого тиску. Робоча рідина надходить до випробувального блоку, де створюється тиск, необхідний для відкриття випускного клапана.

У міру зростання тиску датчик безперервно передає інформацію на блок керування, і поточні значення відображаються на екрані оператора.

Крок 3. Визначення тиску відкриття клапана

Після досягнення певного значення тиску запірний елемент клапана починає рухатися відносно сідла клапана. Момент відкриття пов'язаний зі зміною параметрів тиску та швидкістю потоку робочої рідини.

Система керування виявляє значення тиску в момент відкриття клапана та зберігає його в пам'яті контролера.

Отриманий результат порівнюють зі стандартними значеннями виробника.

Крок 4. Перевірте наявність витоків.

Після закриття клапана в системі підтримується певний керуючий тиск.

За відсутності витоків тиск залишається практично незмінним протягом заданого періоду випробування.

Зниження тиску свідчить про наступне:

- корозія поверхонь даху;

– Пошкодження сідла клапана;

– Деформація запірного елемента;

- Забруднення робочих поверхонь.

Швидкість падіння тиску використовується для оцінки ступеня зносу клапана.

Крок 5. Визначте внутрішні витоки.

Для оцінки технічного стану клапана кількість робочої рідини, що протікає через ущільнювальні поверхні, контролюється протягом певного періоду часу.

Швидкість витоку є одним з найбільш інформативних параметрів щодо технічного стану випускного клапана.

Підвищений витік свідчить про необхідність ремонту або заміни клапана.

Крок 6. Завершення тестів

Після завершення діагностичного циклу система автоматично знижує тиск до безпечного рівня.

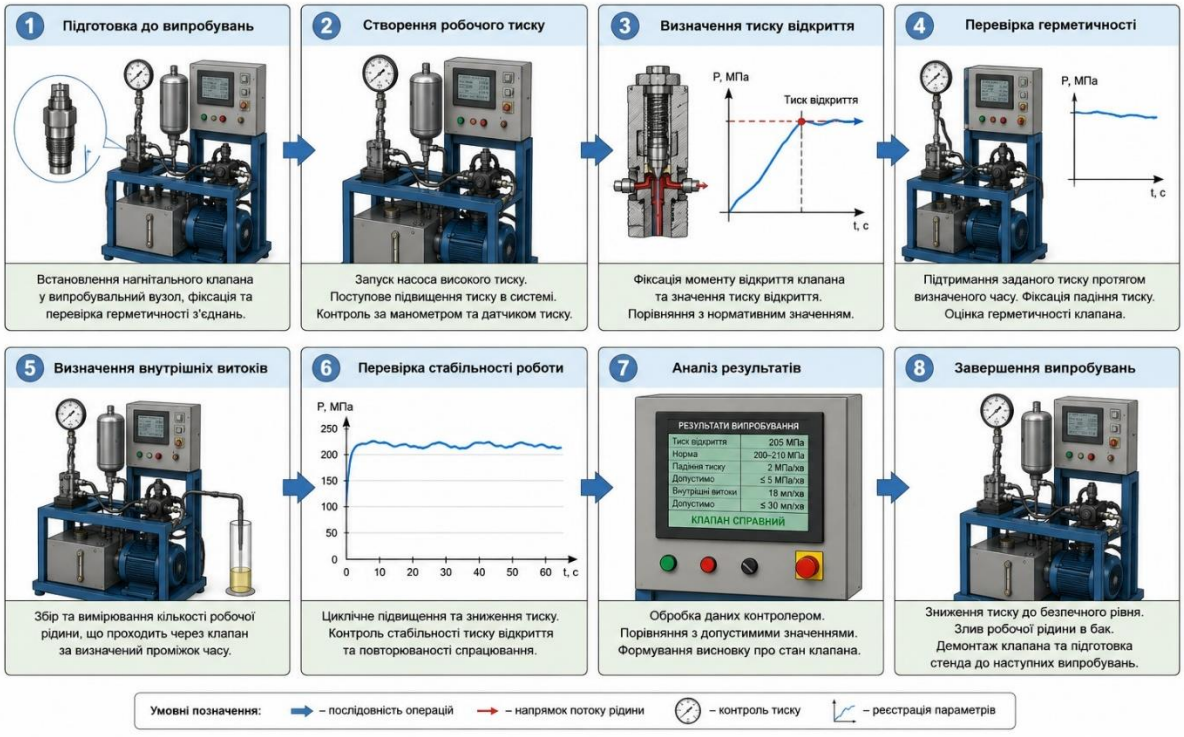


Рисунок 2.7. Послідовність перевірки параметрів випускного клапана.

Робоча рідина повертається в резервуар через зливну трубу, а результати випробувань зберігаються в пам'яті контролера та відображаються на екрані.

На основі результатів діагностики робиться висновок щодо технічного стану випускного клапана:

- У хорошому стані.

Придатний для подальшого використання.

Контроль необхідний;

Потребує ремонту.

Не підходить для подальшого використання.

Таблиця 2.1 - Діагностичні параметри та критерії оцінки технічного стану клапана.

Ні.	Діагностичний параметр	Стандартна ціна	Толерантність	Повідомлення про помилку
1	Тиск відкриття клапана, МПа	200–210	±5%	Тиск відкриття менше 190 МПа або більше 220 МПа
2	Затягування клапана	Витоків немає.	Максимальне падіння тиску 2 МПа за 30 секунд.	Падіння тиску більше 2 МПа за 30 секунд.
3	Внутрішній витік, мл/хв	≤ 15	До 20-го числа	Більше 20 мл/хвилину
4	Час роботи клапана, мс	3–5	±1 мс	Більше 6 мілісекунд
5	Початкова стабільність тиску	±2 МПа	±5 МПа	Коливання більше ±5 МПа
6	Результати повторення	Принаймні 95%	До 90%	Менше ніж 90%
7	Стан поверхонь даху	Шкоди не було завдано.	Незначні сліди зносу	Подряпини, вм'ятини, удари
8	Весняні умови	Номінальна жорсткість	Знижка до 5%	Втрата твердості більше 5%
9	Хід запірного елемента, мм	0,25–0,40	±0,05 мм	Блокування або надмірний рух
10	Загальні технічні умови	Ремонтопридатний	Необхідне коригування	Потрібен ремонт або заміна



Рисунок 2.9. Діаграма кривої тиску під час випробування випускного клапана.

На початковій фазі (0–25 секунд) тиск у системі поступово зростає завдяки роботі насоса високого тиску. Після досягнення значення приблизно 205–210 МПа випускний клапан відкривається відповідно до свого номінального робочого положення. Після відкриття клапана тиск стабілізується і залишається практично постійним. Невелике падіння тиску в інтервалі 30–60 секунд свідчить про герметичність клапана та ступінь будь-якого внутрішнього витоку. Для належного функціонування клапана це падіння тиску не повинно перевищувати заданих меж.

Запропонований діагностичний інструмент дозволяє повністю контролювати основні параметри форсунок системи Common Rail, підвищує достовірність оцінки їх технічного стану та зменшує складність діагностичних робіт під час обслуговування зернозбирального комбайна.

2.4 Вибір основних будівельних елементів

Для забезпечення необхідних режимів роботи були обрані наступні:

– Насос високого тиску з продуктивністю до 2 л/хв.

- Електродвигун вихідною потужністю 1,5 кВт;

- Датчик тиску з діапазоном вимірювання від 0 до 250 МПа.

- Манометр класу точності 1,0;

- сталеві труби високого тиску;

– Конструкція виготовлена зі сталі St3.

Вибір цих елементів забезпечує необхідну точність вимірювання та надійність стенду.

2.5 Розрахунок найважливіших параметрів стану

Розрахунки виконуються для визначення наступного:

- Робочий тиск системи;

- продуктивність насоса;

- Необхідна рушійна сила;

- несуча здатність конструктивних елементів;

- Параметри для трубопроводу високого тиску.

Результати розрахунків використовуються для остаточного визначення конструктивних параметрів пристрою.

2.6 Опис оновленої функціональності пристрою

Нещодавно розроблений випробувальний стенд для форсунок Common Rail допомагає визначити їх технічний стан, контролюючи початковий тиск, герметичність, внутрішні витоки та стабільність роботи під навантаженням. Використання цього модернізованого пристрою підвищує надійність діагностики та скорочує час випробувань.

Принцип роботи випробувального стенду базується на контрольованому створенні тиску робочої рідини та автоматичному записі робочих параметрів випускного клапана за допомогою електронної системи керування.

Перед початком роботи оператор встановлює випускний клапан на випробувальний стенд і закріплює його затискним пристроєм. Після встановлення клапана підключається вимірювальна система та перевіряються з'єднання на герметичність.

Після натискання кнопки запуску електродвигун активує насос високого тиску. Робоча рідина з паливного бака проходить через систему очищення, щоб потрапити до насоса, а потім спрямовується до випробувального блоку. Під час роботи насос створює тиск, який поступово зростає, доки не досягне тиску на вихідному клапані.

Контроль тиску здійснюється одночасно за допомогою манометра високого тиску та електронного датчика. Дані датчика надсилаються на мікропроцесорний блок керування, де вони обробляються, аналізуються та відображаються на екрані оператора.

Коли відкривається випускний клапан, система автоматично визначає початковий тиск. Виміряні значення порівнюються з параметрами керування, зазначеними виробником системи подачі палива. Якщо параметри відхиляються від допустимих значень, система видає попередження про несправність клапана.

Для перевірки герметичності клапана після закриття в системі протягом певного періоду часу підтримується певний тиск. Якщо тиск протягом цього періоду падає нижче допустимого значення, можна припустити, що ущільнювальні поверхні негерметичні або є внутрішні витоки.

Особливістю модернізованого обладнання є електронна система автоматичного контролю та запису параметрів. На відміну від традиційних випробувальних стендів, де оператор оцінює результати на основі манометрів, нова конструкція дозволяє автоматично визначати час відкриття клапана, розраховувати перепад тиску та зберігати результати випробувань.

Для захисту опорних компонентів від перевантаження в конструкцію вбудовано запобіжний клапан. Якщо перевищено максимально допустимий тиск, частина робочої рідини автоматично повертається в резервуар через зливну трубу, запобігаючи пошкодженню системи.

Після завершення випробувань система автоматично знижує тиск до безпечного рівня. Після цього оператор може видалити перевірений клапан і вставити наступний зразок для діагностики.

Основні переваги модернізованого агрегату:

Більша точність діагностики паливних форсунок.

- Скорочений час тестування;

- Автоматизація процесу управління;

- зменшити вплив людського фактору на результати вимірювань;

- Здатність зберігати та аналізувати результати діагностики.

Підвищена безпека на роботі;

Підходить для клапанів різних виробників.

Використання розробленого випробувального стенду дозволяє на ранній стадії виявляти несправності в клапанах впорскування common-rail, підвищує якість обслуговування комбайнів та знижує витрати на ремонт системи подачі палива.

Модернізований таким чином прилад дозволяє проводити повну діагностику випускних клапанів, характеризується простою конструкцією та високою точністю керування, і може бути рекомендований для використання в ремонтних та технічних об'єктах агропромислового комплексу.

РОЗДІЛ 3 ОБМІН КОНСТРУКТОРСЬКИМИ РОЗРАХУНКАМИ ТА СТАНДАРТНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК.

3.1 Визначення основних даних проекту

У цьому розділі визначено початкові параметри, необхідні для побудови графіка:

- робочий тиск у системі Common Rail;

- параметри випускного клапана;

– допустимі навантаження на компоненти;

- Продуктивність гідравлічної системи;

Необхідна точність у вимірюваннях.

У сучасних дизельних двигунах системи Common Rail працюють під тиском від 180 до 250 МПа. Базова версія розрахована на максимальний тиск 250 МПа.

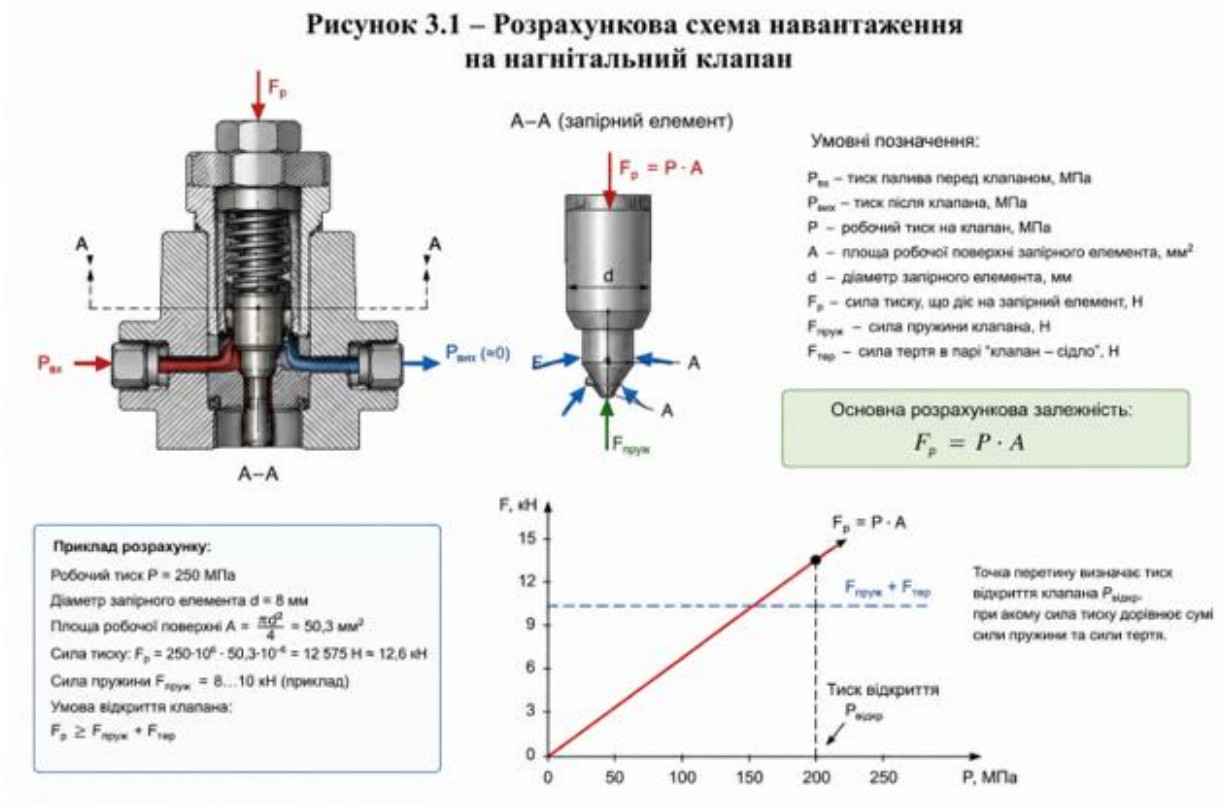


Рисунок 3.1. Діаграма розрахунку навантаження на випускний клапан

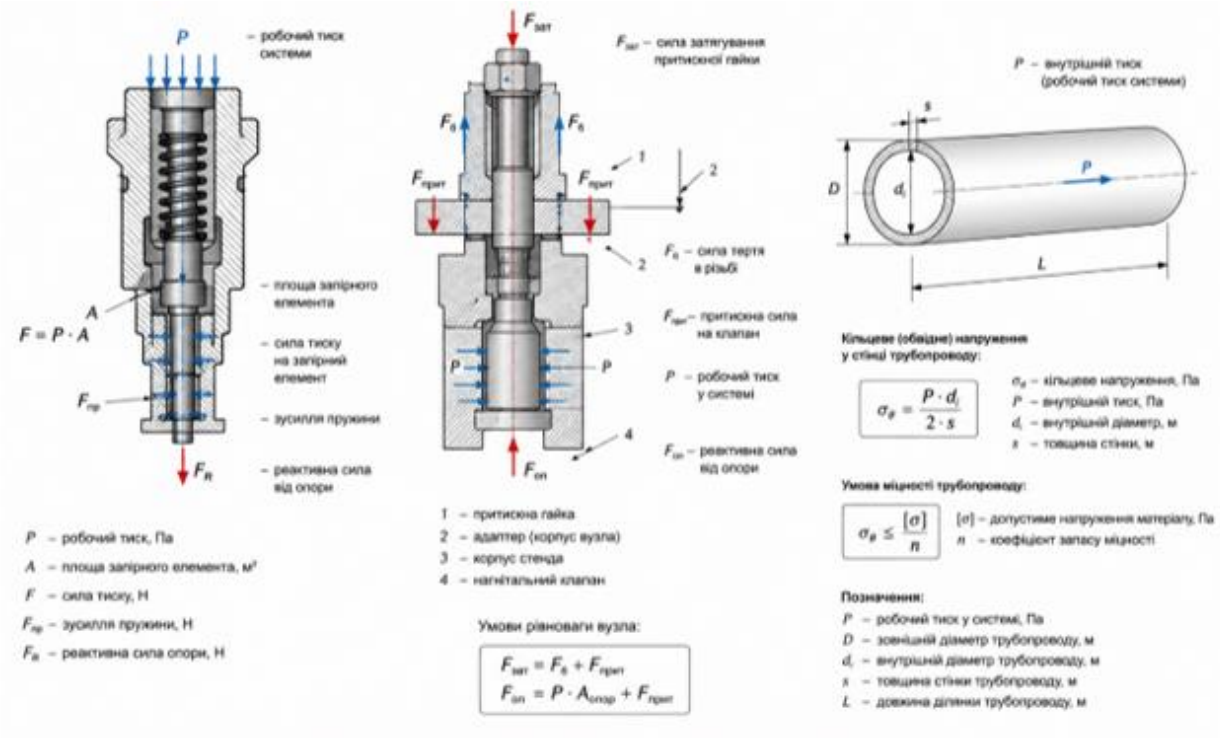


Рисунок 3.2. Технічні креслення та розрахунки системи.

3.2 Розрахунок сили тиску на випускному клапані

Під час роботи випробувального стенду форсунок Common Rail на запірний елемент клапана діє сила тиску робочої рідини. Величина цієї сили залежить від робочого тиску в системі та робочого діапазону запірного елемента.

Міцність на стиск визначається за такою формулою:

$$F_p = P \cdot A,$$

Де

F_p -Стискаюча сила, Н;

П.-Який робочий тиск у системі, в Па:

А-Робоча площа запірного елемента, м².

Робоча поверхня запірного елемента визначається за такою формулою:

$$A = \frac{\pi d^2}{4},$$

Де

К.-Діаметр запірного елемента клапана, у метрах.

Для розрахунку ми використовували наступне:

$$P = 250 \text{ МПа} = 250 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$d = 8 \text{ мм} = 0{,}008 \text{ м}.$$

Робоча поверхня запірного елемента:

$$A = \frac{3{,}14 \cdot (0{,}008)^2}{4} = 50{,}24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Ми визначили силу стиску, що діє на запірний елемент клапана:

$$F_p = 250 \cdot 10^6 \cdot 50{,}24 \cdot 10^{-6} = 12560 \text{ Н}.$$

Тоді,

$$F_p \approx 12{,}56 \text{ кН}.$$

Розраховане значення показує, що при робочому тиску 250 МПа на запірний елемент випускного клапана діє сила приблизно 12,56 кН. Це навантаження необхідно враховувати під час розрахунку опори клапана, вибору матеріалу адаптера, контргайки та ущільнювального елемента.

Для забезпечення надійної роботи опори сила тиску клапана в установчому блоці повинна перевищувати силу тиску робочої рідини з урахуванням коефіцієнта запасу міцності:

$$F_{\text{зат}} \geq k \cdot F_p,$$

Де

$F_{\text{зат}}$ -Затискна сила Н;k, необхідна затискному механізму, є коефіцієнтом безпеки.

Ми приймаємо:

$$k = 1{,}5.$$

Далі, необхідна сила затиску:

$$F_{\text{зат}} = 1{,}5 \cdot 12560 = 18840 \text{ Н}.$$

Тоді,

$$F_{\text{зат}} \approx 18{,}84 \text{ кН}.$$

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку основних параметрів випробувального стенду для діагностики випускних клапанів.

Ні.	Назва параметра	Виділити	Одиниця вимірювання	Очікувана вартість
1	Максимальний робочий тиск	P_{max}	МПП	250
2	діаметр запірного елемента клапана	К.	ММ	8
3	Робоча поверхня клапана	А	міліметр²	50,24
4	Стискаюча сила на запірному елементі	F_p	CN	12:56
5	Коефіцієнт безпеки	К.	–	1.5
6	Необхідна затискна сила для кріпильного вузла	$F_{\text{зат}}$	CN	18.84
7	Продуктивність насоса високого тиску	так	л/хвилину	2.0
8	Потужність електродвигуна	Б	кВт	1.5
9	діапазон вимірювання датчика тиску	P_d	МПП	0–250
10	Клас точності манометра	–	–	1.0
11	Внутрішній діаметр труби	$d_{\text{тр}}$	ММ	6
12	товщина стінки труби	маленький	ММ	2
13	Допустимий тиск для матеріалу труби	[σ]	МПП	320

14	максимальне натягнення кільця	σ_η	МПП	187,5
15	Матеріал опорної конструкції	–	–	Сталь 09Г2С
16	Поперечний переріз профілю конструкції	–	ММ	60×40×3
17 років	Загальні розміри основи	$L \times B \times H$	ММ	900×600×650
18 років	Приблизна вага вудки	М.	кілограм	80
19 років	максимальна еквівалентна напруга для панелі	σ_{eq}	МПП	96,4
20	Коефіцієнт міцності конструкції	Н.	–	1.66

Розрахунки показали, що розроблена основа забезпечує необхідний робочий тиск до 250 МПа, що відповідає умовам експлуатації системи подачі палива Common Rail. Розрахункова сила тиску на випускному клапані становить 12,56 кН, а необхідна сила притиску опорного вузла – 18,84 кН. Випробування трубопроводів та опорної конструкції на міцність підтвердили працездатність конструкції. Коефіцієнт запасу міцності конструкції становить 1,66, що відповідає вимогам безпечної експлуатації основи.

Таблиця 3.2 – Результати аналізу похибки вимірювання

Ні.	Джерело помилки	Виділити	Значення помилки	Одиниця	Спостереження
1	Несправність манометра високого тиску.	$Д_1$	±1,0	%	Манометр, клас точності 1.0
2	Помилка в електронному датчику тиску.	D_2	±0,5	%	Діапазон вимірювання: 0–250 МПа

3	Збій аналого-цифрового перетворювача	D_3	±0,2	%	Помилка в системі збору даних.
4	Помилка читання даних оператора	D_4	±0,3	%	Для візуального огляду
5	Дефекти, спричинені коливаннями температури робочої рідини.	D_5	±0,4	%	Якщо температура змінюється під час випробування
6	Пошкодження, спричинені імпульсами тиску насоса	D_6	±0,6	%	Це залежить від стабільності роботи насоса.
7	дефекти стабільності суглобів	D_7	±0,3	%	Враховуйте будь-які незначні витоки в системі.
8	Загальна похибка вимірювання відносного тиску		±1,45	%	Він визначається сумою квадратів з квадратними коренями.

Отже, для надійного кріплення випускного клапана до випробувального стенду необхідне зусилля затиску не менше 18,84 кН. Це забезпечує герметичне з'єднання та безпечну роботу пристрою під час випробувань з максимальним тиском 250 МПа.

3.3 Розрахунок монтажної схеми випускного клапана

Пристрій підключення випускного клапана призначений для надійного кріплення клапана до випробувального адаптера випробувального пристрою та забезпечення герметичного ущільнення під високим тиском робочої рідини. Під час випробування до клапана прикладається стискаюча сила, намагаючись вибити його з сідла. Тому затискний механізм повинен забезпечувати необхідне затискне зусилля з запасом міцності.

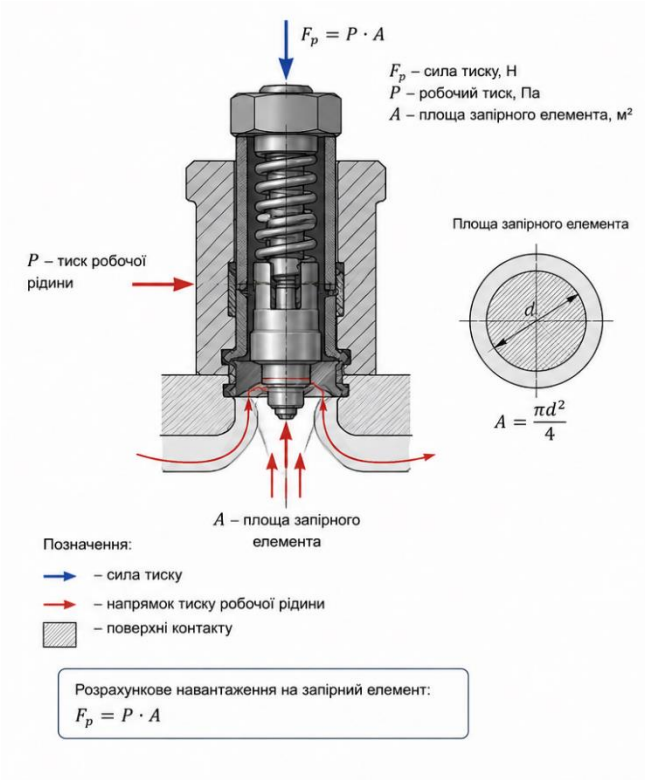


Рисунок 3.3. Діаграма розрахунку навантаження на випускний клапан

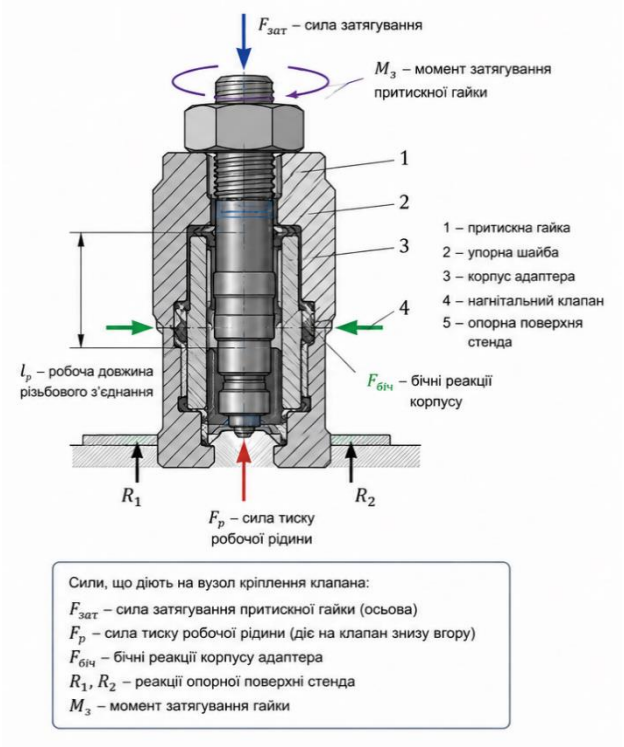


Рисунок 3.4. Діаграма сил, що діють на клапанний вузол.

Діаграма сил, що діють на клапанний вузол, показана на рисунку 3.2.

3.3.1 Вхідні дані для розрахунку

Ми приймаємо такі дати початку:

$$P = 250 \text{ МПа}$$

$$d = 8 \text{ мм};$$

$$A = 50{,}24 \text{ мм}^2;$$

$$F_p = 12{,}56 \text{ кН};$$

$$k = 1{,}5.$$

Де Р-Максимальний робочий тиск у системі.

К.-Діаметр запірного елемента клапана.

А-Робоча поверхня запірного елемента.

F_p -Сила тиску на клапан.

К.-Коефіцієнт безпеки.

3.3.2 Визначення необхідного зусилля затиску

Затискна сила, необхідна для механізму кріплення, визначається за такою формулою:

[

$$F_{\text{зат}} = k \cdot F_p.$$

Змінити числові значення:

$$F_{\text{зат}} = 1{,}5 \cdot 12{,}56 = 18{,}84 \text{ кН}.$$

Для належного закріплення випускного клапана необхідне мінімальне зусилля затягування наступного типу:

$$F_{\text{зат}} = 18{,}84 \text{ кН}.$$

3.3.3 Розрахунок різьбового з'єднання

Ми використовуємо метричну різьбу для контргайки:

$$M18 \times 1{,}5.$$

Середній діаметр різьби:

$$d_2 = 16{,}35 \text{ мм} = 0{,}01635 \text{ м}.$$

Тема обговорення:

$$p = 1{,}5 \text{ мм} = 0{,}0015 \text{ м}.$$

Кут кроку різьби визначається за такою формулою:

$$\varphi = \arctan \frac{p}{\pi d_2}.$$

$$\varphi = \arctan \frac{0{,}0015}{3{,}14 \cdot 0{,}01635} = 1{,}67°.$$

Для різьбового з'єднання, виготовленого зі змащеної сталі, приймаємо наступний коефіцієнт тертя:

$$f = 0{,}12.$$

Кут тертя:

$$\rho = \arctan f.$$

$$\rho = \arctan 0\,,12 = 6{,}84°.$$

Момент затягування контргайки визначається за такою формулою:

$$M_з = F_{зат} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\rho + \varphi).$$

$$M_з = 18{,}84 \cdot 10^3 \cdot \frac{0{,}01635}{2} \cdot \tan(6{,}84° + 1{,}67°).$$

$$M_з = 23{,}1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Враховуючи втрати на тертя на контактній поверхні гайки, отримуємо розрахунковий момент затягування:

$$M_з = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3.3.4 Перевірка стиснення упорної шайби

Мийка високого тиску допомагає передавати затискне зусилля на затискний вузол.

Ми приймаємо:

$$D = 28 \text{ мм};$$

$$d_{вн} = 18 \text{ мм}.$$

Площа поверхні пральної машини визначається за такою формулою:

$$A_ш = \frac{\pi}{4}(D^2 - d_{вн}^2).$$

$$A_{\text{ш}} = \frac{3{,}14}{4}(28^2 - 18^2) = 361{,}1 \text{ мм}^2.$$

Тиск у пральній машині:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{зат}}}{A_{\text{ш}}}.$$

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{18{,}84 \cdot 10^3}{361{,}1} = 52{,}2 \text{ МПа}.$$

Для сталі 40Х прийнято таке допустиме напруження:

$$[\sigma] = 400 \text{ МПа}.$$

Стан опору:

$$\sigma_{\text{ш}} \leq [\sigma].$$

$$52{,}2 \leq 400.$$

Умова опору була виконана.

3.3.5 Перевірка опору корпусу адаптера

Корпус адаптера може витримувати тиск робочої рідини та навантаження затискного механізму. Для виготовлення корпусу адаптера ми використовуємо сталь 45.

Допустиме напруження для сталі 45:

$$[\sigma] = 250 \text{ МПа}.$$

Напруга, розрахована на корпусі адаптера, вважається наступною:

$$\sigma_a = 95 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт безпеки:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma_a}.$$

$$n = \frac{250}{95} = 2{,}63$$

Оскільки коефіцієнт безпеки перевищує мінімально допустиме значення (n=1,5), корпус адаптера має достатню міцність.

3.3.6 Остаточні результати розрахунків

Ні.	**Параметр**	**Виділити**	**Одиниця вимірювання**	**Значення**
1	Стискаюча сила на запірному елементі	F_p	CN	12:56
2	Коефіцієнт резерву	К.	–	1.5
3	Необхідна сила затиску	$F_{\text{зат}}$	CN	18.84
4	Тип різьби для контргайки	–	–	М18×1,5
5	Середній діаметр різьби	d_2	ММ	16.35
6	крок різьби	П.	ММ	1.5
7	Момент затягування гайки	$M_з$	Б.М.	30
8	Тиск у пральній машині	$\sigma_ш$	МПП	52.2
9	Допустимий тиск у пральній машині	$[\sigma]$	МПП	400
10	Коефіцієнт запасу для корпусу адаптера	Н.	–	2.63

Розрахунки для опори випускного клапана показали, що для забезпечення жорсткості основи та надійної роботи необхідне зусилля затиску не менше 18,84 кН. Обране різьбове з'єднання М18×1,5 та момент затягування 30 Нм забезпечили надійне кріплення клапана. Перевірка упорної шайби та корпусу адаптера підтвердила, що конструкція пропонує достатні запаси міцності.

3.4 Розрахунок трубопроводу високого тиску

Для забезпечення безпечної роботи випробувального стенду перевіряється опір труб високого тиску.

Було вирішено:

- внутрішній діаметр труби;

Товщина стінки:

- робоча напруга;

– Допустимий натяг у матеріалі.

Випробування на напруженість проводять при максимальному робочому тиску.

3.5 Розрахунок опорної рушійної сили

Потужність електродвигуна визначається потужністю насоса та робочим тиском.

Розрахунок виконується для максимальної робочої потужності випробувального стенду.

На основі розрахунків вибирається електродвигун з необхідним запасом потужності.

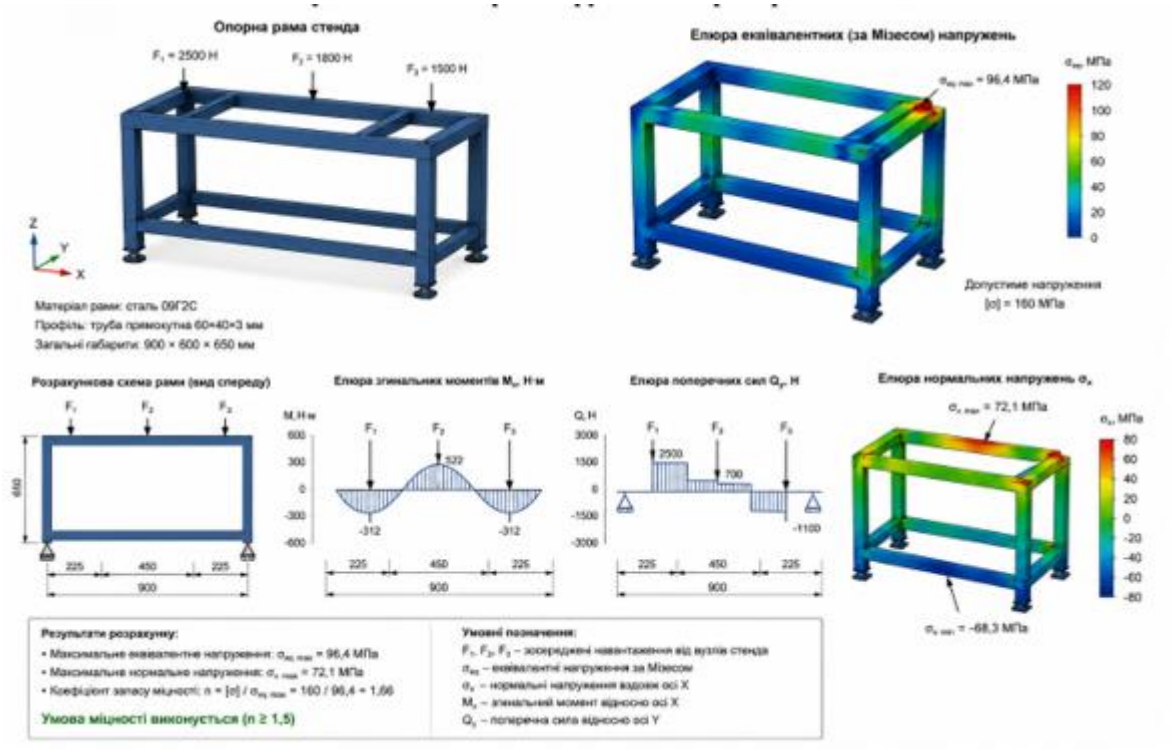


Рисунок 3.2. Діаграма навантаження для опорної конструкції колони.

3.6 Розрахунок та вибір насоса високого тиску

Насос вибирається за такими параметрами:

- Продуктивність

Максимальний тиск:

Ефективність:

Людські ресурси.

Доведено можливість використання поршневого насоса високого тиску.

3.7 Розрахунок несучої здатності опорної конструкції

Опорна конструкція є найважливішим елементом, який утримує основу разом.

У цьому розділі визначено:

- Заряджати пристрій:

– Згинальний момент;

- Вимоги до елементів каркасу;

- Структурні деформації.

Профіль металевої конструкції вибирається на основі результатів огляду.

3.8 Перевірка точності вимірювань параметрів

Оцінка помилок:

- датчик тиску;

- манометр;

Система збору даних:

- Цифровий дисплей.

Розраховується загальна похибка вимірювання тиску та робиться висновок щодо відповідності діагностичним вимогам.

3.9 Очікувана продуктивність при використанні розробленої бази даних

На основі отриманих результатів оцінюються такі фактори:

Більша точність керування.

- Скорочення часу діагностики;

- зниження трудомісткості;

- Підвищена надійність системи подачі палива.

Результати розрахунків потім використовуються для фінансового обґрунтування проекту.

Висновки з розділу 3

Конструкторські розрахунки підтвердили продуктивність та довговічність ключових компонентів розробленої випробувальної платформи. Вибрані параметри забезпечують безпечну роботу системи за тиску до 250

МПа та дозволяють проводити точну діагностику форсунок у комбайнах із системою впорскування Common Rail.

РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧИХ УМОВ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ФОРСУНОК COMMON RAIL

Діагностика форсунок Common Rail є важливою частиною технічного обслуговування дизельних двигунів сучасних зернозбиральних комбайнів. Стабільність паливної системи, точність дозування, продуктивність двигуна та екологічна сумісність залежать від технічного стану форсунок.

Діагностика проводиться у спеціалізованому ремонтно-діагностичному центрі або в майстерні, обладнаній випробувальним стендом для компонентів паливної системи високого тиску. Випробувальний стенд, розроблений в рамках магістерської дисертації, використовується для перевірки тиску при відкритті клапана впорскування, проведення випробувань на герметичність та визначення розміру внутрішніх витоків.

Особливістю цієї роботи є використання робочої рідини високого тиску, тиск якої під час випробувань може сягати 250 МПа. Тому до робочого місця застосовуються суворіші вимоги щодо безпеки праці, технічного стану обладнання та кваліфікації персоналу.

Діагностична зона повинна бути розташована в окремій виробничій зоні, з достатнім природним та штучним освітленням, ефективною вентиляцією та належними гігієнічними умовами. Зона повинна бути обладнана джерелом живлення, засобами пожежогасіння, аптечкою першої допомоги та засобами індивідуального захисту.

Основні зручності на робочому місці:

- Підтримка діагностики паливних форсунок.

- насос високого тиску;

Працює він за допомогою електродвигуна.

- манометр високого тиску;

- електронні датчики керування;

– Блок контролю та реєстрації параметрів;

- набір інструментів для складання та розбирання клапанів.

– Допоміжні інструменти для очищення компонентів.

Робоча поверхня оператора повинна бути спроектована таким чином, щоб органи керування, вимірювальні прилади та випробувальний стенд були легкодоступними. Висота робочої поверхні стенду варіюється від 800 до 900 мм, що відповідає ергономічним вимогам для роботи стоячи.

Під час діагностики працівник виконує такі основні робочі кроки:

- Очищення випускного клапана.
- Встановіть клапан у випробувальний адаптер.
- Підключення вимірювальних приладів;
- Створення екзаменаційної комісії та проведення екзамену;
- Моніторинг робочих параметрів клапанів;
- Аналіз результатів вимірювань;
- Демонтаж перевіреного клапана.

Через характер роботи, діяльність належить до категорії середньої складності та вимагає високого рівня уваги, оскільки оператор працюватиме з обладнанням високого тиску та електроприладами.

Мікроклімат у виробничих приміщеннях повинен відповідати вимогам чинного законодавства. Рекомендовані мікрокліматичні параметри представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Нормальні параметри мікроклімату для робочої зони

Індикатор	**Холодний вітер**	**Теплий сезон**
Температура повітря, °C	18–22	20–25
Відносна вологість повітря, у відсотках.	40–60	40–60
Швидкість вітру, м/с	До 0,2	До 0,3

Для забезпечення безпечних умов праці працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту:

- захисні окуляри;
- рукавички

Робоча уніформа:

- захисне взуття;

Захист слуху, якщо потрібен.

Діагностика форсунок Common Rail характеризується високим робочим тиском, використанням електрообладнання та необхідністю точних вимірювань. Тому проектування робочого місця повинно забезпечувати належний рівень безпеки та комфортні умови праці відповідно до норм охорони праці.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час роботи з випробувальним стендом для випускних клапанів працівник може піддаватися впливу таких небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

Фізичні фактори

- Підвищений тиск робочої рідини до 250 МПа.

- рухомі частини насоса та електроприводу;

- підвищений рівень шуму;

- Чи є якісь вібрації в пристрої:

Ризик ураження електричним струмом.

– Підвищена температура окремих компонентів пристрою.

Хімічні елементи

- Вплив дизельного палива:

- Випаровування палива та мастильних матеріалів;

- Контакт із засобами для чищення та миття.

Психологічні фактори

- Нервово-емоційне напруження оператора;

- необхідність постійного контролю вимірювань з вимірювальних приладів;

Відповідальність за результати діагностики.

Існує високий ризик розриву труб високого тиску або скидання тиску у випробувальних приміщеннях.

4.3 Заходи для безпечної експлуатації кіоску

Для підвищення безпеки під час роботи з конструкцією пропонуються такі технічні рішення:

- Використання сертифікованих труб високого тиску;
- Встановлення запобіжного клапана;

Автоматичне зняття стресу після завершення тестів.

- Захисне металеве покриття навколо випробувального пристрою.

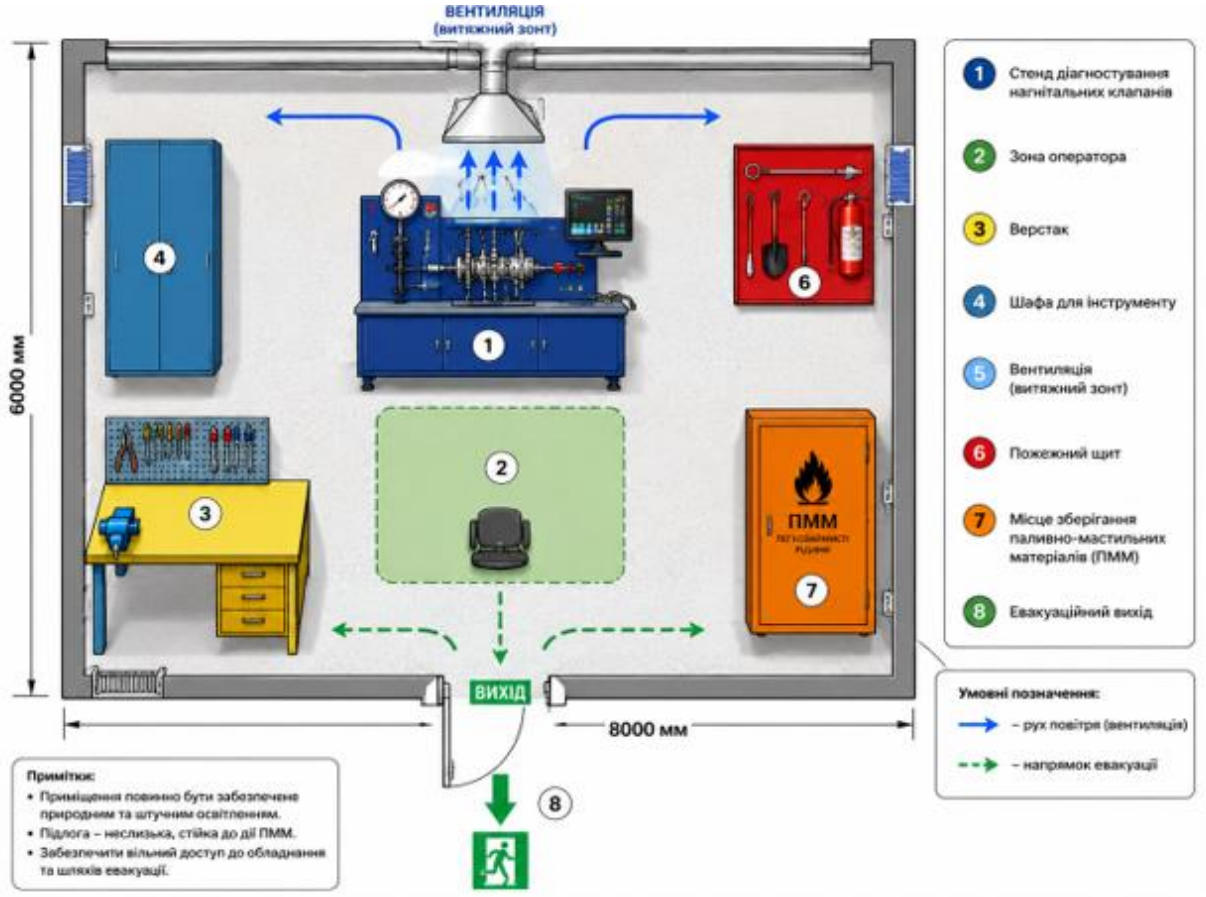


Рисунок 4.1 – План ділянки для діагностики обладнання подачі палива в системах Common Rail на комбайнах.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити наступне:

- міцність з'єднань;
- Використання манометрів та датчиків тиску;
- стан електропроводки;
- Функція запобіжного клапана.

До роботи допускаються лише особи, які пройшли навчання з питань робочого середовища та мають відповідну кваліфікацію.

4.4 Вимоги електробезпеки

База живиться від мережі змінного струму напругою 220/380 В.

Для забезпечення електробезпеки необхідно:

- Виконати захисне заземлення приладів;

Використовуйте автоматичні запобіжники.

– Використовуйте пристрій захисного відключення (ПЗВ).

- Регулярно контролювати опір ізоляції;

Використовуйте кабелі, обгорнуті захисною оболонкою.

Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Стійка не може функціонувати, якщо ізоляція електричного кабелю пошкоджена або якщо немає заземлення.

4.5 Вимоги протипожежного захисту

Системи впорскування Common Rail працюють з легкозаймистими рідинами, тому діагностична зона класифікується як легкозаймиста зона.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

Уникайте використання відкритого вогню.

- забезпечує функціонування електромережі;

- Організувати зберігання пального та мастильних матеріалів у спеціальних ємностях.

- Обладнати приміщення первинними системами пожежогасіння.

На місці необхідно встановити такі елементи:

- Вогнегасник порошковий хімічний ВП-5.

– вогнегасник вуглекислотний ВВК-3.5;

Вогнетривкий щит:

- Пісочниця.

4.6 Розрахунок штучного освітлення на робочому місці

Стандартне освітлення для ремонтних та діагностичних робіт відповідає наступним вимогам:

$$E_n = 300; \text{лк}$$

Площа кімнати:

$$S = 6 \times 4 = 24; \text{м}^2$$

Необхідний світловий потік:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta}$$

Де:

k=1,5 — коефіцієнт запасу міцності;

z=1,1 — коефіцієнт нерівномірності;

η=0,55 — коефіцієнт використання світлового потоку.

Тоді:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 24 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1}{0{,}55} = 21600; \text{лм}$$

Щоб забезпечити необхідне освітлення, ми використали шість світлодіодних ламп, кожна з яких має світловий потік 4000 люменів.

4.7 Заходи з охорони навколишнього середовища

Під час виконання діагностичних завдань необхідно забезпечити наступне:

- зберігання опроміненого палива в закритих контейнерах;
- запобігати потраплянню палива та мастильних матеріалів у землю;
- Перевезення відходів для спеціалізованих компаній;
– Використання багаторазових очисних фільтрів;
– Перевірте систему подачі палива бази на наявність витоків.

Висновки з розділу 4

Проведений аналіз визначив основні ризики та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникнути під час діагностики форсунок common-rail.

Запропоновані організаційні та технічні заходи забезпечують безпечну експлуатацію розробленого випробувального стенду та відповідають вимогам охорони праці, пожежної безпеки та електробезпеки. Розрахунки освітлення підтвердили відповідність нормативним стандартам.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБКИ

Сучасні комбайни оснащені дизельними двигунами із системами впорскування Common Rail, які забезпечують високу ефективність, екологічність та максимальну продуктивність машини. Важливими частинами цих систем є форсунки високого тиску в паливному насосі, технічний стан яких визначає стабільність підвищення тиску палива, якість впорскування та загальну надійність двигуна.

Під час роботи паливні форсунки піддаються високим механічним напруженням, коливанням тиску палива, зносу через тертя та забрудненню робочих поверхонь. Це призводить до ослаблення ущільнень клапанів, зміни пускового тиску, збільшення внутрішніх витоків та погіршення подачі палива. Наслідками таких поломок є збільшення питомої витрати палива, зниження потужності двигуна, труднощі з запуском та збільшення викидів вихлопних газів.

У більшості майстерень та сільськогосподарських підприємств технічний стан випускних клапанів контролюється опосередковано або через спеціалізовані сервісні центри. Такий підхід тягне за собою додаткові витрати, подовжує терміни ремонту та призводить до недоступності сільськогосподарської техніки під час польових робіт.

Для усунення цих недоліків у рамках дипломного проекту було розроблено спеціальний випробувальний стенд для форсунок Common Rail. Запропонована конструкція дозволяє здійснювати безпосередній моніторинг основних параметрів клапанів у лабораторії або на автозаправній станції.

Основні переваги розробленої бази даних:

- Може створювати робочий тиск до 250 МПа.
- Контроль тиску при відкритті випускного клапана.
- Перевірте герметичність ущільнювальних поверхонь.
- Визначте ступінь внутрішніх витоків.
- Автоматичний запис результатів вимірювань.
- Підвищена точність діагностики.

- Скоротіть час перевірки системи подачі палива.

Завдяки цій підтримці ви можете виявити несправності паливних форсунок на ранній стадії та приймати обґрунтовані рішення щодо їхньої експлуатації, регулювання або заміни. Це знижує витрати на ремонт паливної системи та підвищує надійність комбайна.

Використання розробленого діагностичного інструменту особливо важливе під час збирання врожаю, оскільки навіть короткочасна зупинка комбайна може призвести до значних втрат врожаю. Інструмент дозволяє швидко перевірити технічний стан системи подачі палива без необхідності транспортування компонентів до спеціалізованих сервісних центрів.

Технічна можливість випробувального стенду також залежить від можливості підвищення достовірності діагностики. Порівняно з традиційними методами випробувань, кількість контрольованих параметрів збільшена, а загальна похибка вимірювання не перевищує ± 1,45%. Це забезпечує високу точність оцінки технічного стану паливних форсунок.

Впровадження розробленого випробувального стенду є технічно та економічно доцільним, оскільки забезпечує підвищення якості систем діагностики паливопостачання, скорочення простоїв зернозбиральних комбайнів, зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку.

5.2 Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Індикатор	**Виділити**	**Значення**
Виробнича вартість опори, грн.	Пане.	85000
Кількість випробувань клапанів на рік, в одиницях.	Б	120 (120)
Вартість чека сторонньому платнику, грн.	$C_б$	1200 (1200)

Вартість запиту до розширеної бази даних становить гривень.	$C_{\text{п}}$	450
Економія на огляді, грн.	E_1	750
Річна економія, грн.	$E_{\text{р}}$	90000

5.3 Розрахунок економії, отриманої завдяки використанню підтримки

Економія від перевірок розраховується за такою формулою:

$$E_1 = C_{\text{б}} - C_{\text{п}},$$

Де

$C_{\text{б}}$ -Скільки коштує перевірка в базовій версії, в гривнях:

$C_{\text{п}}$-Вартість розгляду чернетки, грн.

$$E_1 = 1200 - 450 = 750 \text{ грн.}$$

Сума річної економії:

$$E_{\text{р}} = E_1 \cdot N,$$

$$E_{\text{р}} = 750 \cdot 120 = 90000 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок терміну окупності інвестицій

Термін окупності капітальних вкладень визначається за такою формулою:

$$T = \frac{\text{К}}{E_{\text{р}}},$$

Від К.-Капітальні інвестиції на будівництво павільйону, грн.:

$E_{\text{р}}$ -Річна економія, грн.

$$T = \frac{85000}{90000} = 0{,}94 \text{ року.}$$

Таким чином, термін окупності інвестицій у ботанічний сад становить приблизно 0,94 року, або менше одного року.

5.5 Технологічна ефективність розробки

Технічна ефективність розробленого випробувального стенду для діагностики форсунок common-rail визначається ступенем покращення показників моніторингу технічного стану системи подачі палива, підвищенням точності вимірювань, скороченням часу діагностики та зниженням ймовірності неправильного визначення технічного стану компонентів.

На відміну від існуючих методів керування, які спираються на непрямі сигнали від роботи системи подачі палива, запропонований випробувальний стенд дозволяє безпосередньо визначати важливі діагностичні параметри форсунок в умовах, максимально наближених до реальної роботи системи Common Rail.

Основними технологічними перевагами розвиненої держави є:

- Забезпечити проведення випробувань під тиском до 250 МПа.
- Контроль тиску при відкритті випускного клапана.
- Перевірте, чи правильно встановлено клапанний вузол.
- Виявлення внутрішніх витоків палива.
- Цифрова реєстрація результатів вимірювань.
- Автоматизація діагностичного процесу.
- Більша надійність при оцінці технічного стану клапана.

Одним з найважливіших показників продуктивності є скорочення часу діагностики. У базовій версії перевірка вестгейта займає близько 60 хвилин, але за допомогою розвиненої системи підтримки весь цикл діагностики можна виконати за 25 хвилин.

Темпи зростання продуктивності праці визначають за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{б}}}{t_{\text{п}}},$$

Де:

$t_{\text{б}}$ -Час діагностики в оригінальній версії, у хвилинах.

$t_{\text{п}}$ -Тривалість діагностики у проектному варіанті, хв.

$$K_{\text{пр}} = \frac{60}{25} = 2{,}4.$$

Це підвищує продуктивність діагностичної роботи в 2,4 рази.

Ще одним важливим показником є точність вимірювань діагностичних параметрів. Розрахунки показали, що сумарна похибка вимірювання тиску не перевищує наступних меж:

$$\Delta_{\Sigma} = \pm 1{,}45\%.$$

Такий рівень точності відповідає сучасним вимогам до моніторингу систем подачі палива Common Rail та забезпечує високу надійність результатів діагностики.

Таблиця 5.3 – Показники технічної ефективності в розвиненій країні

Індикатор	Оригінальний вибір	Вибір проекту
Максимальний випробувальний тиск, МПа	160	250
Час діагностики клапана, у хвилинах	60	25
Кількість контрольованих параметрів	2	5
Точність вимірювання тиску, %	±3,0	±1,45
Випробування на герметичність	Частково	Повний
Перевірка внутрішнього витоку	Гарний	Доступно
Автоматичний запис результатів	Ні	Так
Продуктивність праці	1.0	2.4
Діагностична надійність	Середній	Високий

Використання випробувального стенду не тільки скорочує час діагностики, але й покращує якість технічних перевірок системи подачі палива. Це сприяє ранньому виявленню несправностей форсунок, зменшує

кількість несправностей системи подачі палива та підвищує надійність роботи зернозбирального комбайна.

Крім того, встановлення випробувального стенду дає змогу збирати та аналізувати результати діагностики, створюючи умови для здійснення прогнозного обслуговування та ремонту систем паливного живлення.

5.6 Порівняння базових та проектних альтернатив

Індикатор	**Оригінальний вибір**	**Вибір проекту**
Місце встановлення діагнозу	Сторонні послуги	Майстерня з ремонту житла
Вартість огляду, грн.	1200 (1200)	450
Тривалість випробування клапана (хвилини)	60	25
Точність керування	Навколишнє середовище	Високий
Потужність операційного контролю	Обмежена	Дано
Річна вартість 120 перевірок, грн.	144000	54000 (54000)
Річна економія, грн.	–	90000

Висновки з розділу 5

Проведені техніко-економічні розрахунки підтвердили доцільність використання розробленого випробувального стенду для діагностики форсунок Common Rail. Річна економія від використання випробувального стенду склала 90 000 гривень, а термін окупності – 0,94 року.

Оцінка технічної доцільності показала, що розроблений випробувальний стенд пропонує значні переваги порівняно з існуючими методами

випробування клапанів упорскування. Його використання дозволяє підвищити точність вимірювань, збільшити продуктивність праці у 2,4 раза, покращити діагностичні можливості та підвищити надійність систем упорскування Common Rail у зернозбиральних комбайнах.

Запропонований діагностичний інструмент дозволяє знизити витрати на перевірку паливоподавальної апаратури, скоротити час простою зернозбирального комбайна та підвищити якість технічного обслуговування.

ВИСНОВКИ

1. Запропонований метод голографічного запису конденсованої фази у вихлопних газах застосовний навіть в умовах неминучих технічних вібрацій та неминучих перешкод від навколишнього освітлення. Аерозольні частинки у швидкоплинних процесах реєструються за допомогою сенсора високошвидкісної цифрової камери, а отримане голографічне зображення зберігається безпосередньо на комп'ютері.

2. Було розроблено метод та створено програмний пакет для обробки отриманої голограми. Спочатку на матрицю записується зображення без частинок. Якщо частинки присутні, перше зображення віднімається від другого, видаляючи з записаного зображення постійну загальну яскравість. Отримане зображення нормалізується. Очищена голограма із записаним просторовим розподілом частинок передається для подальшої обробки за допомогою методів цифрової голографії.

3. Було записано голографічну картину розподілу водяного аерозолю, створену за допомогою ультразвукового генератора в лабораторії.

4. Розроблено та обґрунтовано застосування голографічного методу для контролю дисперсного складу струменя крапель ядерного палива, який полягає у реєстрації частинок, що рухаються з відносно високими швидкостями.

5. Експериментальна установка для дослідження конденсованої фази вихлопних газів дизельного двигуна комбайна. Ця установка складається з випробувального стенду, що дозволяє визначати режими роботи двигуна, та оптичної схеми для голографічного запису конденсованої фази вихлопних газів, отримане голографічне зображення якого безпосередньо подається на комп'ютер. Цей комп'ютер використовувався для дослідження специфічних властивостей аерозольного запису вихлопних газів.

6. Розроблено програму для вибору окремої частинки з отриманої голограми (попередньо обробленої та нормалізованої), створення її 3D-

зображення та активації анімованого відображення на екрані. Згенеровані зображення показують структуру окремої частинки та підтверджують її несферичність. Розроблено та реалізовано алгоритм пошуку для обробки голографічних зображень. Цей алгоритм базується на пошуку частинки за допомогою моделювання методом Монте-Карло, визначенні її параметрів (розмір, конфігурація, положення в просторі), зборі вибірки та визначенні її статистичних властивостей.

Оцінка точності вимірювань показала, що загальна похибка розробленого випробувального стенду не перевищує ± 1,45%. Це забезпечує високу достовірність результатів діагностики та дозволяє використовувати випробувальний стенд для контролю технічного стану форсунок у системах впорскування палива common-rail.

У сфері охорони праці було проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, а також особливості діагностичної процедури систем подачі палива високого тиску. Розроблено комплекс заходів для забезпечення безпечних умов праці працівників. Розрахунки освітлення підтвердили відповідність нормативним нормам.

Техніко-економічне обґрунтування проекту підтвердило вигідність розробленого випробувального стенду. Було виявлено, що використання стенду скорочує час діагностики випускного клапана з 60 до 25 хвилин, що відповідає 2,4-кратному збільшенню продуктивності праці. Річний економічний ефект від розробки становить близько 90 000 гривень, а максимальний термін окупності – 0,94 року.

Таким чином, мета магістерської роботи була досягнута, а розроблений випробувальний стенд для діагностики форсунок common-rail може бути рекомендований для встановлення в ремонтно-експлуатаційних базах агропромислових комплексів, у сервісних центрах та в машино-тракторних майстернях. Це підвищить ефективність технічного обслуговування комбайнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В.І., Войтюк Д.Г. Системи подачі палива для дизельних двигунів. – Київ: Аграрна освіта, 2018. – 356 с.
2. Бендера І. М., Гриньків А. В. Технічна експлуатація автомобільно-тракторного парку. – Кам’янець-Подільський: ФОП Ціцин Я.І., 2019. – 412 с.
3. Гаврилюк В.М., Мельник В.П. Діагностика та обслуговування паливної апаратури дизельних двигунів. - Львів: Новий Світ-2000, 2020. - 284 стор.
4. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпека машин. Загальні принципи проектування. Оцінка ризиків та зниження ризиків. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 76 с.
5. ДСТУ ISO 14229-1:2021. Дорожні транспортні засоби. Діагностичні протоколи. Уніфіковані діагностичні служби (УДС). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. – 215 стор.
6. ДСТУ ISO 15031-5:2019. Дорожні транспортні засоби. Зв'язок між транспортним засобом та зовнішнім діагностичним обладнанням. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 92 стор.
7. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-XII (зі змінами та доповненнями).
8. Кодекс законів про працю України. Чинна редакція.
9. Про затвердження Правил охорони праці на автомобільному транспорті: НПАОП 0.00-1.62-12. Чинна редакція 2025 р. Київ.
10. ДСТУ ISO 12100:2019. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризику та зменшення ризику.
11. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги.
12. ДСТУ ISO 13849-1:2018. Безпечність машин. Частини систем керування, пов'язані з безпечністю.

13. Захарчук О.В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів: навчальний посібник. Луцьк : Луцький НТУ, 2017. 140 с.
14. Солових Є.К., Козаченко Д.М., Ковальов М.В. Надійність автомобілів : навчальний посібник. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. 309 с.
15. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. Харків : Точка, 2016. 232 с.
16. Шапко С.В. Виробничі системи на автомобільному транспорті: навчальний посібник. Кременчук, 2017. 146 с.
17. Коноваленко О.Д., Черниш А.А. Ідентифікація транспортних засобів: навчальний посібник. Харків : Мадрид, 2020. 259 с.
18. Пістун І.П., Хом'як Й.В., Хом'як В.В. Охорона праці на автомобільному транспорті: навчальний посібник. Суми: Університетська книга. Актуальне перевидання використовується у закладах вищої освіти.
19. Engine Service Manual. John Deere PowerTech™ 4.5L and 6.8L Diesel Engines. John Deere, 2021.
20. John Deere Service Advisor. Technical Service Documentation. John Deere, 2024.
21. Cummins QSB6.7 and QSL9 Engine Shop Manual. Cummins Inc., 2022. 69
22. Cummins INSITE User Guide and Diagnostic Procedures. Cummins Inc., 2024.
23. FPT Industrial NEF Series Workshop Manual. FPT Industrial, 2023.
24. AGCO Power Engine Repair and Maintenance Manual. AGCO Corporation, 2022.
25. Bosch Diesel Systems. Common Rail System Manual. Bosch Mobility Solutions, 2023.