

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

Рівень вищої освіти

Розробка стенду для діагностики та налаштування форсунок дизельних  
двигунів в умовах ТОВ НВА «Перлина Поділля»

Тема роботи

Галузь знань – 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

Шифр \_\_\_\_\_

Виконав студент 4 курсу, група АІ-21-1 \_\_\_\_\_ Коновал Д.В.

Підпис

Прізвище

Керівник від кафедри

Нормоконтролер

Курской В.С., доц., к.т.н.

Лук'янюк М. В., доц., к.т.н.

Прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь

Прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь

\_\_\_\_\_  
Підпис

\_\_\_\_\_  
Підпис

До захисту допускаю: зав. кафедрою \_\_\_\_\_ Мартинюк А.В.

Підпис

Прізвище

Хмельницький 2025

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

Рівень вищої освіти

Розробка стенду для діагностики та налаштування форсунок дизельних  
двигунів в умовах ТОВ НВА «Перлина Поділля»

Тема роботи

Галузь знань – 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

Шифр \_\_\_\_\_

Виконав студент 4 курсу, група АІ-21-1



Коновал Д.В.

Підпис

Прізвище

Керівник від кафедри

Нормоконтролер

Курской В.С., доц., к.т.н.

Лук'янюк М. В., доц., к.т.н.

Прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь

Прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь



Підпис

Підпис

До захисту допускаю: зав. кафедрою



Мартинюк А.В.

Підпис

Прізвище

Хмельницький 2025

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

Рівень вищої освіти – *бакалавр*

Галузь знань – *20 «Аграрні науки та продовольство»*

Спеціальність – *208 «Агроінженерія»*

Освітня програма – *«Агроінженерія»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.2025

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Коновал Дмитро

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи *Розробка стенду для діагностики та налаштування форсунок дизельних двигунів в умовах ТОВ НВА «Перлина Поділля»*

Керівник проєкту Курской Володимир Сергійович, доц., к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від \_\_\_\_\_ 2025 р. № \_\_\_\_\_

2 Термін подання студентом проєкту (роботи) на кафедру \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

6 Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапу (розділу) дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапу проєкту (роботи)	Примітка
1		
2		
3		
...		

Студент \_\_\_\_\_

Коновал Д.В.

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник проєкту (роботи) \_\_\_\_\_ В.С. Курской

Підпис Ініціали, прізвище

## Анотація

У ході виконання дипломної роботи було вирішено завдання розробки тестувального стенду для перевірки та регулювання дизельних форсунок класичного типу, з урахуванням умов експлуатації в сільськогосподарському підприємстві ТОВ НВА «Перлина Поділля».

На основі аналізу існуючих конструкцій діагностичних стендів визначено доцільність використання приводу із ручним або електромеханічним накачуванням пального до робочого тиску. У якості робочого механізму обрано компактну конструкцію з плунжерним насосом, здатну створювати тиск до 200 МПа, що відповідає умовам роботи форсунок тракторів. Обґрунтовано відсутність електропривода у базовій версії стенду з огляду на простоту обслуговування, енергонезалежність і зниження вартості.

Розроблено та аналітично перевірено основні параметри вузлів конструкції: розраховано потужність приводу, зусилля на плунжер, об'єм подачі палива та попередньо визначено характеристики пресостата. Проведено проєктну підготовку до моделювання в середовищі SolidWorks Simulation із метою визначення напружень та перевірки конструктивної міцності стенду.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	6
2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА .....	27
3. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	38
4. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....	43
ВИСНОВКИ.....	45
ДОДАТКИ.....	46

					<i>ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Коновал Д.В.</i>			<i>Розробка стенду для діагностики та налаштування форсунок дизельних двигунів в умовах ТОВ НВА «Перлина Поділля»</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрцівів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кірской В.С.</i>				4	1	
<i>Реценз.</i>						<i>ХНУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Лик'янюк М.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Мартинюк А.В.</i>						

## Вступ

Сучасне сільське господарство неможливо уявити без широкого використання дизельної техніки — тракторів, комбайнів, ґрунтообробних і транспортних засобів. Ефективність роботи цієї техніки напряду залежить від технічного стану паливної апаратури, зокрема дизельних форсунок, які відповідають за точне дозування та якість розпилу палива у камері згоряння. З часом експлуатації форсунки втрачають свої характеристики: знижується тиск початку впорскування, змінюється геометрія факела, можливе підтікання або заклинювання голки. Це призводить до перевитрати пального, падіння потужності двигуна, димлення та навіть до пошкодження поршневої групи. Відтак, виникає потреба у регулярній перевірці та налаштуванні форсунок, особливо в умовах сільськогосподарського підприємства, де простої техніки є критичними. Актуальність теми обумовлена відсутністю доступного, компактного, економічно доцільного стенду, здатного забезпечити повноцінну перевірку та регулювання форсунок без залучення сторонніх сервісних організацій. Метою даної дипломної роботи є розробка технологічно ефективного, безпечного в експлуатації стенду для діагностики і налаштування класичних дизельних форсунок, адаптованого до умов господарства.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання: проаналізувати конструкцію та типові несправності дизельних форсунок, розглянути існуючі типи діагностичних стендів, розробити власну конструкцію стенду з електроприводом і системою підтримання тиску, забезпечити відповідність конструкції вимогам охорони праці.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## Характеристика об'єкту

ТОВ «Науково-виробниче аграрне підприємство «Перлина Поділля» — це сільськогосподарське підприємство, розташоване в Хмельницькій області. Основними напрямками діяльності є вирощування зернових і технічних культур, а також тваринництво.

Підприємство має у своєму розпорядженні сучасний машинно-тракторний парк, який включає трактори, зернозбиральні комбайни, сівалки, обприскувачі та іншу сільськогосподарську техніку. Більшість машин обладнані дизельними двигунами, що вимагають регулярного технічного обслуговування, зокрема перевірки й налаштування паливної апаратури.

На базі господарства діє ремонтна майстерня, де виконуються планові та позапланові роботи з технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. Проте спеціалізоване обладнання для діагностики дизельних форсунок наявне частково або потребує оновлення.

## Огляд існуючих конструкцій діагностувальних стендів

Форсунки класичної (механічної) системи живлення відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної роботи дизельного двигуна, а отже потребують регулярної перевірки та налаштування. Для цього використовуються спеціалізовані діагностичні стенди. Розглянемо найбільш поширені конструкції, які застосовуються в умовах СТО, ремонтних майстерень і навчальних закладів.

### 1. Стенд типу КИ-562

Один із найпоширеніших в Україні стендів, призначений для перевірки механічних форсунок дизельних двигунів тракторів, вантажних автомобілів, сільськогосподарської техніки. Мають ручний або електропривід через

										ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
											6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

маховик, випробувальний тиск – до 40–60 МПа. Має запірний вентиль, манометр, прозорий екран для візуального контролю факела. Дозволяє перевіряти тиск початку впорскування, герметичність, якість розпилу. До переваг слід віднести простоту, ремонтпридатність, невисока вартість. Недоліки: відсутність автоматизації, залежність точності від досвіду оператора.

## 2. Стенди типу CR-переобладнані для "класики"

Деякі сучасні сервісні установки (наприклад, Bosch EPS-200 або Hartridge AVM2-PC), хоч і призначені для систем Common Rail, дозволяють встановити адаптери для механічних форсунок. Переваги: висока точність вимірювань, електронне керування, автоматичне зчитування параметрів. Недоліки: дуже висока вартість, недоцільність використання для класичних форсунок у фермерських умовах.

## 3. Стенд "ІФ-100", "ІФ-102" (старі моделі)

Це стенди радянського зразка, які зустрічаються на підприємствах донині. Мають базові функції перевірки тиску спрацьовування і розпилу. Недоліки: моральне застарівання, зношеність, обмежена ремонтна база.

## Патентний пошук

Спосіб визначення рівномірності впорскування палива форсункою закритого типу (19) KZ (13) A 4 (11)

Винахід відноситься до двигунобудування, зокрема до технічної діагностики, і може бути використаний для діагностування складальних одиниць паливної системи, що використовується в дизельних двигунах, а саме - для перевірки форсунок. Заявлений винахід спрямовано створення способу діагностування, яке мало б меншу матеріаломісткість і забезпечило б зниження трудомісткості діагностування, а також прийнятну точність і

										Арк.
										7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ

достовірність результатів діагностики шляхом отримання достатньої повторюваності тестового впливу на діагностований орган. Відомі способи для діагностування форсунок, такі як, які перевіряють форсунки на герметичність, тиск упорскування та якість розпилення палива.

Перевірка форсунки на герметичність: встановлюють номінальний тиск початку впорскування, що дорівнює 15 МПа для форсунок старої конструкції і 16.5+0'5 МПа для нових, і перевіряють герметичність запірного конуса. Герметичність запірного конуса розпилювача визначається ступенем зволоження носика розпилювача за підтримки тиску у форсунці на 1,0 МПа нижче тиску початку впорскування палива протягом 1 хв. Розпилювач непридатний до подальшої експлуатації при утворенні та відриві від його носика трьох крапель на хвилину. Перевірка форсунки на тиск упорскування: тиск упорскування або початку підйому голки форсунки перевіряють за його значенням у момент упорскування палива. Для цього ввертають до упору запірний вентиль і важелем насоса повільно підвищують тиск до 12,5 МПа, після чого підвищують його зі швидкістю 0,5 МПа в секунду і спостерігають за початком упорскування палива. У двигунів ЯМЗ-236 та ЯМЗ-238 початок упорскування палива форсункою має відбуватися при тиску 15±0,5 МПа. КІ-1609А. Перевірка форсунки на якість упорскування - якість розпилювання палива перевіряють при забезпеченні форсункою 90 ... 120 впорскування в хвилину та номінальною подачею палива: розпилене паливо має бути в туманоподібному стані. Моменти початку та кінця впорскування палива повинні супроводжуватись різкими звуками. При недотриманні зазначених умов розпилювач знімають із форсунки для ремонту або заміни.

Всі перераховані вище перевірки проводять на приладі КІ-1609А (1).

Недоліком перерахованих вище способів вимірювання є те, що вони не дозволяють оцінити якість узгодження форми, напряму, довжини струменя впорскування палива розпилювачами форсунок закритого типу.

1. У дизельних двигунів з нероздільними камерами згоряння необхідна якість об'ємного сумішоутворення досягається за рахунок ретельного

										ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
											8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

узгодження форми, напрямку, довжини струменя палива, високоякісного впорскування та багатоструменевими розпилювачами форсунок закритого типу з отворами, що розпилюють, малого діаметра ( $d=0,25\text{мм}$ ).

2. Зменшення сумарної площі (закоксування отворів) соплових отворів форсунки призводить до зростання тиску впорскування  $\Delta P_{\text{впр}}$ . Вплив стисливості палива та пружності системи, що зростають при збільшенні  $\Delta P_{\text{впр}}$  викликають збільшення тривалості впорскування  $\Delta \phi_{\text{впр}}$ .

3. Збільшення тривалості упорскування веде до подовження процесу згоряння, що знижує рівень використання тепла. Збільшення у згорянні палива та одночасне залучення великої маси палива підвищує середню швидкість наростання тиску та максимальний тиск циклу. В результаті зростає динамічна та статична навантаженість деталей кривошипно-шатунного механізму двигуна. Жорстка робота двигуна знижує його надійність та термін служби. Пропонований спосіб перевірки додаткових параметрів форсунки закритого типу можливий з використанням того ж приладу КІ-1609А, але для перевірки параметрів необхідно мати спеціальний екран розпилювання для зняття характеристик.

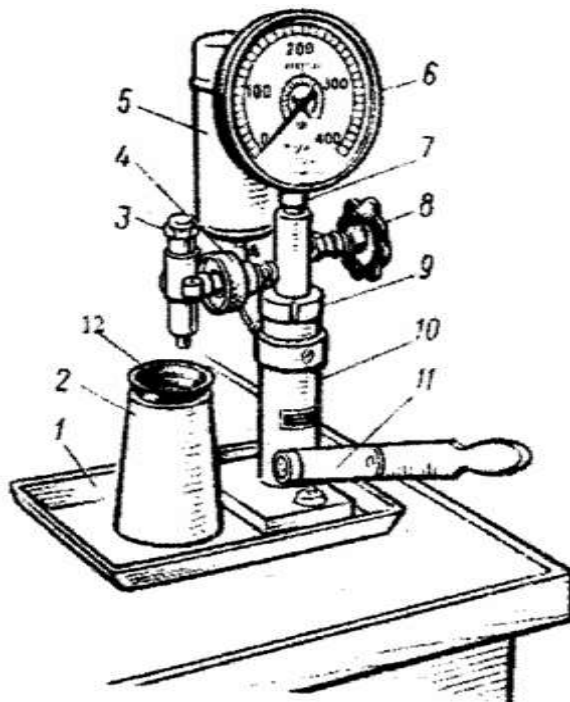


Рисунок 1.1 – Прилад КІ-1609А

						ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			9

Сутність винаходу пояснюється доданими кресленнями прилад КИ-1609А (рисунок 1.1), що складається з корпусу 10, для ємності для збору палива 2, подачі палива 8, форсунка 3, що перевіряється, спеціальний екран для зняття додаткових параметрів. Спеціальний екран (рисунок 1.2). Вимірювані параметри (рисунок 1.3) довжина упорскування; напрямки упорскування; форма упорскування.

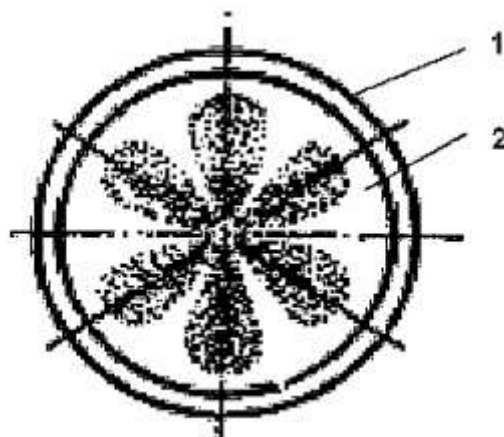


Рисунок 1.2 – Спеціальний екран

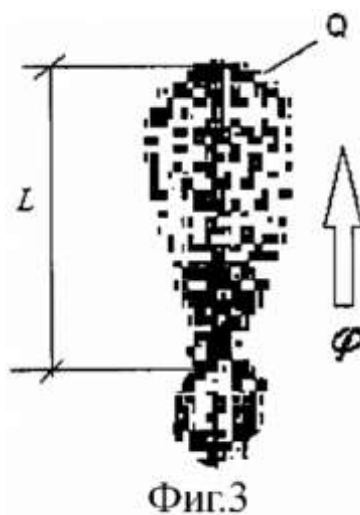


Рисунок 1.3 – Вимірювані параметри

Спосіб забезпечення рівномірності впорскування палива форсунками закритого типу, що полягає в тому, що форсунку перевіряють на герметичність, тиску і якість упорскування, що відрізняється робочого

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу (літол, консталін), встановлення ємності для збору палива і фіксування бортиками заввишки 5 мм. у якого визначають рівномірність упорскування палива. Винахідницький рівень цього способу визначається тим, що вперше запропонований спосіб оцінки працездатності форсунки за такими параметрами: довжина упорскування; напрямки упорскування; форма упорскування.

а) Винахід відноситься до способу діагностування дизельних двигунів внутрішнього згорання, зокрема - до галузі випробування та регулювання елементів паливних систем дизелів, та призначена для визначення рівномірності впорскування палива форсункою закритого типу за ретельним узгодженням форми, напряму, довжини струменя палива, високоякісного впорскування багатоструминними розпилювачами форсунок закритого типу з отворами, що розпилюють, малого діаметра ( $d=0,25\text{мм}$ ).

б) Винахід спрямовано на зниження динамічної та статистичної навантаженості деталей кривошипно-шатунного механізму двигуна, підвищення надійності та терміну служби дизельного двигуна внутрішнього згорання.

Пристрій для визначення пропускної здібності форсунок і паливопроводів високого тиску 2 542 626(13)С2

Винахід відноситься до галузі двигунобудування і може бути переважно використано у випробуваннях паливної апаратури дизельних двигунів.

Відомо пристрій для визначення пропускної здатності форсунок і паливопроводів високого тиску, що містить послідовно з'єднані між собою резервуар палива з фільтром і краном, випробовуваний паливопровід (або форсунку), мірну ємність зі шкалою, трубою нагнітальної, верхнім і нижнім кранами і посудина для збору витісненого із мірної ємності палива.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Недоліком даного пристрою є низька точність визначення ефективного прохідного перерізу форсунок та паливопроводів високого тиску, а отже, та їх пропускної спроможності через складність забезпечення постійного тиску у процесі випробування.

Пропонований винахід спрямовано на усунення зазначеного недоліку і від його застосування отримано наступний технічний результат: підвищення точності визначення пропускної спроможності форсунок та паливопроводів високого тиску.

Нові суттєві ознаки пропонованого пристрою полягають у тому, що є гідропневмоакумулятор і зворотний клапан, розміщений між електронасосом і гідропневмоакумулятором таким чином, що в неробочому положенні пристрою включений електронасос, а зливний паливопровід перекритий зворотним клапаном і паливо з бака електронасосом через нагнітальний провід подається в гідропневмоакумулятор, де стискає повітря до заданого початкового тиску (наприклад, до 5 МПа), контрольованого по манометру. У робочому положенні пристрою електронасос вимкнений, а нагнітальний паливопровід перекритий зворотним клапаном, і паливо під дією тиску стисненого повітря гідропневмоакумулятора через зливний паливопровід проходить через випробувану форсунку (або паливопровід високого тиску) і зливається в бак до моменту досягнення тиску в гідропневмоакумулятор заданого кінцевого тиску (наприклад, 1 МПа). Таким чином, при включеному електронасосі забезпечується рух палива у напрямку від електронасоса через нагнітальний паливопровід гідропневмоакумулятор і від гідропневмоакумулятора через зливний паливопровід до випробуваної форсунки (або паливопроводу високого тиску).

Застосування нових суттєвих ознак дозволяє підвищити точність визначення пропускної спроможності форсунок та паливопроводів високого тиску за рахунок забезпечення змінного тиску у процесі випробування.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

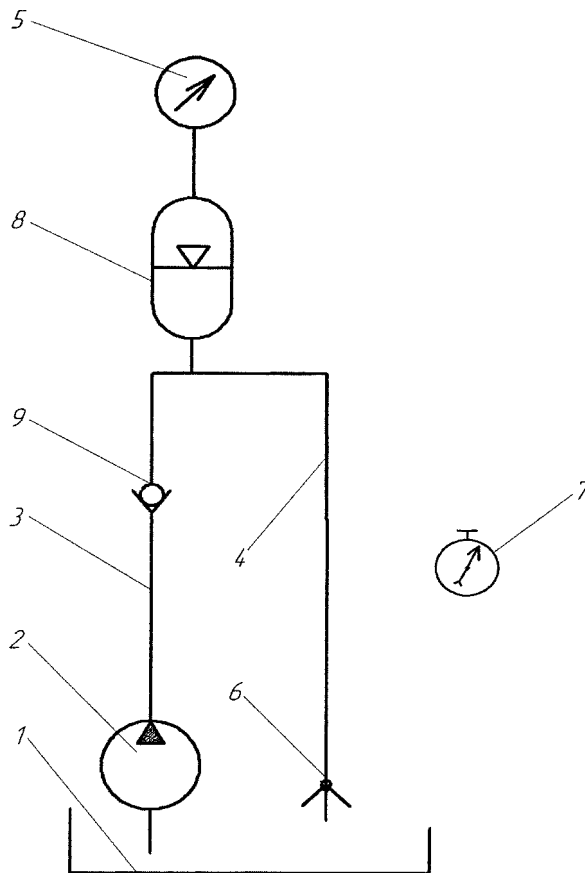


Рисунок 1.4 – Схема пристрою

На рисунку 1.4 зображено схему пристрою для визначення пропускної здатності форсунок і паливопроводів високого тиску. Пристрій для визначення пропускної спроможності форсунок та паливопроводів високого тиску містить паливний бак 1, електронасос 2, нагнітальний і зливальний паливопроводи 3 і 4, манометр 5, форсунку, що випробовується (або паливопровід високого тиску) 6, причому є секундомір 7, гідропневмоакумулятор 8 і гідропневмоакумулятор 8 в гідропневмоакумулятор 8 паливопровід 4 до випробуваної форсунки (або паливопроводу високого тиску) 6. Так як подача електронасоса 2 значно вище витрати палива через форсунку (або паливопровід високого тиску) 6, то паливо заповнює внутрішню порожнину гідропневмоакумулятора 8 і повітря стискає до заданого початкового тиску, контрольованого по манометру 5.

Робота пристрою відбувається в такий спосіб.

										ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
											14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

При включенні електронасоса 2 паливо під тиском, створюваним електронасосом 2, з бака 1 по нагнітальному паливопроводу через 3 зворотний клапан 9 надходить в порожнину гідропневмоакумулятора 8, де стискає повітря до заданого початкового тиску (наприклад, до 5 МПа), контрольованого по манометру 5. Потім електронасос 2 вимикають, при цьому рух палива між електронасосом 2 і гідропневмоакумулятором 8 перекривається зворотним клапаном 9. Одночасно з цим включають секундомір 7. Під дією тиску стисненого повітря паливо з гідропневмоакумулятора 8 через зливний трубопровід 4 проходить через форсунку (або паливопровід високого тиску) 6 і зливається в бак 1 доти, поки тиск у гідропневмоакумуляторі 8 не впаде до заданого кінцевого тиску (наприклад, до 1 МПа). Одночасно із цим секундомір 7 вимикають.

Знаючи за результатами випробування початковий та кінцевий тиск, об'єм стисненого повітря у гідропневмоакумуляторі та час падіння тиску з початкового до кінцевого значень, за величиною середнього ефективного прохідного перерізу ( $\mu f$ ) форсунки (або паливопроводу) оцінюють їх пропускну здатність ( $Q$ ):

а) середній ефективний прохідний переріз

$$\mu f = \frac{V_1 \cdot (\sqrt{P_1} - \sqrt{P_2}) \cdot \sqrt{2\rho_r}}{P_1 \cdot t}, \text{ м}^2;$$

б) пропускну спроможність

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2g \Delta P}{\gamma}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати;  $f$  - площа поперечного каналу форсунки (паливопроводу), м<sup>2</sup>;

$\rho_r$  - щільність палива, що проливається через форсунку (паливопровід), кг/м<sup>3</sup>;

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_1, P_2$  - початковий і кінцевий тиск повітря в гідропневмоакумуляторі,

$V_1$  - обсяг стисненого повітря в гідропневмоакумуляторі, м<sup>3</sup>;

$t$  - час падіння тиску з початкового до кінцевого значень, с;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\gamma$  - питома вага палива, Н/м<sup>3</sup>;

$\Delta P = P_n - P_{ц}$  - різниця тисків, Па ( $P_n$  - тиск початку впорскування палива форсункою або тиск палива на вході в паливопровід,  $P_{ц}$  - тиск середовища, яку упорскується паливо або тиск палива на виході з паливопроводу).

При заміні форсунки (паливопроводу) б рекомендується повністю зливати паливо з гідропневмоакумулятора 8, що сприяє вільному надходженню атмосферного повітря на його порожнину.

#### Формула винаходу

Пристрій для визначення пропускної спроможності форсунок та паливопроводів високого тиску, що містить паливний бак, електронасос, нагнітальний і зливальний паливопроводи, манометр, форсунку, що випробовується (або паливопровід високого тиску), що відрізняється тим, що є секундомір, гідропневмоакумулятор і зворотний клапан, розміщений між електронасосом і гідропневмоакумулятором таким чином, що забезпечує рух палива в напрямку від електронасоса через нагнітальний паливопровід гідропневмоакумулятор і від гідропневмоакумулятора через зливний паливопровід до випробуваної форсунки (або паливопроводу високого тиску).

Автоматизований стенд для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів UA (11) 106911 (13) U

Корисна модель належить до галузі машинобудування та стосується випробувальної техніки, зокрема стендів для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів. Корисна модель може знайти застосування

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при випробуванні паливних форсунок тепловозних дизелів з візуальною імітацією процесу упорскування дизельного палива у циліндр, надає можливість підвищити якість, контроль виконання випробування паливної форсунки в повному обсязі згідно з регламентованою програмою ремонту.

Один з відомих розробок стенд для ремонту та випробування форсунок дизелів Д49, Д50, 10Д100 [1]. Стенд призначений для технічного контролю та діагностування стану тепловозних форсунок, та дозволяє підготувати форсунку, оцінити якість розпилення палива і відрегулювати тиск упорскування палива. Цей стенд складається з рами, яка включає в себе керуючу частину, робочу та випробувальну. Керуюча частина являє собою панель керування, чорно-білий дисплей. Робоча - місце для розбирання-збирання та ультразвукова мийка. Випробувальна - робоча камера з посадочним місцем для форсунки та прилади контролю.

Функціональні можливості стенда:

- можливість ремонту та випробування трьох видів форсунок Д49, Д50, Д100;
- ультразвукова мийка високоточних деталей форсунки;
- технологічні пристосування для розбирання-збирання форсунок;
- визначення гідравлічного опору соплових отворів форсунки;
- контроль тиску упорскування палива форсунки до  $500 \text{ кгс/см}^2$ .

Недоліками стенда є відсутність наглядної імітації роботи форсунки в циліндрі дизеля в близьких до реальних експлуатаційних умовах; виведення отриманої інформації після випробування (побудова трафіку) на дисплей, передачі даних випробування в загальну базу даних підприємства, що ускладнює контроль за якістю ремонту паливної апаратури.

Найбільш близьким технічним рішенням до запропонованої корисної моделі є відомий автоматизований стенд для перевірки та регулювання паливних форсунок дизельних двигунів Д49, Д50, Д100 в умовах локомотивного депо і ремонтних заводів, який складається: керуюча частина, яка складається з рами, блока керування, дисплей (для наглядного

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відображення виконуючого процесу), кнопки (пуск, стоп, аварійна зупинка); випробувальна частина, яка складається з рами (окремої), паливний бак, інструментальний ящик, місцеве освітлення, місце встановлення випробувальної форсунки, прилади контролю, світлова індикація виконання випробування.

Функціональна можливість стенда:

- перевірка тиску упорскування форсунки,  $\text{кГс/см}^2$  - від 0 до 400.
- межа допустимої абсолютної похибки вимірювального каналу  $\pm 0,5$  МПа ( $\pm 5$   $\text{кГс/см}^2$ );
- перевірка герметичності нагнітальної системи стенда;
- перевірка гідравлічної щільності форсунки (розпилювача);
- вивід на комп'ютер результатів перевірки з збереженням в пам'яті комп'ютера та роздрукування протоколу випробування.

Прототип має наступні недоліки: відсутність наглядної імітації роботи форсунки в циліндрі дизеля в близьких до реальних експлуатаційних умовах; відсутність передачі даних (номер форсунки, тиск початку-закінчення подачі дизельного палива, графік випробування відповідної форсунки) в загальну базу даних підприємства.

Задачею корисної моделі, що заявляється, є удосконалення стенда за рахунок використання в його конструкції електронного датчика тиску, який вмонтований в паливний акумулятор, блока керування на мікропроцесорній основі, уловлювач дизельного палива з вставкою, для регулювання діаметра уловлювача ДП, а також додаткового устаткування, зокрема: персональна електронно-обчислювальна машина (ПЕОМ) з монітором, який встановлений на рамі стенда.

Технічний результат, який досягається при рішенні поставленої технічної задачі, полягає в отриманні даних безпосередньо через електронний датчик тиску, який вмонтований в паливний акумулятор, по випробуванні паливної форсунки. Вдосконалений автоматизований стенд суттєво скорочує

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

час, який затрачується на процес проведення випробування згідно з регламентованими правилами ремонту.

Поставлена технічна задача вирішується, а технічний результат досягається тим, що в стенді для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів, що містить раму, на якій змонтований паливний бак, що містить дизельне паливо (ДП) і сполучений через трубопровід подачі ДП низького тиску, з робочим модулем та трубопроводи подачі ДП високого тиску з паливним акумулятором, форсункою, закріпленою на стійці, уловлювачем ДП, останні утворюють камеру випробування, яка змонтована на рамі, закривається прозорою кришкою.

Блок керування на мікропроцесорній основі, сполучений з насосом підкачки ДП з бака в ПНВТ, електронним датчиком тиску, який вмонтований в паливний акумулятор, кроковим двигуном для приведення в дію ПНВТ та ПНВТ згідно корисної моделі, стенд додатково обладнаний ПЕОМ з монітором.

У зв'язку з тим, що стенд обладнаний блоком керування на мікропроцесорній основі, який сполучений з електронним датчиком тиску, забезпечується підвищення якості проведення випробування паливних форсунок тепловозних дизелів, зменшується час технологічних операцій процесу проведення післяремонтного випробування паливної форсунки.

За рахунок того, що використовується уловлювач ДП, який має наближену форму циліндра дизеля, а також вставка, для регулювання діаметра уловлювача ДП відповідно паливної форсунки, яка випробовується, внаслідок чого досягається візуальна імітація процесу упорскування ДП форсункою (факел розпилення ДП) у циліндрі дизеля тепловозу.

Завдяки розташуванню стійки кріплення форсунки, уловлювача ДП, який має вмонтовану горловину, що підключається до витяжної вентиляції в камері випробування, яка зачиняється прозорою кришкою, досягається безпечного спостереження за випробуванням, відносно розпилення ДП під час процесу роботи.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки тому, що використовується панель управління, сполучена з ПЕОМ, монітором забезпечується керування випробовуванням паливних форсунок, відображення етапів випробовування на моніторі, побудова графіка випробування, а також досягається передача необхідних даних випробування паливних форсунок тепловозних дизелів у інформаційну мережу підприємства, відповідну ремонтну базу.

Приведені удосконалення дозволяють забезпечити зменшення часу на технологічні операції процесу проведення випробування паливної форсунки, випробування виконується на одному робочому місті; підвищити якість проведення випробування паливних форсунок та контролю його виконання згідно вимог регламентованої програми ремонту.

Надалі корисна модель пояснюється прикладом її здійснення з посиланнями на креслення, що додаються.

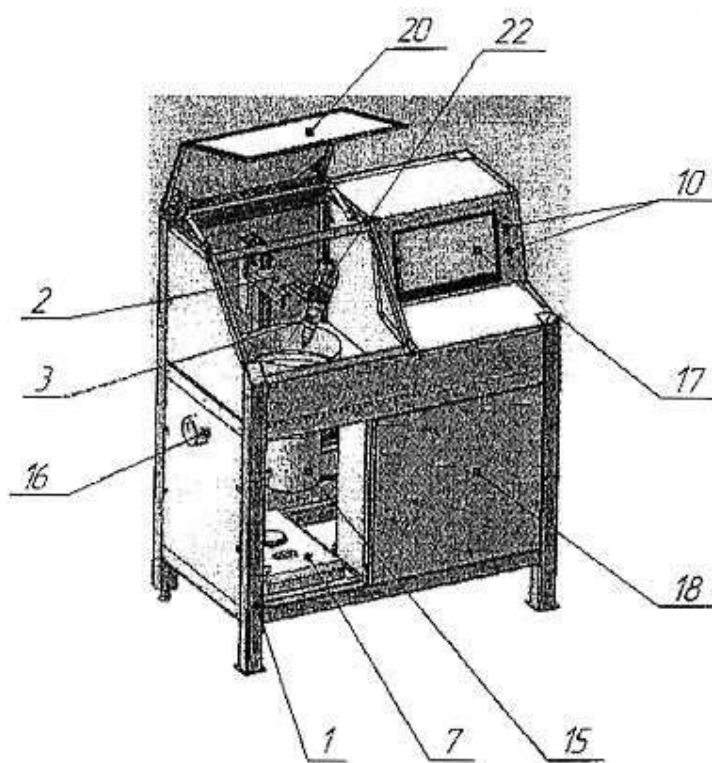


Рисунок 1.5 – Автоматизований стенд для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів

										Арк.
										20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ



- 11 - насос підкачки ДП;
- 12 - кроковий двигун;
- 13 - паливний насос високого тиску;
- 14 - фільтр тонкої очистки;
- 15 - уловлювач дизельного палива;
- 16 - горловина витяжної вентиляції уловлювача ДП;
- 17 - монітор;
- 18 - блок керування на мікропроцесорній основі;
- 19 - персональна електронно-обчислювальна машина (ПЕОМ);
- 20 - кришка;
- 21 - фільтр грубої очистки;
- 22 - вставка (для регулювання діаметру уловлювача ДП).

Автоматизований стенд для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів складається з рами 1, на котрій встановлена стійка 2 для кріплення паливної форсунки, паливна форсунка 3, яка з'єднана з паливним акумулятором 4, з вмонтованим електронним датчиком тиску 5, робочим модулем 6, змонтованим паливним баком 7, що містить дизельне паливо (ДП) за допомогою паливної системи, яка включає в себе трубопроводи високого тиску 8, трубопроводи низького тиску 9, фільтр грубої очистки 21. Керування процесом випробування паливної форсунки (блоком керування 18, ПЕОМ 19), введення необхідної інформації відбувається з панелі управління 10 (кнопки керування, кнопка екстреної зупинки роботи стенду). Також встановлений на рамі стенду уловлювач ДП 15, який має вмонтовану горловину 16, що підключається до витяжної вентиляції і служить для відсмоктування парів ДП при роботі паливної форсунки, а також має вставку для регулювання діаметра уловлювача ДП 22.

Камера випробування представляє ліву частину рами стенда, що зачиняється прозорою кришкою 20 та розташовує в собі стійку 2 кріплення паливної форсунки, трубопровід високого тиску 8, паливний акумулятор 4 з вмонтованим електричним датчиком тиску 5.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочий модуль 6, включає в себе насос підкачки 11, кроковий двигун 12, ПНВТ 13, фільтр тонкої очистки 14. Панель управління 10 складається з монітора 17 та кнопок керування, кнопки екстреної зупинки роботи стенду.

Автоматизований стенд випробовування паливних форсунок тепловозних дизелів працює наступним чином.

Управління роботою стенда здійснюється оператором з панелі управління 10.

При включенні стенда на моніторі 17 з'явиться вікно випробувальної програми для введення табельного номера оператора, далі вікно з переліченими типами паливних форсунок (які можливо випробувати). Для продовження слід вибрати потрібний тип паливної форсунки. Далі ввести номер паливної форсунки. Після цього за підказками програми вибрати випробувальні тести (як окремо кожний, так і виконання всієї програми випробування послідовно).

Автоматизований стенд випробовування паливних форсунок тепловозних дизелів дозволяє виконувати основні операції необхідних для перевірки та регулювання паливних форсунок дизелів типу Д49, 10Д100, К6S310DR:

1. перевірити гідрощільність паливної форсунки;
2. відрегулювати на тиск початок і кінець упорскування
  - перевірити перепад тиску за період упорскування палива;
  - перевірити якість розпилення палива, що упорскується;
  - герметичність розпилювача по замикаючому конусу тиском палива.

При виконанні випробування необхідно змінювати трубопровід високого тиску 8, який з'єднує паливну форсунку та акумулятор, на відповідний паливній форсунці 3, яка буде проходить випробування, та регулювати діаметр уловлювача ДП 15 за допомогою вставки для регулювання діаметра уловлювача ДП 22.

При виконанні перевірки щільності голки розпилювача в гідравлічному акумуляторі 12 одноразово нагнітається ДП до значення тиску 40 МПа (400

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ				

кГс/см<sup>2</sup>) за допомогою ПНВТ 13. Час падіння тиску вимірюється за допомогою електронного таймера.

При регулюванні початку впорскування в паливному акумуляторі 4 постійно нагнітається ДП ПНВТ 13 до зупинки процесу оператором стенда. Поточні дані тиску фіксуються електронним датчиком тиску 5 та передаються до ПЕОМ 19 для подальшого відображення на моніторі 17.

При виконанні перевірки герметичності розпилювача по замикаючому конусові тиск в паливному акумуляторі 4 нагнітається до значення 40 МПа (400 кГс/см<sup>2</sup>) та утримується протягом 2 хвилин за допомогою ПНВТ 13. Дизельне паливо до ПНВТ подається по трубопроводу низького тиску 9 через фільтр грубої очистки 17, насос підкачки 11 та фільтр тонкої очистки 14. Після ПНВТ по трубопроводу високого тиску ДП надходить до паливного акумулятора 4, паливної форсунки 3.

У стенді передбачені наступні захисні системи блокування роботи та контролю виконання випробовування:

- без вводу табельного номера оператора, номера паливної форсунки, виконання випробувальних тестів не можливе;
- тільки після проведення повної програми випробування (не окремі її етапи) паливної форсунки зберігається інформація на ПЕОМ, та надсилається у інформаційну мережу підприємства;
- перевищення тиску в трубопроводі високого тиску, в залежності від вибраного випробування, блокування вмикається:

а) опресовування форсунки дизельним паливом - 50 МПа;

б) настроювання форсунки та перевірки якості розпилу - 36 МПа.

Приведені відомості підтверджують можливість проведення випробувань паливних форсунок тепловозних дизелів з наглядною імітацією роботи форсунки в циліндрі дизеля, передачі даних випробовування в інформаційну мережу підприємства, відповідну ремонтну базу.

Запропонований автоматизований стенд для випробування паливних форсунок тепловозних дизелів дозволить при стендових випробуваннях

										Арк.
										24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ

наглядно імітувати наближені експлуатаційні умови (впорскування дизельного палива форсункою у циліндрі), виконання вимог регламентованої програми випробування паливної апаратури у повному обсязі, передавати отримані дані під час випробування в інформаційну мережу підприємства, відповідну ремонтну базу.

### Технологія ремонту та регулювання форсунок

Ремонт форсунок дизельних двигунів є одним із ключових напрямків обслуговування паливної апаратури, оскільки правильне функціонування форсунок забезпечує ефективне згоряння палива, оптимальну потужність двигуна та зниження шкідливих викидів. Технологія ремонту базується на комплексному підході, який включає діагностику, механічне і хімічне очищення, регулювання робочих параметрів та монтаж відновлених деталей.

### Основні етапи ремонту форсунок

Візуальний огляд. Здійснюється перевірка зовнішнього вигляду форсунки: наявність корозії, зносу ущільнюючих колаць, пошкоджень корпусу та елементів з'єднання. Для тестування вимірюється тиск початку впорскування, аналізується форма факела розпилу палива за допомогою стендових установок або спеціального пристрою для візуалізації. Форсунка акуратно знімається з двигуна, при цьому слід дотримуватись заходів обережності для запобігання забрудненню робочих поверхонь і деталей. Для очищення використовуються спеціальні розчинники або ультразвукова очистка для видалення нагару, відкладень та залишків палива з усіх робочих елементів форсунки. За потреби виконують механічне очищення, застосовуються щітки, піщано-струменеву обробку або інші методи для видалення забруднень із важкодоступних місць.

Після очищення проводиться перевірка цілісності мембрани, голки форсунки, коронкового елемента (розпилювача) та герметичних ущільнень. При виявленні зношених або пошкоджених елементів проводиться їх заміна на оригінальні або сертифіковані аналоги (ущільнювачі, шайби, голка,

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розпилювач). Після збирання проводиться тонке налаштування форсунки для забезпечення правильного тиску початку впорскування і форми розпилу. Це може включати механічне регулювання положення голки та встановлення оптимального положення шайби. Відновлену форсунку підключають до стенду для діагностики, де перевіряється точність параметрів (тиск, факел розпилу, об'єм подачі палива) при різних режимах роботи. Після успішного тестування форсунка встановлюється на двигун, де проводиться кінцеве тестування на справність роботи двигуна з відновленою паливною апаратурою. Важливо вести детальний облік показників кожної форсунки до і після ремонту для подальшого аналізу ефективності відновлення.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

У процесі розробки конструкції стенду для діагностики та налаштування дизельних форсунок було проаналізовано кілька типових рішень: ручні пресові стенди, гідравлічні модулі з ручним приводом, комбіновані установки з електроприводом, а також стенди на базі стендових ТНВД. У результаті обґрунтовано вибрано електромеханічний стенд поршневого типу з можливістю стабілізованого нагнітання тиску. Ключові причини вибору саме цього типу конструкції:

Сумісність з класичними дизельними системами живлення

Форсунки механічних дизелів вимагають нагнітання палива до тиску 150–250 бар. Обраний тип стенду дозволяє досягти таких значень без складної гідравліки чи ТНВД, що спрощує експлуатацію та зменшує вартість. У порівнянні з ручними стендами, електромеханічна конструкція не потребує фізичних зусиль для створення тиску, працює від мережі 220 В, не вимагає підключення до двигуна чи іншого приводу — це робить її зручною для майстерні будь-якого рівня оснащення. До того ж вибір конструкції з поршневим насосом дозволяє звести до мінімуму кількість вузлів, що зношуються, та уникнути складних регулювань — це важливо для використання в умовах фермерського господарства чи сервісу.

Конструювання стенду

Стенд призначений для перевірки технічного стану форсунок дизельних двигунів класичної системи живлення шляхом подачі пального під тиском, близьким до робочого, та візуального спостереження за факелом розпилу. Стенд виконано у вертикальному компонуванні з інтегрованим насосним модулем і баком для робочої рідини. Конструкція забезпечує зручність доступу до основних вузлів під час обслуговування. У нижній частині стенду розташовано електромеханічний привід, що через ексцентриковий механізм передає зворотно-поступальний рух поршню

										Арк.
										27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ

насоса, корпус насоса циліндричної форми, у якому рухається поршень, впускний і нагнітальний клапани, які забезпечують циркуляцію пального з бака до магістралі високого тиску. Паливний бачок під'єднано до насоса за допомогою жорсткої трубки. У верхній частині конструкції розташовано манометр, який забезпечує візуальний контроль тиску. Манометр з'єднано з нагнітальним трактом через трубопровід, який також веде до тримача форсунки. Тиск у системі досягає значень близько 200 бар, що відповідає умовам роботи класичних дизельних форсунок.

Потужність приводу

Робочий тиск в системі:

$$p=200\text{МПа}=200\cdot 10^6\text{ Па}$$

Діаметр плунжера:

$$d=9\text{мм}=0,009\text{м}$$

Ексцентриситет кулачка (ход поршня):

$$e=11\text{мм}=0,011\text{м}$$

Площа поперечного перерізу плунжера

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,009)^2}{4} \approx 6,36 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Зусилля, необхідне для створення тиску

$$F = p \cdot A = 200 \cdot 10^6 \cdot 6,36 \cdot 10^{-5} \approx 12,72 \cdot 10^3 \text{ Н} = 12,72 \text{ кН}$$

Хід плунжера

$$S = e = 0,011 \text{ м}$$

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Робота за один хід

$$W = F \cdot S = 12,72 \cdot 10^3 \cdot 0,011 \approx 139,9 \text{ Дж}$$

Потужність

$$P = \frac{139,9}{2} = 69,95 \text{ Вт}$$

Крутний момент на валу мотор-редуктора:

$$M = F \cdot r = 12,72 \cdot 10^3 \cdot 0,011 = 139,9 \text{ Нм}$$

Основні параметри пресостату

Діапазон тиску спрацювання становить 190...200 МПа — задається пружиною або гвинтом налаштування. Тип мембрани для високого тиску — плунжерний тип з металевими ущільненнями. Сила, необхідна для спрацювання:

$$F = p \cdot A$$

Де:

$$p = 200 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

A - площа чутливого елемента

Розрахунок сили спрацювання

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,003)^2}{4} = 7,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$F = p \cdot A = 200 \cdot 10^6 \cdot 7,07 \cdot 10^{-6} = 1414 \text{ Н}$$

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Отже, пружина в механізмі має створювати опір 1414 Н.

Жорсткість пружини:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{1414}{0,0015} = 942,6 \cdot 10^3 = 942,6 \text{ кН/м}$$

де  $x=1,5\text{мм}=0,0015\text{м}$  – хід поршня для активації.

Необхідна продуктивність нагнітача

Для забезпечення адекватних умов роботи форсунки під час діагностики необхідно забезпечити стабільну подачу палива при відповідному тиску, що відповідає реальній експлуатації двигуна внутрішнього згоряння. Розрахунок подачі здійснимо для однієї форсунки дизельного двигуна тракторів типу МТЗ-82 (двигун Д-243) або ЮМЗ-6 (двигун Д-65). Кількість упорскувань на хвилину:

$$n = 1800/2 = 900 \text{ впр./хв}$$

Середній об'єм одного впорскування:

$$V_{\text{впр}} = 70 \text{ мм}^3$$

Хвилинна подача:

$$Q_{\text{хв}} = V_{\text{впр}} \cdot n = 0,07 \cdot 900 = 63 \text{ мл/хв}$$

Таким чином, при частоті обертання колінчастого вала 1800 об/хв, для роботи однієї форсунки необхідно забезпечити подачу щонайменше 63 мл/хв палива під тиском не менше 20 МПа. З урахуванням пульсацій тиску, витрат

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на зворотний дренаж і можливих втрат у з'єднаннях, доцільно закладати запас:

$$Q_{\text{хв. з запасом}} = 63 \cdot 1,5 = 94,5 \text{ мл/хв} \approx 100 \text{ мл/хв}$$

### Симуляція роботи окремих вузлів стенду

Для оцінки працездатності конструкції стенду для діагностики форсунок дизельних двигунів було виконано інженерний розрахунок за допомогою програмного комплексу SolidWorks Simulation. Метою розрахунку є перевірка міцності основних елементів конструкції стенду, а також визначення максимальних напружень і деформацій під час роботи при тиску до 200 МПа у нагнітальній магістралі. У якості вихідних даних було прийнято, що навантаження створюється плунжерним насосом, який генерує зусилля близько 1400 Н. У модулі статичного розрахунку було побудовано 3D-модель усієї рами з урахуванням основних вузлів кріплення плунжерного вузла та монтажної плити для форсунок (рисунок 2.1). На рисунку 2.2 наведено вид загальний конструкції. Нижню частину рами змодельовано як нерухомо закріплену, а навантаження прикладено у точці дії плунжера. Крім того, у розрахунок включено силу тяжіння.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

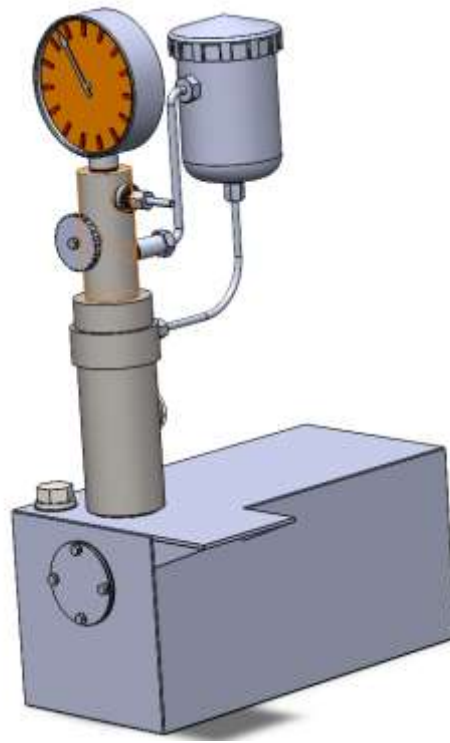


Рисунок 2.1 - 3D-модель стану

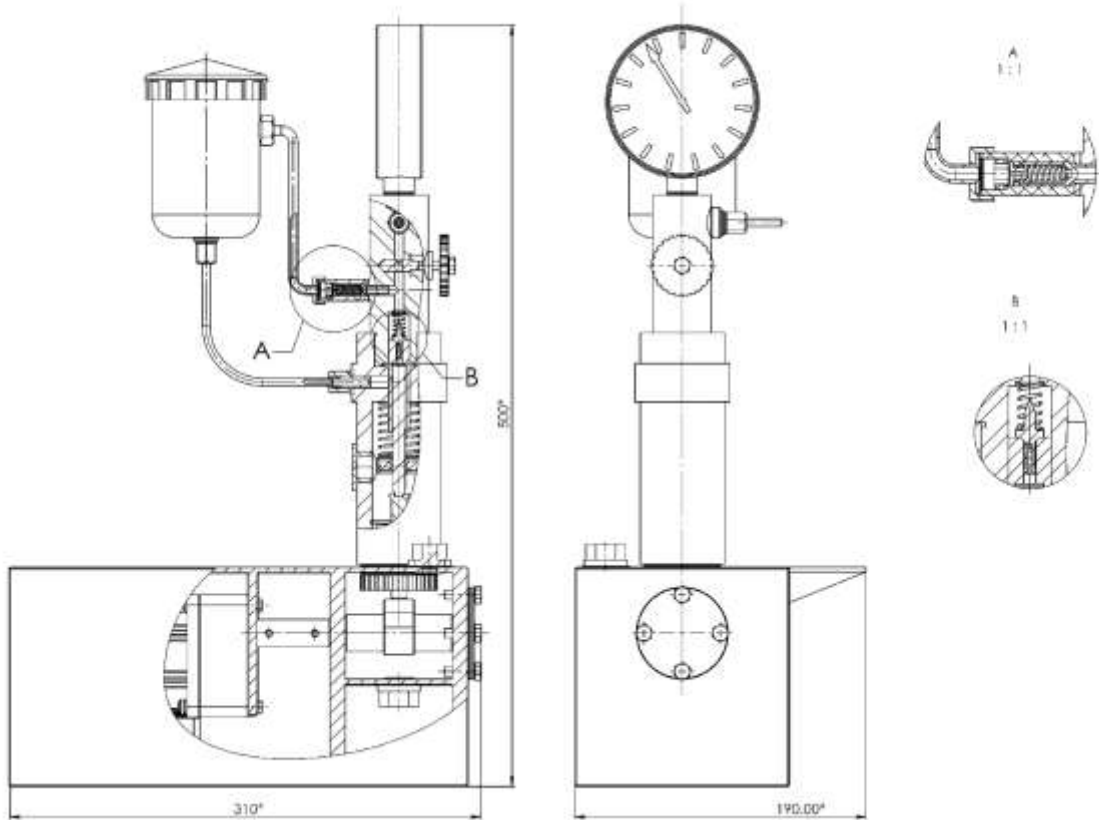


Рисунок 2.2 – Вид загальний конструкції

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Для розрахунку було обрано елементи які мають найбільше навантаження в процесі експлуатації пристрою. Зокрема мова йде про пресостат, плунжер нагнітача та голку зворотнього клапану. Було використано модуль Simulation SolidWorks. Сітка була побудована з використанням криволінійної адаптації (curvature-based mesh), з середнім розміром елемента 2 мм та локальним згущенням у критичних зонах.

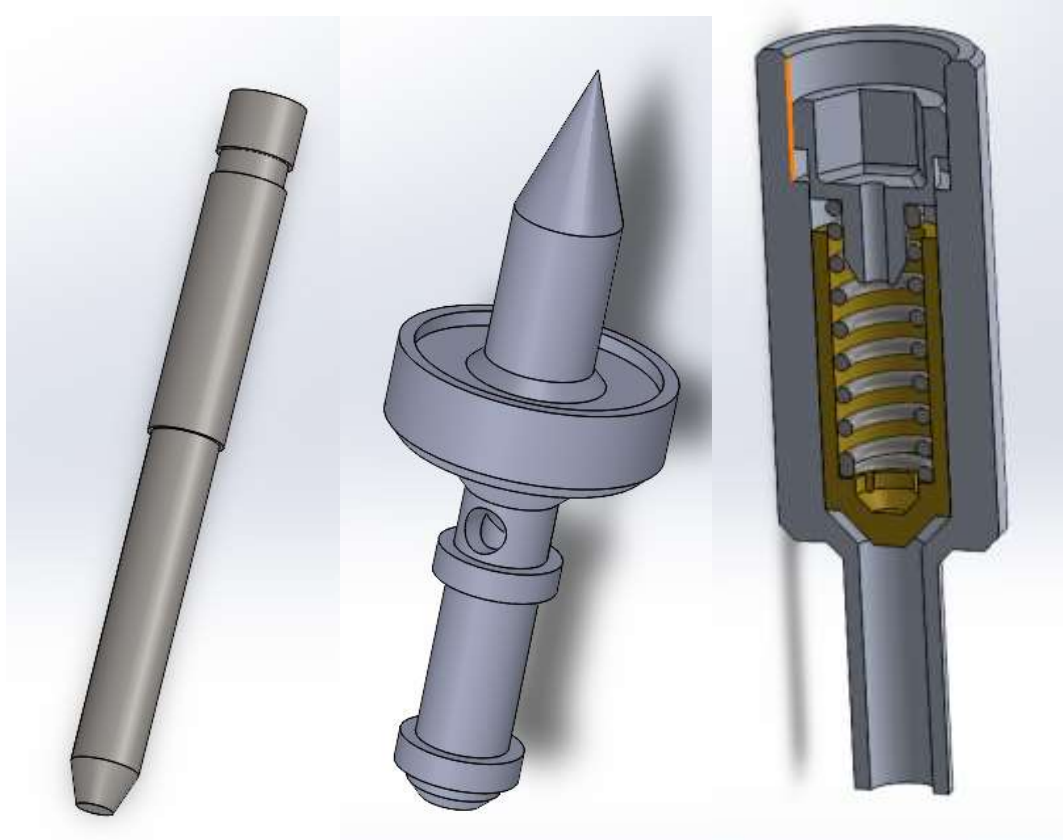


Рисунок 2.3 – Моделі досліджуваних елементів

В результаті моделювання було отримано, що максимальне еквівалентне напруження в конструкції становить приблизно 82 МПа, що суттєво менше за допустиме для обраного матеріалу (приблизно 170 МПа). Найбільше навантаження зосереджується у зоні кріплення монтажної плити до рами. Максимальне переміщення конструкції у зоні дії навантаження склало близько 0,14 мм. Мінімальний коефіцієнт запасу міцності становив 1,9, що в межах безпечного для тривалої експлуатації.

										Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ					

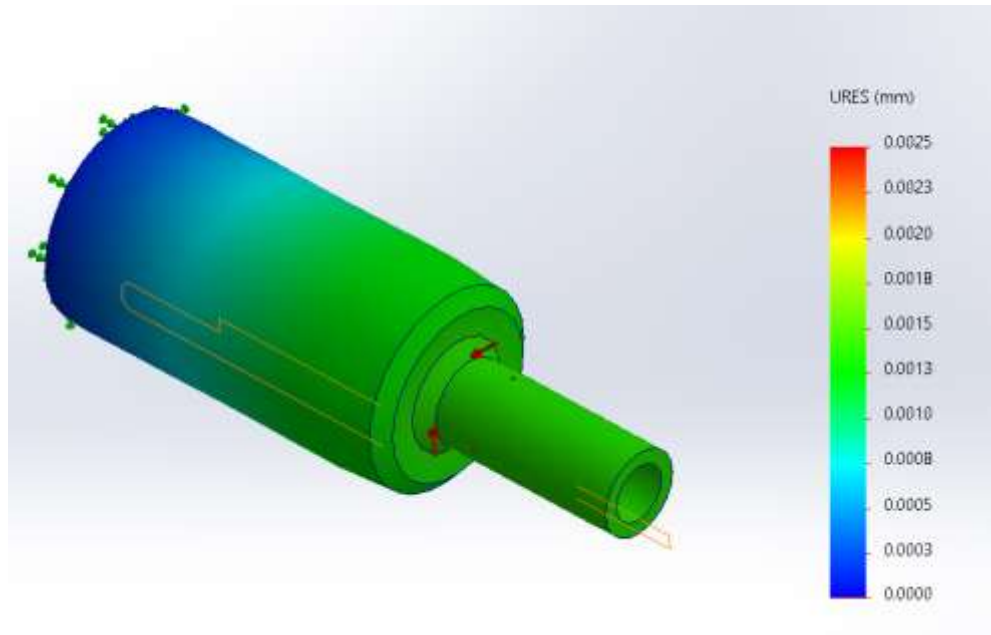


Рисунок 2.4 – Розподіл деформацій пресостату

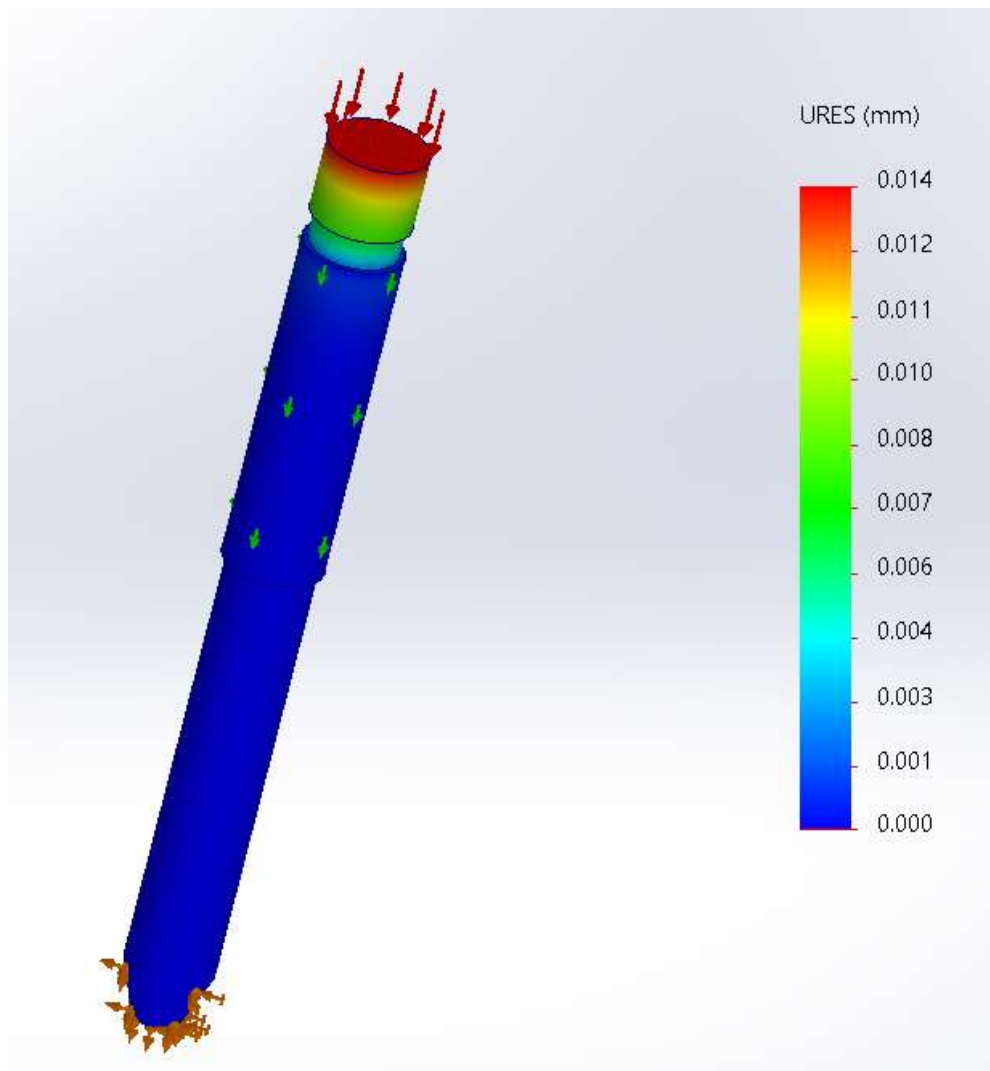


Рисунок 2.5 – Розподіл деформацій плунжера

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

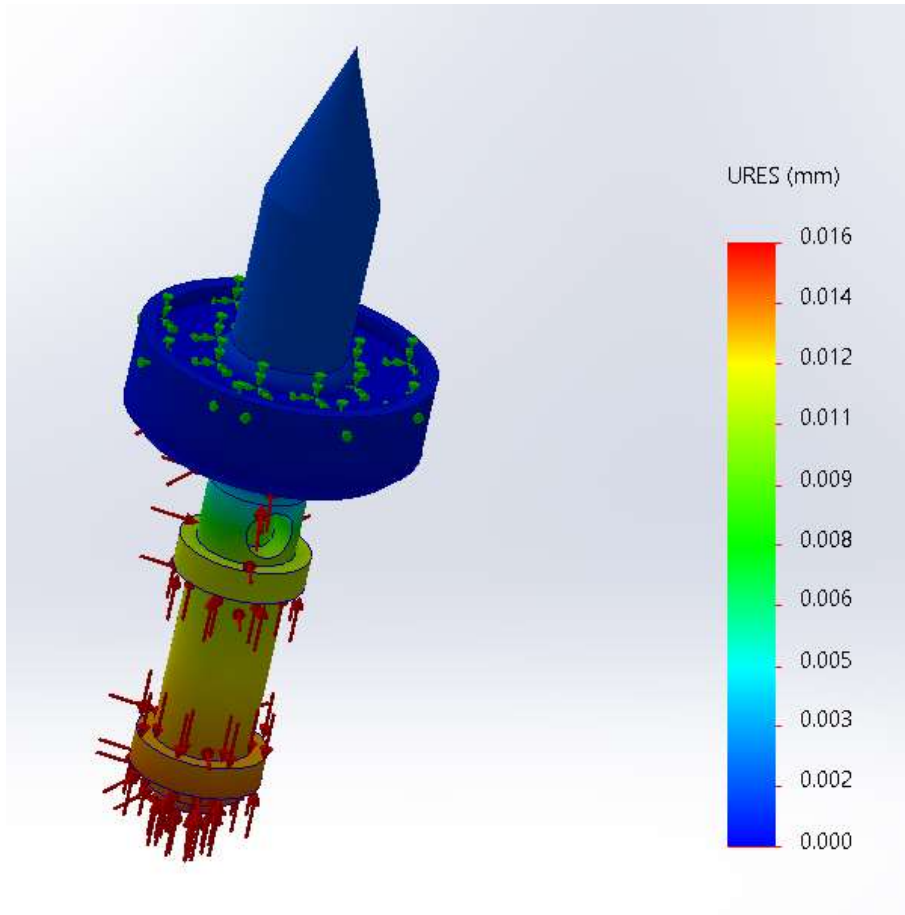


Рисунок 2.5 – Розподіл деформацій голки клапану

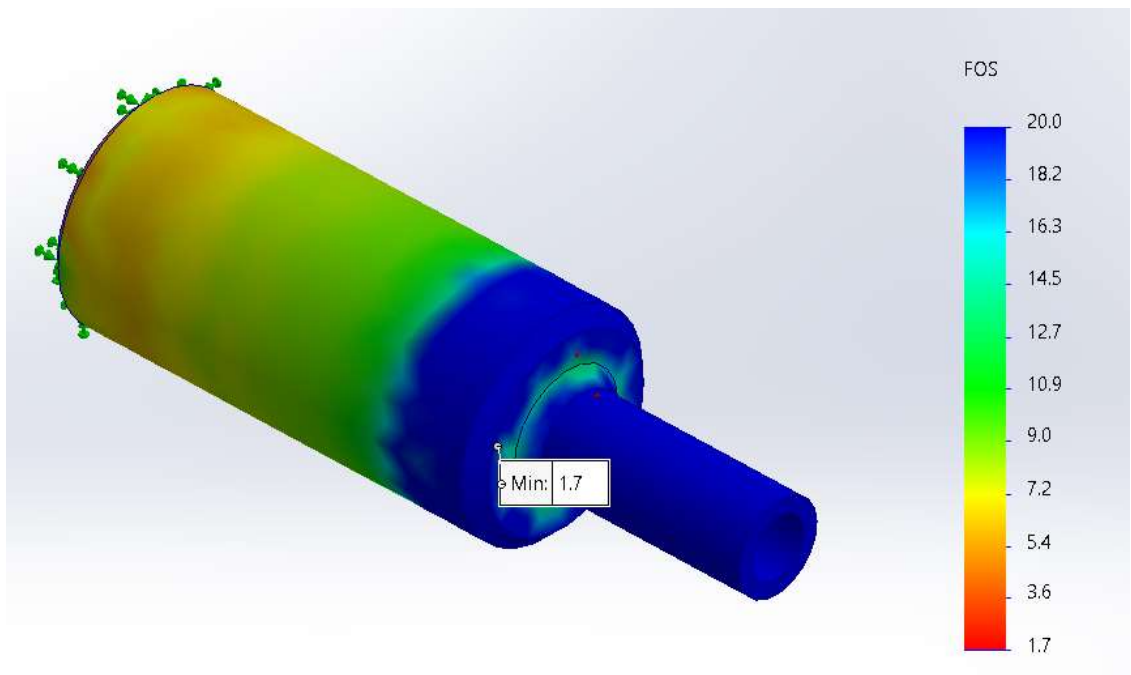


Рисунок 2.6 – Розподіл коефіцієнту запасу міцності пресостату

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

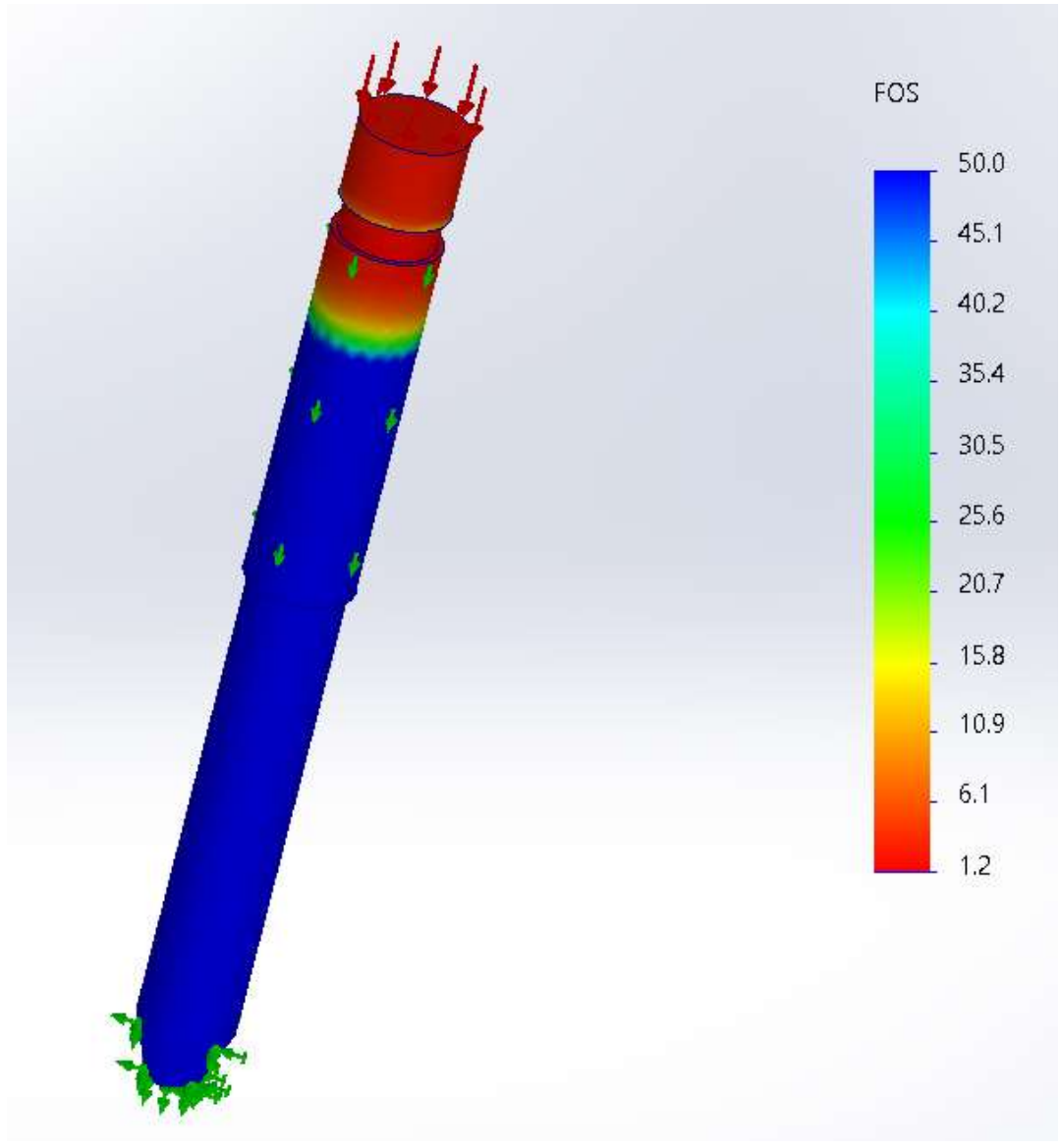


Рисунок 2.7 – Розподіл коефіцієнту запасу міцності плунжеру

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

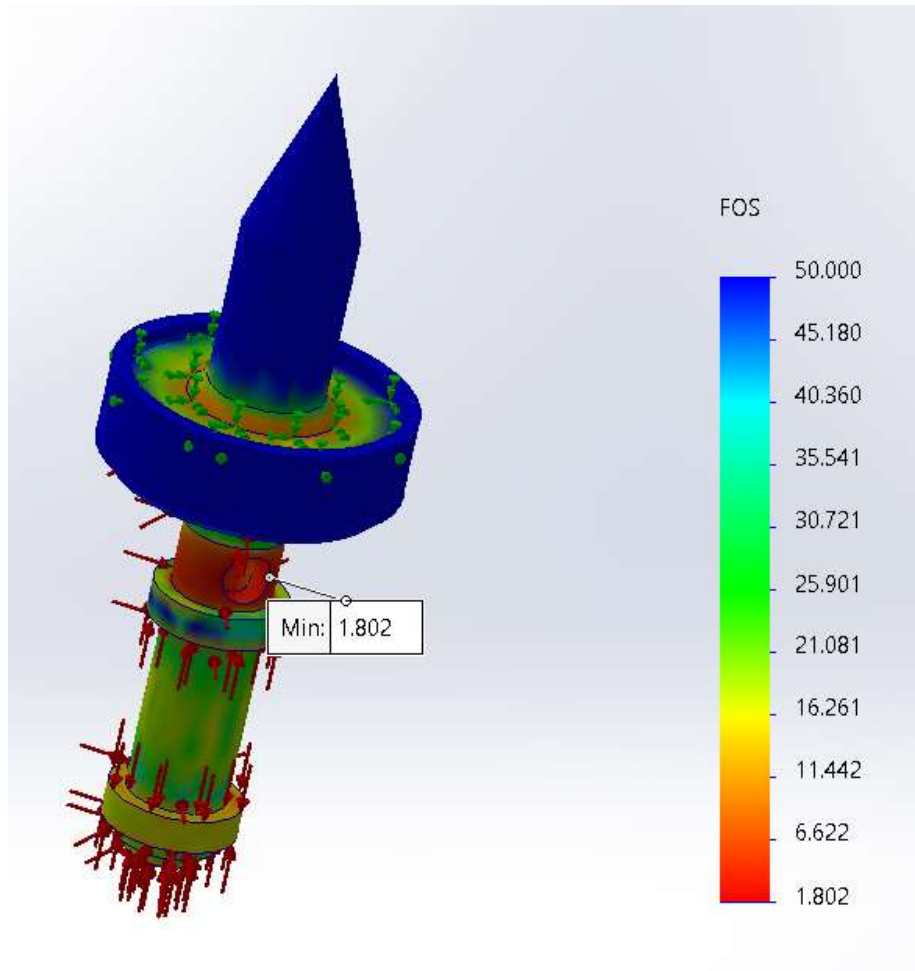


Рисунок 2.8 – Розподіл коефіцієнту запасу міцності голки

Таким чином, результати розрахунку підтверджують достатню жорсткість та міцність конструкції стенду. Конструкція не потребує значних змін, хоча за необхідності можна посилити місця кріплення монтажної плити. Загалом, розрахунок у SolidWorks Simulation довів, що обрані габарити та матеріали конструкції є раціональними, а сам стенд готовий до експлуатації в умовах навантажень, характерних для діагностики та випробування форсунок дизельних двигунів.

										Арк.
										37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ					

### 3. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Під час роботи зі стендом для діагностики та налаштування форсунок дизельних двигунів необхідно дотримуватися вимог охорони праці, що гарантують безпечну експлуатацію обладнання та мінімізують ризики травмування. Основними потенційними небезпеками під час роботи є дія високого тиску, можливість витоку пального, контакт з рухомими частинами приводу, а також ураження електричним струмом. Перед початком роботи обов'язково виконується перевірка герметичності всіх з'єднань, наявність заземлення електричного обладнання, справність приводу та відсутність механічних пошкоджень конструкції. Оператор повинен мати відповідну кваліфікацію та бути ознайомлений з інструкцією з експлуатації стенду.

Під час проведення діагностики забороняється торкатися до трубопроводів і вузлів під тиском, оскільки у випадку мікропошкодження паливо під високим тиском може проникнути під шкіру, що є надзвичайно небезпечним. З цієї причини оператор зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри, рукавиці з маслостійкого матеріалу, щільний спецодяг. В зоні навантаження має бути встановлений прозорий захисний екран. Приміщення повинно мати ефективну вентиляцію, оскільки під час роботи можливе випаровування дизельного пального, що є вибухонебезпечною та токсичною речовиною.

Стенд повинен бути обладнаний аварійним вимикачем, який миттєво зупиняє роботу у разі виникнення нештатної ситуації. Усі елементи високого тиску мають бути захищені кожухами або екранами. Роботи з обслуговування та очищення стенду дозволяється проводити лише після повного скидання тиску в системі та знеструмлення обладнання. Забороняється проводити будь-які випробування за наявності протікання або пошкоджень шлангів і штуцерів.

Важливою вимогою є підтримання чистоти робочої зони — пролиття пального або мастильних матеріалів повинні негайно усуватись, щоб

										ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
											38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

уникнути пожежної небезпеки та випадкового травмування. У разі виникнення пожежонебезпечної ситуації в приміщенні має бути вогнегасник, а персонал повинен бути ознайомлений з порядком його застосування. Усі дії зі стендом проводяться відповідно до затверджених інструкцій з техніки безпеки та правил експлуатації діагностичного обладнання.

З урахуванням використання дизельного пального, мастильних матеріалів та можливості перегріву окремих компонентів приводу, при експлуатації стенду важливе значення має дотримання пожежної безпеки. Усі роботи повинні проводитися у приміщенні, обладнаному первинними засобами пожежогасіння, зокрема порошковими або вуглекислотними вогнегасниками, придатними для гасіння пожеж класу В (горючі рідини). Робоча зона повинна бути очищена від зайвих горючих матеріалів, а ємності з паливом мають бути герметично закриті та розміщені на безпечній відстані від джерел тепла чи іскроутворення.

Підключення стенду до електромережі повинно здійснюватися через справні автоматичні захисні пристрої. Заборонено використання несправних або кустарно змінених подовжувачів, що можуть спричинити коротке замикання. Усі з'єднання електроприводу мають бути герметичними, а кабелі прокладені з урахуванням захисту від механічних пошкоджень. У випадку виявлення запаху гару або появи диму стенд слід негайно знеструмити, зупинити подачу тиску та перейти до аварійного реагування згідно з інструкцією.

Кожен працівник, допущений до роботи зі стендом, має бути ознайомлений із планом евакуації у разі пожежі, місцем розташування вогнегасників та правилами їх використання. Не допускається зберігання пального поблизу опалювальних приладів, електроцитів або в зоні, де можливе розбризкування. Категорично заборонено використовувати відкритий вогонь, зокрема під час ремонту або перевірки форсунок, та палити в зоні стенду.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стенд повинен бути встановлений таким чином, щоб у разі займання обладнання або палива було забезпечено швидкий доступ до електричного вимикача та можливість швидкої евакуації персоналу. У разі планування довготривалої експлуатації доцільним є обладнання вентиляційною системою з можливістю відведення пари дизельного пального з робочої зони.

У зв'язку з використанням дизельного пального, мастильних матеріалів та можливістю утворення парів вуглеводнів і продуктів часткового згорання, забезпечення належної вентиляції в приміщенні, де проводиться тестування форсунок, є критично важливим елементом технічного та санітарного забезпечення. Вентиляційна система повинна забезпечувати постійний обмін повітря для зменшення концентрації шкідливих парів та запобігання їх накопиченню до вибухонебезпечних або токсичних рівнів. Рекомендується застосування комбінованої системи вентиляції — загальнообмінної (приточно-витяжної) та місцевої (локальної). Загальнообмінна вентиляція забезпечує загальне оновлення повітря у приміщенні із заданою кратністю повітрообміну не менше 3–5 разів на годину залежно від об'єму приміщення та інтенсивності випробувань. Приточне повітря повинно подаватися ззовні через фільтри, а витяжне — виводитися вище покрівлі через канали з зворотними клапанами. Для запобігання утворенню застійних зон повітряного обміну витяжні отвори рекомендується розміщувати у зоні робочого столу або безпосередньо біля стенду. Локальна витяжна вентиляція реалізується за допомогою витяжних зонтів або герметизованих кожухів з відводом повітря безпосередньо з зони розміщення форсунки під час її продувки чи перевірки. При використанні форсунок високого тиску можливе утворення аерозолів пального, які потребують фільтрації за допомогою вугільних або масловловлюючих фільтрів.

Система вентиляції повинна бути обладнана сигналізацією несправності та, за можливості, автоматичним контролем рівня вмісту шкідливих речовин у повітрі. При перевищенні гранично допустимих концентрацій пара дизельного пального система повинна ініціювати

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

примусове посилення витяжки або аварійне відключення електроживлення стенду.

Раціональне освітлення приміщення, в якому здійснюється діагностика та регулювання дизельних форсунок, є важливою складовою забезпечення безпечних і точних умов праці. Від належного рівня освітленості залежить якість візуального контролю, точність вимірювань, комфорт оператора та зниження ризику травматизму при роботі з високим тиском і легко займистими рідинами.

Для приміщень подібного типу передбачається поєднання загального та місцевого (робочого) освітлення. Загальне освітлення повинно забезпечувати рівномірне освітлення всієї площі приміщення з освітленістю не менше 300 лк. Досягається це шляхом встановлення стельових світильників з LED або люмінесцентними лампами нейтрального білого спектру (4000–5000 К), які не викликають спотворення кольору паливно-мастильних матеріалів та елементів конструкції.

Робоче освітлення виконується у вигляді локальних джерел світла — світильників з регульованим напрямком світлового потоку, встановлених безпосередньо над зоною стенду або вбудованих у кожух приладу. Освітленість робочої зони повинна бути не менше 500 лк, причому джерела світла мають бути захищені від пилу та впливу аерозолів пального. Застосування ламп із індексом передачі кольору (CRI) не менше 80 забезпечує точне розрізнення деталей та візуальний контроль витоку рідини.

Всі освітлювальні прилади в зоні високого тиску або потенційно вибухонебезпечних випарів повинні відповідати класу вибухозахищеного виконання, що унеможливорює іскроутворення та перегрівання поверхні приладу. Крім того, освітлення має бути резервованим або підключеним через автоматичну систему аварійного живлення у разі знеструмлення приміщення — це дозволяє безпечно завершити тестування та зняти тиск із системи.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплексне дотримання вищезазначених вимог безпеки дозволяє уникнути виникнення аварійних ситуацій та забезпечити безпечні умови праці персоналу при діагностиці та регулюванні дизельних форсунок.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



просочені паливом або мастилом, на відкритих поверхнях, оскільки вони становлять екологічну та пожежну небезпеку.

Таким чином, впровадження комплексу організаційних та технічних заходів екологічної безпеки під час експлуатації стенду для діагностики дизельних форсунок дозволяє суттєво знизити негативний вплив на довкілля та забезпечити відповідність вимогам сучасних норм природоохоронного законодавства.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було вирішено завдання розробки тестувального стенду для перевірки та регулювання дизельних форсунок класичного типу, з урахуванням умов експлуатації в сільськогосподарському підприємстві ТОВ НВА «Перлина Поділля».

На основі аналізу існуючих конструкцій діагностичних стендів визначено доцільність використання приводу із ручним або електромеханічним накачуванням пального до робочого тиску. У якості робочого механізму обрано компактну конструкцію з плунжерним насосом, здатну створювати тиск до 200 МПа, що відповідає умовам роботи форсунок тракторів. Обґрунтовано відсутність електропривода у базовій версії стенду з огляду на простоту обслуговування, енергонезалежність і зниження вартості.

Розроблено та аналітично перевірено основні параметри вузлів конструкції: розраховано потужність приводу, зусилля на плунжер, об'єм подачі палива та попередньо визначено характеристики пресостата. Проведено проєктну підготовку до моделювання в середовищі SolidWorks Simulation із метою визначення напружень та перевірки конструктивної міцності стенду.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці, пожежної та екологічної безпеки. Описано технічні та організаційні заходи для зниження ризику травматизму, вибуху пального або впливу шкідливих викидів у навколишнє середовище. Надано рекомендації щодо вентиляції та освітлення приміщення, де проводиться діагностика.

Запропонований стенд є ефективним рішенням для використання в умовах господарства або ремонтної майстерні аграрного профілю, що дозволяє здійснювати діагностику та налаштування форсунок без використання складного та дорогого обладнання.

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ДП АІ 25.06.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46