

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет природокористування  
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра інформаційних технологій

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

**«РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ  
ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛІВ»**

Виконав: студент групи Акт-42сп  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

Піх Д.М.

Керівник роботи:

Запорожцев С.Ю.

ЛЬВІВ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Бакалавр» за спеціальністю –  
 151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
 д.т.н., проф. А.М. Тригуба  
 “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту  
 Піху Данилу Михайловичу

1. Тема роботи

«Розробка автоматизованого робочого місця для тестування гідравлічних систем автомобілів»

Керівник роботи: Запорожцев Сергій Юрійович, к.т.н., доцент.

затверджена наказом по університету від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_\_р., № \_\_\_\_\_.

2. Строк подання студентом роботи: 10.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи:

Технологічні вимоги та обмеження при розробці автоматики для пристроїв отримання сумішей; ДСТи, СНіПи; документація основних виробників ПЛК

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Аналіз предметної області

1.2 Ефективність та якість гідравлічних систем

1.3 Основні симптоми та причини виходу з ладу гідравліки

1.4 Основні помилки в роботі з гідравлічними машинами

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Основні цілі та порядок перевірки гідравлічного обладнання

2.2 Вимірювання параметрів діагностики

2.3 Гідравлічні стенди

2.4 Системи автоматизованого управління діагностикою

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір та опис тестеру для автоматизації

3.2 Аналіз ручного тестування гідравлічної системи

3.3 Розробка алгоритмів тестування елементів гідросистеми

3.4 Вибір технічних засобів автоматизації

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ

АВТОМАТИЗАЦІЇ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
Основні симптоми та причини виходу з ладу гідравліки. Засоби діагностики.  
Датчики для автоматизованого тестування. Вибір тестера. Розробка алгоритма  
тестування. Вибір технічних засобів автоматизації.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Запорожцев С.Ю., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

***КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН***

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	10.02 - 21.03.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування початкових даних</i>	22.03 - 11.04.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	12.04 - 11.05.24	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	12.05 - 17.05.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	18.05 - 23.05.24	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	24.05 - 10.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Піх Д.М.  
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Запорожцев С.Ю.  
 (підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 004.9 : 62.822

Розробка автоматизованого робочого місця для тестування гідравлічних систем автомобілів

Піх Д.М. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 60 с. текст. част., 28 рис., 11 арк. ілюстраційного матеріалу, 20 джерел.

Об’єкт дослідження – тестування гідравлічного обладнання.

Мета роботи – розробка автоматизованого робочого місця для тестування гідравлічних систем автомобілів.

Проведено аналіз предметної області та визначені умови, що впливають на ефективність та якість гідравлічних систем, описані основні причини виходу з ладу гідравліки та помилки в роботі з гідравлічними машинами. Розглянуті цілі та порядок перевірки гідравлічного обладнання, а також засоби вимірювання параметрів діагностики та особливості систем автоматизованого управління діагностикою. Зроблено вибір гідравлічного тестера з ручним управлінням та описані дії тестувальника для визначення певних несправностей гідравлічної системи, визначені напрямки автоматизації. Розроблені алгоритми тестування елементів гідросистеми. Обрано комплект технічних засобів (датчиків та виконавчих пристроїв) для автоматизованого робочого місця. Описані правила техніки безпеки при роботі з гідравлічними пристроями та зроблений розрахунок економічної ефективності системи.

**Ключові слова:** гідравлічні машини, тестування гідравлічного обладнання, автоматизоване робоче місце.

**Keywords:** hydraulic machines, testing of hydraulic equipment, automated workplace.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	9
1.1 Аналіз предметної області .....	9
1.2 Ефективність та якість гідравлічних систем .....	13
1.3 Основні симптоми та причини виходу з ладу гідравліки .....	15
1.3.1 Аномальний шум .....	15
1.3.2 Висока температура масла .....	17
1.3.3 Повільна робота .....	18
1.4 Основні помилки в роботі з гідравлічними машинами .....	19
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА	
КЕРУВАННЯ .....	23
2.1 Основні цілі та порядок перевірки гідравлічного обладнання .....	23
2.2 Вимірювання параметрів діагностики .....	27
2.3 Гідравлічні стенди .....	30
2.4 Системи автоматизованого управління діагностикою .....	34
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ	
АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	38
3.1 Вибір та опис тестеру для автоматизації .....	38
3.2 Аналіз ручного тестування гідравлічної системи .....	40
3.2.1 Тестування насоса .....	40
3.2.2 Тестування запобіжного клапана .....	42
3.2.3 Тестування гідравлічного розподільвача .....	42
3.2.4 Тестування гідравлічної системи з Т-з'єднанням .....	43
3.3 Розробка алгоритмів тестування елементів гідросистеми .....	45
3.4 Вибір технічних засобів автоматизації .....	47
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ....	51
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ	
АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	54

ВИСНОВКИ .....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	59

## ВСТУП

Автоматизовані системи тестування гідравлічного обладнання автомобілів набувають все більшої актуальності в сучасній автомобільній промисловості. Це пов'язано з низкою факторів, включаючи необхідність підвищення надійності та ефективності гідравлічних систем, збільшення складності сучасних автомобілів, а також зростаючі вимоги до якості та безпеки. У цьому контексті автоматизація тестування забезпечує численні переваги, що робить її важливою складовою процесу виробництва та обслуговування автомобілів.

Однією з ключових причин актуальності автоматизованих систем тестування гідравлічного обладнання є підвищення надійності таких систем. Гідравлічне обладнання автомобілів, яке включає гальмівні системи, системи підсилення керма та підвіски, відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпеки та комфортності керування транспортним засобом. Надійне функціонування цих систем є критично важливим, оскільки будь-яка несправність може призвести до серйозних наслідків. Автоматизоване тестування дозволяє виявляти дефекти та недоліки на ранніх стадіях, що знижує ризик поломок і підвищує загальну безпеку автомобіля.

Автоматизовані системи тестування можуть виконувати складні перевірки та діагностику значно швидше, ніж це можливо вручну. Вони здатні виконувати багатофазні тестування, аналізувати великі обсяги даних та виявляти аномалії з високою точністю. Це дозволяє скоротити час на тестування, збільшуючи швидкість виробничих процесів та знижуючи витрати. Це не тільки підвищує довіру споживачів до бренду, але й знижує ризик відгуків продукції та пов'язаних з ними витрат.

Значну роль в актуальності автоматизованих систем тестування відіграють економічні аспекти. Хоча початкові інвестиції в такі системи можуть бути значними, довгострокові вигоди від їх використання перевищують ці витрати. Автоматизація дозволяє знизити витрати на робочу силу, скоротити час простоїв

і підвищити загальну ефективність виробничих процесів. Крім того, виявлення дефектів на ранніх стадіях виробництва дозволяє уникнути дорогих ремонтів та замін, знижуючи загальні витрати на обслуговування та підвищуючи рентабельність.

Крім того, автоматизовані системи тестування сприяють покращенню обслуговування та ремонту автомобілів. Завдяки точній діагностиці та виявленню проблем на ранніх стадіях, автомеханіки можуть ефективніше проводити ремонти та технічне обслуговування. Це знижує час простою автомобілів, підвищує задоволеність клієнтів та знижує витрати на гарантійне обслуговування. Автоматизація також дозволяє створювати бази даних про стан гідравлічних систем, що допомагає в прогнозуванні майбутніх ремонтів та оптимізації запасів запчастин.

Таким чином, автоматизовані системи тестування гідравлічного обладнання автомобілів є важливою складовою сучасної автомобільної промисловості. Впровадження таких систем є стратегічно важливим кроком для виробників автомобілів, який відповідає викликам і потребам сучасного світу.



## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

#### 1.1 Аналіз предметної області

Гідравлічні системи і механізми почали використовуватись людиною дуже давно. Це стало можливо завдяки деяким основним фізичним властивостям рідини - високий спротив стисканню та можливості набирати форму сосуду, в якому рідина знаходиться. Дано визначення.

Гідравлічні механізми - це пристрої та інструменти, які використовують у своїй роботі кінетичну або потенційну енергію рідини. До гідравлічних механізмів відносяться гідравлічні машини. [1-2]

У таких механізмах сила високого тиску гідравлічної рідини перетворюється механізмами різних гідромоторів і циліндрів. Потік рідини можна регулювати безпосередньо або автоматично за допомогою регулюючих клапанів. Потік розподіляється по спеціальних гідравлічних шлангах і трубках.

Гідравлічні механізми дуже популярні в машинобудуванні і різних системах завдяки тому, що через тонкі трубки і гнучкі шланги можна передавати величезну енергію. Розглянемо приклади множення гідравлічної сили і крутного моменту.

Фундаментальною основою гідравлічних систем є можливість множити силу або крутний момент простим способом, без використання шестерень і важелів. Це досягається за рахунок зміни ефективної робочої поверхні з'єднаних циліндрів або за рахунок передачі енергії від насоса до двигуна.

Приклади наведені на рис.1.1.

Перша схема показує два з'єднаних циліндри. Нехай циліндр С1 має діаметр 1 см, а циліндр С2 - 10 см. Якщо сила, що діє на С1, дорівнює 10 Н, то сила, що діє на С2 з боку рідини, дорівнює 1000 Н, тому що циліндр С2 має площу ( $S = \pi R^2$ ) d 100 разів більше С1. Зворотною стороною цієї переваги є те,

що для того, щоб зрушити циліндр С2 на 1 см, необхідно зрушити циліндр С1 на 100 см.

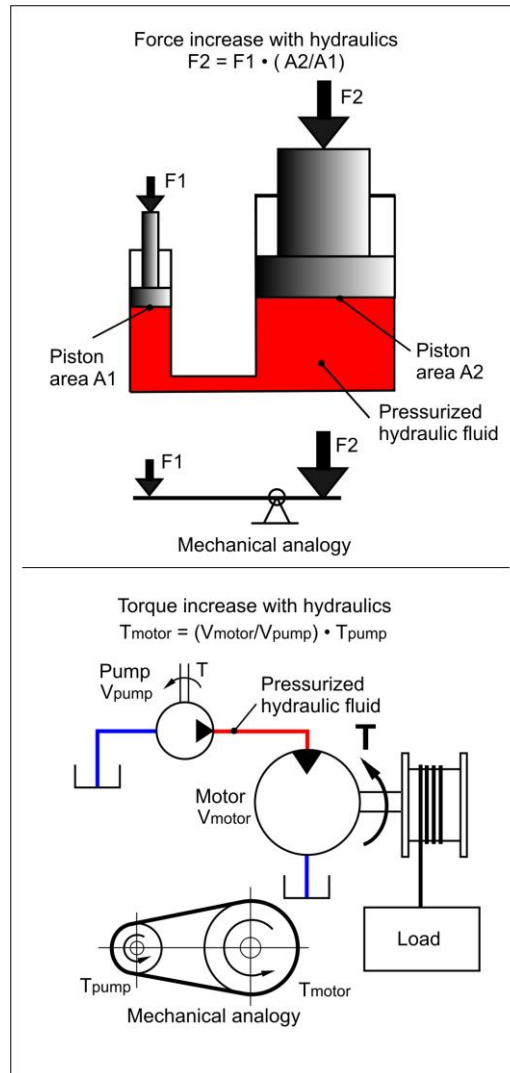


Рисунок 1.1 - Приклади гідравлічних механізмів

На другій схемі рисунку 1.1 ми бачимо насос і мотор. Якщо гідравлічний роторний насос, що переміщує 10 мл/об рідини, з'єднати з гідравлічним роторним двигуном, що рухається на 100 мл/об, то прикладений крутний момент для обертання насоса в 10 разів менший, ніж крутний момент двигуна, але швидкість обертання двигуна буде в 10 разів меншою, ніж у насоса.

Обидва приклади можна назвати гідравлічною або гідростатичною трансмісією, яка має точне передавальне число.

Щоб гідравлічна рідина виконувала свою роботу, потік рідини повинен надходити в привід або двигун, а потім повертатися в бак. Далі рідина

фільтрується і подається назад в насос (відкритий контур гідроприводу). Шлях руху рідини називається гідравлічним контуром, який буває декількох видів.

У контурах з відкритим центром використовується насос, який є джерелом постійного потоку. Рідина повертається в бак через регулюючий клапан, який розуміється як клапан з відкритим центром, тобто коли клапан знаходиться в центральному положенні, він відкриває зворотний шлях для рідини в бак і високий тиск не створюється. При спрацьовуванні клапана потік направляється або в силовий агрегат, або в бак. Тиск рідини буде збільшуватися до тих пір, поки вона не отримає опір, тоді насос буде мати постійну потужність. Якщо тиск рідини стане занадто високим, рідина почне повертатися в бак через клапан скидання тиску. Різні регулюючі клапани можуть бути з'єднані послідовно. У цьому типі схеми можуть використовуватися недорогі змінні насоси.

У контурах із замкнутим центром повний тиск подається на регулюючі клапани, незалежно від того, спрацьовує клапан чи ні. Насоси змінюють свої вихідні потоки, змушуючи дуже слабкий потік рідини, поки оператор не натисне на клапан. Різні регулюючі клапани можуть бути підключені паралельно один одному, кожен з однаковим тиском.

Існує дві основні конфігурації контурів із замкнутим центром, які з'єднують регулятор із насосом змінної витрати рідини.

Системи постійного тиску (стандартна система). У такій системі тиск насоса завжди дорівнює тиску, встановленому його регулятором. Установка регулятора повинна бути в змозі покрити максимальний тиск, створений навантаженням. Насос створює витрату, рівну сумі потоків всіх споживачів. Така система КП має великі втрати потужності, якщо вихідне навантаження змінюється в широкому діапазоні і середній тиск в системі набагато нижче встановленого регулятором. Система СР проста у виготовленні. Також працює пневматична система. У систему можна легко додати нові гідравлічні компоненти, і вона швидко реагує на керування.

Системи постійного тиску (ненавантажені системи). Така ж конфігурація, як і в стандартній системі СР, тільки насос знаходиться в режимі очікування,

створюючи низький тиск, коли всі клапани знаходяться в нейтральному положенні. Система має більш повільну реакцію на регулюючі клапани, ніж стандартна система CP, але збільшує термін служби насоса.

Системи визначення навантаження (LS-система) мають менші втрати, оскільки насос зменшує як вихідну витрату, так і тиск, регулюючи їх відповідно до вимог навантаження, але вимагає більш точного регулювання, ніж система CP щодо стабільності. Система LS також вимагає додаткових логічних клапанів, компенсаторів в спрямованих клапанах, тому система технічно складніша і дорожча. У такій системі виникають втрати, які залежать від перепаду тиску на регуляторі насоса:

$$Power\ loss = \Delta P_{ls} \cdot Q_{tot}$$

Зазвичай,  $\Delta P_{ls}$  приймають рівним близько 2 МПа (290 psi). Якщо швидкість потоку висока, втрати можуть бути значними. Втрати також збільшуються, якщо ефективне навантаження сильно змінюється.

Гідравлічні насоси - це гідравлічні машини, які перетворюють механічну енергію двигуна в енергію рідини, що переміщується, збільшуючи її тиск. [3] Різниця тисків між рідиною в насосі і трубопроводі змушує його рухатися. Гідравлічні насоси піднімають рідину на певну висоту, подають її на необхідну відстань в горизонтальній площині або змушують циркулювати в замкнутій системі.

У гідравлічних трансмісіях використовуються гідравлічні насоси, призначення яких полягає в передачі механічної енергії від двигуна до виконавчого робочого органу, а також в перетворенні типу і швидкості руху останнього через рідину.

В якості силового приводу використовуються різні силові установки: двигуни внутрішнього згорання, дизельні двигуни, електродвигуни. Гідравлічні машини - це силові машини, які передають механічну енергію від рідини до рухомого твердого тіла або від рухомого твердого тіла до рідини. [4]

Термін «гідравлічні машини» є загальним терміном для:

- гідравлічних турбін - турбін, в яких вода використовується в якості робочої рідини, та які використовуються в якості приводу для електрогенераторів на гідроелектростанціях;

- гідравлічних насосів - гідравлічних машин для створення потоку рідини;

- об'ємних гідравлічних машин - гідромоторів і насосів об'ємного принципу дії, які перетворюють енергію тиску рідини в механічну енергію (або навпаки) в процесі почергового заповнення робочої камери машини рідиною і витіснення її з робочої камери.

Нарівні з електричними обертовими машинами, більшість гідравлічних машин мають властивість оборотності і здатність працювати як насоси, так і мотори.

Термін «гідравлічні машини» не слід плутати з терміном «гідравлічні механізми», що на напівтехнічній мові означає машини, робочі органи яких приводяться в рух за допомогою гідравлічного приводу.

## 1.2 Ефективність та якість гідравлічних систем

Оцінка ефективності промислової гідравліки, як правило, проводиться при експлуатації гідравлічних машин при плановому і плановому технічному обслуговуванні, а також при виникненні відхилень в режимах роботи гідронасосів і гідромоторів, наприклад, при збільшенні тривалості робочих циклів або збільшенні втрат робочої рідини. [5-6] Оцінка ефективності гідравлічних пристроїв є основою для прийняття рішення про заміну тієї чи іншої частини гідравлічної машини.

Існує кілька методик оцінки. Найпоширенішим з них є розрахунок коефіцієнта корисної дії (ККД). Ефективність промислової гідравліки характеризується трьома видами ККД, до яких можна віднести наступні: об'ємний; механічний; загальний.

Розрахунок цих параметрів дозволяє достовірно визначити, наскільки ефективним (або неефективним) є функціонування існуючого гідравлічного обладнання.

Об'ємний ККД розраховується шляхом ділення фактичної витрати масла на його розрахункове значення, яке в свою чергу розраховується шляхом множення об'єму робочої рідини, що запускається гідравлічним насосом протягом одного робочого циклу, на частоту обертання. Наприклад, для насоса з робочим об'ємом 100 куб.см при 1000 об/хв розрахункова витрата становить 100 л/хв.

Механічний ККД обчислюється шляхом ділення розрахункового крутного моменту для даного насоса на значення фактичного крутного моменту. Ця величина показує, наскільки збільшилося тертя під час роботи гідравліки, що перешкоджає нормальній роботі обладнання. В експлуатаційній документації на гідравлічні пристрої часто можна зустріти альтернативну назву - гідравлічний ККД.

Загальний ККД є добутком об'ємного і механічного ККД. Ця величина дає можливість всебічно оцінити ефективність. Саме на підставі загального значення ККД приймається рішення про заміну деталей гідравлічної системи.

Існує наступна типова загальна шкала ККД для різних насосів:

- аксіально-поршневі – 90-92%;
- радіально-поршневі – 90%;
- шестерневі – 85-90%;
- пластинчасті – 85%.

Ці величини використовуються при проектуванні промислових систем гідравліки і при прогнозуванні сервісної лінії обладнання.

Існує також температурний метод оцінки ефективності гідравліки.

Ефективність вантажопідійомних гідравлічних машин може бути оцінена не тільки методом розрахунку коефіцієнтів корисної дії. Про неефективну роботу підійомної гідравліки свідчить підвищення середньої температури робочої рідини. Нагрівання масла при роботі потужних гідропідійомників є

об'єктивним фактором, і щоб запобігти таким негативним наслідкам, як пожежі, таке обладнання оснащується спеціальними теплообмінниками.

Однак якщо навіть спеціалізовані теплообмінники не справляються із завданням охолодження масла, то загальний ККД гідравліки знижується. Занадто сильне нагрівання може бути викликано полімеризацією робочої рідини в результаті її старіння, проникненням повітря в масло, забрудненням теплообмінників.

Оцінка ефективності гідравліки на основі зміни температури масла проводиться за показаннями, знятими при регулярному технічному обслуговуванні обладнання. Для цього використовуються стандартні термометри, які оснащуються підйомними гідравлічними пристроями. Якщо спостерігається постійна тенденція до підвищення робочої температури в динаміці, це говорить про необхідність вжиття заходів щодо підвищення ефективності роботи гідравлічного обладнання.

### 1.3 Основні симптоми та причини виходу з ладу гідравліки

Профілактичне обслуговування наголошує на регулярному виявленні та усуненні першопричин, які в іншому випадку призвели б до виходу обладнання з ладу. У випадку з гідравлічними системами є три легко виявлені симптоми, які дозволяють заздалегідь визначити першопричину стану. Ці симптоми включають аномальний шум, високу температуру гідравлічного масла та повільну роботу. [7-8]

#### 1.3.1 Аномальний шум

Аномальний шум у гідравлічних системах часто викликаний аерацією або кавітацією. Аерація відбувається, коли повітря забруднює гідравлічне масло. Повітря в гідравліці видає тривожний стукіт або стукіт при стисненні і декомпресію при циркуляції в системі.

Інші симптоми включають спінювання масла та непостійний рух приводу. Аерація прискорює розкладання масла і викликає пошкодження компонентів системи через втрату мастила, перегрів і вигоряння ущільнювачів.

Повітря зазвичай надходить в гідравлічну систему через вхідний отвір насоса. З цієї причини важливо переконатися, що всмоктувальний трубопровід насоса знаходиться в хорошому стані, а всі хомути та фітинги затягнуті. Гнучкі всмоктуючі лінії можуть ставати пористими з віком; Тому замініть старі або підозрілі водозабірні магістралі. Якщо рівень гідравлічного масла в бачку низький, може утворитися вихор, що дозволяє повітрю потрапляти у вхідний отвір насоса.

Треба перевірити рівень масла в бачку і, якщо він низький, долити до потрібного рівня. У деяких системах повітря може надходити в насос через ущільнення валу. Перевірити стан ущільнення валу насоса і, якщо він протікає, замінити його.

Кавітація виникає, коли обсяг гідравлічного масла, необхідний для будь-якої ділянки гідравлічного контуру, перевищує обсяг масла, що подається. Це призводить до того, що абсолютний тиск у цій частині контуру падає нижче тиску пари гідравлічного масла. Це призводить до утворення всередині масла парових порожнин, які при стисненні вибухають, викликаючи характерний стукіт.

Наслідки кавітації в гідравлічній системі можуть бути серйозними. Кавітація викликає ерозію металу, що пошкоджує гідравлічні компоненти і забруднює масло. У крайніх випадках кавітація може призвести до механічного пошкодження компонентів системи.

Хоча кавітація може виникнути практично в будь-якому місці гідравлічного контуру, зазвичай вона виникає в насосі. Засмічений впускний фільтр або обмежена впускна лінія призведе до випаровування масла у впускній лінії. Якщо насос має сітчастий або вхідний фільтр, важливо, щоб він не засмічувався. Якщо на всмоктуючій магістралі встановлений запірний вентиль, він повинен бути повністю відкритий.



Цей вид ізоляційного пристрою сприйнятливий до вібрації в закритому стані. Всмоктувальна лінія між баком і насосом не повинна бути обмежена. Гнучкі водозабірні магістралі схильні до зносу з віком; тому замініть старі або підозрілі водозабірні магістралі.

### 1.3.2 Висока температура масла

Температура гідравлічного масла вище 180°F (82°C) може пошкодити ущільнення та прискорити деградацію масла. Це означає, що робота будь-якої гідравлічної системи при температурі вище 180°F шкідлива, і її слід уникати. Температура масла занадто висока, коли в'язкість падає нижче оптимального значення для компонентів системи. Температура, при якій це відбувається, залежить від в'язкості масла в системі і може бути значно нижче 180 °F.

Висока температура гідравлічного масла може бути викликана будь-чим, що або знижує здатність системи розсіювати тепло, або збільшує її теплове навантаження. Гідравлічні системи розсіюють тепло через резервуар. Тому слід стежити за рівнем масла в резервуарі і підтримувати його на потрібному рівні. Переконайтеся, що навколо резервуара немає перешкод для потоку повітря, таких як накопичення бруду або сміття.

Важливо оглянути теплообмінник і переконатися, що сердечник не заблокований. Здатність теплообмінника розсіювати тепло залежить від витрати як гідравлічного масла, так і охолоджуючого повітря або води, що циркулює через теплообмінник. Тому перевірте працездатність всіх компонентів контуру охолодження і при необхідності замініть.

Коли масло переміщується з області високого тиску в область низького тиску без виконання будь-якої корисної роботи (перепаду тиску), виділяється тепло. Це означає, що будь-який компонент, який має ненормальний внутрішній витік, збільшить теплове навантаження на систему. Це може бути що завгодно: від циліндра, в якому масло під високим тиском протікає через поршневе ущільнення, до неправильно відрегульованого запобіжного клапана. Визначте та замініть усі компоненти, які виділяють тепло.

При стисненні повітря виділяє тепло. Це означає, що аерація збільшує теплове навантаження на гідравлічну систему. Як вже пояснювалося, кавітація - це утворення парових порожнин всередині масла. Ці порожнини при стисненні виділяють тепло. Як і аерація, кавітація збільшує теплове навантаження. Тому перевірте систему на наявність можливих причин аерації та кавітації.

Крім пошкодження ущільнень і скорочення терміну служби гідравлічного масла, високі температури масла можуть викликати пошкодження компонентів системи через недостатнє змащення в результаті надмірного витончення масляної плівки (низька в'язкість). Щоб запобігти пошкодженню, спричиненому високою температурою масла, у системі слід встановити сигналізацію температури масла, а всі показники високої температури слід негайно дослідити та виправити.

### 1.3.3 Повільна робота

Зниження продуктивності машини часто є першою ознакою несправності гідравлічної системи. Зазвичай це проявляється в більш тривалому циклі або повільній роботі. Важливо пам'ятати, що в гідравлічній системі швидкість потоку визначає швидкість і реакцію приводу. Тому втрата швидкості вказує на втрату потоку.

Потік може виходити з гідравлічного контуру через зовнішній або внутрішній витік. Зовнішній витік, наприклад, розрив шланга, зазвичай очевидний, тому його легко знайти. Внутрішній витік може статися в насосі, клапанах або виконавчих механізмах, і якщо у вас немає рентгенівського зору, його важче ізолювати.

Як зазначалося раніше, там, де є внутрішній витік, відбувається перепад тиску, а там, де є перепад тиску, виділяється тепло. Це робить інфрачервоний термометр корисним інструментом для виявлення компонентів з ненормальним внутрішнім витіком. Однак вимірювання температури не завжди дає остаточний результат для усунення внутрішнього витіку, і в цих випадках буде потрібно використання гідравлічного витратоміра.

Вплив внутрішнього витоку на теплове навантаження означає, що повільна робота та висока температура масла часто відбуваються разом. Це може бути замкнуте коло. З підвищенням температури гідравлічного масла в'язкість зменшується. При зниженні в'язкості збільшується внутрішній витік. У міру збільшення внутрішнього витоку теплове навантаження збільшується, в результаті чого температура масла ще більше підвищується, і цикл триває.

Проактивний моніторинг шуму, температури масла та тривалості циклу є ефективним способом виявлення умов, які можуть призвести до дорогих відмов компонентів і незапланованих простоїв гідравліки. У більшості випадків все, що потрібно - це інформоване спостереження.

#### 1.4 Основні помилки в роботі з гідравлічними машинами

Обслуговування гідравлічного обладнання вимагає досвіду навчання на помилках і упущеннях, які допускають користувачі при обслуговуванні свого гідравлічного обладнання.

Однією з найпоширеніших помилок є неправильна заміна масла. Є тільки дві умови, які вимагають заміни гідравлічного масла: деградація базового масла або виснаження пакету присадок. Оскільки існує так багато змінних, які визначають швидкість, з якою олива деградує, а присадки виснажуються, заміна гідравлічного масла залежно від мотогодин, без будь-якої прив'язки до фактичного стану оливи, схожа на зйомку в темряві.

З іншого боку, якщо ви продовжуєте працювати з деградованою базовою оливою або збідненими присадками, ви скорочуєте термін служби всіх інших компонентів гідравлічної системи. Єдиний спосіб дізнатися, коли потрібно міняти масло, це зробити аналіз масла.

Аналогічна ситуація і з гідрофільтрами. Якщо ви змінюєте їх за розкладом, ви змінюєте їх або занадто рано, або занадто пізно. Якщо ви заміните їх до того, як буде витрачено всю їх ємність для бруду, ви витратите гроші на непотрібну заміну фільтра. Якщо замінити їх пізно, після того, як фільтр був обійдений,

збільшення кількості частинок в маслі непомітно скоротить термін служби кожного компонента в гідравлічній системі, що в довгостроковій перспективі обійдеться набагато дорожче.

Рішення полягає в тому, щоб замінити фільтри, коли вся їх ємність буде витрачена, але до відкриття перепускного клапана. Для цього потрібен механізм, який відстежує обмеження потоку (падіння тиску) через фільтруючий елемент і сповіщає вас про досягнення цієї точки. Індикатор засмічення є найбільш грубою формою цього пристрою. Найкращим рішенням є постійний контроль перепаду тиску на фільтрі.

Ще одна помилка - робота на гарячому обладнанні. Деякі власники або оператори обладнання продовжують експлуатувати перегрітий двигун. На жаль, цього не можна сказати, коли гідравлічна система стає занадто гарячою. Але, як і у випадку з двигуном, найшвидший спосіб зруйнувати гідравлічні компоненти, ущільнювачі, шланги та саме масло – це робота при високих температурах.

Наскільки гаряче для гідравлічної системи? Це залежить, головним чином, від в'язкості та індексу в'язкості (швидкість зміни в'язкості як функція температури) оливи, а також від типу гідравлічних компонентів у системі.

З підвищенням температури масла його в'язкість зменшується. Отже, гідравлічна система працює занадто гарячою, коли досягає температури, при якій в'язкість масла падає нижче тієї, яка необхідна для достатнього змащення.

Пластинчастий насос вимагає більш високої мінімальної в'язкості, ніж, наприклад, поршневий насос. Ось чому тип компонентів, що використовуються в системі, також впливає на її максимальну безпечну робочу температуру.

Крім питання належного змащення, важливість якого важко переоцінити, робочі температури вище 82 градусів за Цельсієм пошкоджують більшість ущільнювальних і шлангових з'єднань і прискорюють розкладання масла. Але з причин, які вже були пояснені, гідравлічна система може працювати занадто гарячою, значно нижчою за цю температуру.

Масло є найважливішим компонентом будь-якої гідравлічної системи. Гідравлічне масло є не тільки мастилом, але і засобом передачі потужності через

гідравлічну систему. Саме ця подвійна роль робить в'язкість найважливішою властивістю оливи, оскільки вона впливає як на продуктивність машини, так і на термін її служби.

В'язкість масла багато в чому визначає максимальну і мінімальну температуру масла, при якій гідравлічна система може безпечно працювати. Якщо ви використовуєте оливу з в'язкістю, яка занадто висока для клімату, в якому передбачається експлуатація машини, масло не буде текти належним чином і не буде належним чином змащуватися під час холодного запуску.

Якщо ви використовуєте масло з занадто низькою в'язкістю для переважаючого клімату, воно не зможе підтримувати необхідну мінімальну в'язкість і, отже, достатню мастило в найспекотніші дні року.

Але це ще не все. У межах допустимих меж в'язкості, необхідних для адекватного змащення, існує більш вузький діапазон в'язкості, в якому втрати потужності зведені до мінімуму. Якщо в'язкість робочого масла вище ідеальної, на тертя рідини втрачається більше потужності. Якщо робоча в'язкість менша за ідеальну, більше потужності втрачається через тертя та внутрішній витік.

Використання оливи з неправильною в'язкістю не тільки призводить до пошкодження мастила та передчасного виходу з ладу ключових компонентів, але й збільшує споживання енергії (дизельного палива чи електрики).

Суттєвою помилкою також є неправильне розташування фільтрів.

Є два місця для гідрофільтрів, які приносять більше шкоди, ніж користі і можуть швидко зруйнувати ті самі компоненти, для захисту яких вони були встановлені. Слід уникати ділянок фільтрації, таких як вхідні та зливні лінії з корпусів поршневих насосів і двигунів.

Це суперечить загальноприйнятій думці про те, що на вході насоса повинен бути встановлений сітчастий фільтр, щоб захистити його від «сміття». Якщо ваша головна турбота полягає в тому, щоб максимізувати термін служби насоса, то набагато важливіше, щоб масло вільно і повністю заповнювало камери насоса під час кожного всмоктування, ніж захищати його від гайок і болтів. Вони не

становлять небезпеки в правильно спроектованому резервуарі, де вхід насоса знаходиться на відстані не менше 2 дюймів від дна.

Дослідження показали, що обмежений потік може скоротити термін служби шестеренчастого насоса на 56 відсотків. І це гірше для лопатевих і поршневих насосів, тому що ці конструкції гірше витримують сили, викликані вакуумом, викликаним обмеженим всмоктуванням. Гідравлічні насоси не розраховані на «всмоктування».

Ще один набір проблем виникає з фільтрами, встановленими на зливних магістралях поршневих насосів і двигунів, але результат такий же, як і у всмоктуючих сітчастих фільтрів. Вони можуть скоротити термін служби та спричинити катастрофічні поломки цих дорогих компонентів. Перш ніж приступити до цього, ви захочете прочитати плюси та мінуси розташування гідравлічного фільтра.

Таким чином, для того, щоб гідравлічні системи працювали в нормальних режимах, а також для тестування та своєчасного обслуговування і ремонту треба використовувати спеціальне діагностичне обладнання, види і типи якого розглянемо в наступному розділі.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 2.1 Основні цілі та порядок перевірки гідравлічного обладнання

В процесі експлуатації машин з гідроприводом технічні параметри гідрообладнання змінюються від номінального до граничного значення. Це визначається рівнем прийнятих проектних рішень, якістю виготовлення, режимами роботи, своєчасністю і якістю технічного обслуговування і ремонту. Для підтримки гідроприводу в робочому стані та своєчасного виявлення ознак пошкодження на ранній стадії технічний стан контролюють за допомогою методів технічної діагностики. [9]

Гідравлічний привід включає в себе різні технічні системи з точки зору діагностування:

- електричну – привід силового електродвигуна та елементи системи управління (електромагніти направляючої та регулюючої апаратури);
- механічну – насос, виконавчий механізм (гідроциліндр, гідромотор і т.д.), рухомі елементи регуляторів і клапанів;
- гідравлічну – гідравлічні лінії (трубопроводи і шланги), бак, гідроакумулятор, система очищення і робоча рідина.

Крім того, необхідно провести діагностику комп'ютерних елементів системи управління, в тому числі і датчиків.

Діагностика електричної системи проводиться за параметрами провідності та ізоляційних властивостей, параметрами електричних величин (струм, напруга). При цьому враховується температура вузлів. Поточний аналіз приводного двигуна використовується для визначення можливих перевантажень гідравлічної системи.

Діагностика механічної системи проводиться за параметрами вібрації (вимірювання загального рівня, аналіз складових спектра і часу реалізації вібросигналу), характеру шуму (зміна тональності, ритму і гучності звуку),

результатів візуального огляду, температурних параметрів, включаючи швидкість нагріву окремих елементів. Особлива увага приділяється відсутності витоків робочої рідини, якості затягування різьбових з'єднань, відсутності тріщин в деталях корпусу. При дефектуванні окремих деталей застосовують методи неруйнівного контролю - магнітні, електричні, вихроструміві, теплові, оптичні, радіаційні, ультразвукові, капілярні.

Основним параметром гідроприводу, що характеризує його технічний стан, є об'ємний ККД - відношення потоку насоса при номінальному тиску до теоретичної витрати. У зв'язку з неможливістю безпосереднього вимірювання об'ємного ККД гідроприводу для оцінки стану використовуються такі діагностичні параметри: тиск, витрата, швидкість та ін. Аналіз якості робочої рідини є основою для прийняття рішення про заміну і визначення джерел і характеру забруднення.

Розпізнавання стану гідроприводу здійснюється в умовах обмеженої інформації. Ці обмеження пов'язані з тим, що діагностика гідроприводу або його вузлів проводиться без розбирання об'єкта. Для цього використовується кілька рівнів контролю:

- виявлення ознак несправності, відхилень у роботі гідроприводу;
- діагностика ступеня пошкодження або локалізації дефекту;
- визначення причини поломки проводиться під час ремонту.

В даний час, незважаючи на значний розвиток апаратних засобів вимірювання і контролю, велику роль у визначенні несправностей і знаходженні пошкоджень гідравлічного обладнання відіграють суб'єктивні методи. Ці методи мають на увазі використання органів чуття людини. Комплекс органолептичних методів контролю називається інспекцією. Інспекція включає в себе елементи візуального, вимірювального контролю, сприйняття шумів і вібрацій, оцінки ступеня нагріву деталей тіла, сенсорних методів, що застосовуються для визначення фактичного стану обладнання та його вузлів, процесів взаємодії, впливу навколишнього середовища і умов експлуатації.



Процес перевірки, як правило, проводиться без зупинки і без розбирання окремих вузлів. Огляд проводиться «за напрямком потоку» робочої рідини, починаючи з бака:

1. Рівень і температуру робочої рідини перевіряють покажчиком на стінці бака. На верхніх кришках резервуарів встановлені електричні датчики мінімального рівня, які подають сигнал, якщо рівень рідини в баку опускається нижче встановленої межі.

2. Відповідно до графіка випробувань слід відібрати пробу робочої рідини з резервуара і здати в лабораторію для перевірки кінематичної в'язкості, кислотного числа (кількість міліграмів гідроксиду калію КОН, необхідне для нейтралізації всіх кислотних компонентів, що містяться в 1 г досліджуваної речовини), наявності механічних домішок і води. За результатами аналізу приймається рішення про можливість подальшого використання робочої рідини або її заміни.

3. При неможливості перевірки робочої рідини в лабораторії перелити пробу в чисту скляну ємність (пробірку, мензурку), дати їй відстоятися протягом 5-6 годин і візуально оцінити якість за кольором і вмістом механічних домішок і води. Можлива поява осідання води, механічних домішок і продуктів термічного розкладання внаслідок окислення. Якщо якість робочої рідини залишає бажати кращого, осад буде темним, непрозорим або у вигляді жовтувато-молочної емульсії, що свідчить про наявність в ньому води і повітря.

4. Перевіряється технічний стан всмоктуючої гідролінії з встановленою в ній запірною арматурою. Необхідно переконатися у відсутності деформованих ділянок при різкому вигині, що скорочує перетин проходу, і в тому, щоб не було пошкоджень гнучких шлангів. Особливу увагу слід приділити відсутності слідів зовнішніх протікань.

5. Контролюється стан і робота повітряного клапана (сапуна).

6. Робота насоса перевіряється з точки зору температури, тиску, подачі робочої рідини, вібрації та шуму в гідравлічній системі.

7. Роботу гідрорегулюючої апаратури оцінюють за характером шуму під час роботи, наявністю зовнішніх витоків, відсутністю видимих пошкоджень і ослаблення різьбових з'єднань.

8. Роботу виконавчих механізмів гідравлічної системи перевіряють за тиском, витратою, напрямком і швидкістю руху, зовнішніми витоками, сторонніми шумами і вібрацією.

9. Проводиться опитування технологічного персоналу – машиністів – про помічені неполадки, внесені регулювання та зміни налаштувань клапанів. Опитування поєднується з аналізом записів в агрегованих журналах.

Основне завдання при появі ознак несправності накопичувача полягає в локалізації несправності - виявленні конкретного несправного елемента системи. Процес усунення несправностей ділиться на послідовні етапи: спочатку визначається тип функціональної несправності гідравлічної системи, потім уточнюється група гідравлічних пристроїв, несправності яких можуть викликати функціональні збої. При цьому використовується досвід, отриманий в процесі експлуатації системи. На основі аналізу логічної моделі встановлюються причинно-наслідкові зв'язки між окремими агрегатами, аналізуються різні комбінації вимірюваних параметрів і робиться припущення про локалізацію несправності. Після цього виявляється несправний елемент, визначається тип несправності і приймається рішення про спосіб її усунення.

Для складних гідравлічних систем доцільно розробляти окремі алгоритми усунення несправностей і рекомендації щодо усунення причин їх виникнення, включаючи графіки планово-попереджувальних ремонтів. Аналіз можливих причин виходу з ладу проводиться на основі зчитування гідравлічних схем атласів, що представляють собою набори ламінованих гідравлічних схем для кожного циклу виконуваних операцій з виділенням кольору напрямків потоків робочої рідини і розподілом номінального тиску по гідравлічних лініях. Іншим кольором підкреслюється напрямок потоку і розподіл низького тиску по гідравлічних лініях і з'єднаннях в гідравлічній системі дистанційного керування.

В атласах вказують контрольні точки включення діагностичного обладнання, наведені технічні параметри гідравлічного регулювання клапанів.

Своєчасне усунення поступових збоїв і їх причин дозволяє запобігти виникненню раптових збоїв з припиненням роботи всього гідроприводу. Усунення причин поступових збоїв є основним завданням обслуговування гідравлічної системи.

## 2.2 Вимірювання параметрів діагностики

Кожен елемент гідравлічного обладнання має свої діагностичні параметри, наприклад:

- для насосів і гідромоторів - об'ємний ККД;
- для всмоктуючих і напірних гідравлічних ліній – герметичність;
- для змінних насосів і гідромоторів – характеристика регулювання, що визначає залежність подачі від тиску на виході;
- для гідроциліндрів – механічний та об'ємний ККД (зовнішні та внутрішні витоки робочої рідини);
- для секційних і моноблочних розподільників – витік робочої рідини через зазори золотників, установка (відкриття) тиску первинних і вторинних запобіжних клапанів;
- зовнішня герметичність і протікання в зворотних клапанах;
- для гідравлічних блоків управління – плавність і діапазон регулювання керуючого тиску;
- для гідравлічних блоків управління – тиск нагнітання газової порожнини гідропневмоакумулятора і герметичність зворотного клапана;
- для гідрозамків і гальмівних кранів – керуючий тиск запірною елемента і внутрішні витоки робочої рідини при зворотному потоці;
- для лінійних фільтрів – перепад тиску на фільтруючому елементі та тиск спрацьовування переливного клапана.

Технічна діагностика проводиться шляхом вимірювання та контролю (порівняння) кількісних значень параметрів, аналізу та обробки результатів вимірювань і контролю, а також шляхом контролю об'єкта відповідно до діагностичного алгоритму. [10] Отримання кількісних значень діагностичних параметрів вимагає застосування інструментальних методів. Серед засобів технічної діагностики, що застосовуються для діагностики гідравлічного обладнання, за рівнем розв'язуваних завдань і контрольно-вимірювальних приладів можна виділити наступні:

1. Манометри призначені для вимірювання тиску в цифровому або аналоговому виконанні в контрольних точках гідравлічної системи. Сучасні манометри мають можливість вимірювати динамічні піки тиску з частотою сканування 0,01 с. Користувач в залежності від потреб може обрати між цілим набором для аналізу тиску (рис. 2.1) і окремими приборами (рис. 2.2).



Рисунок 2.1 - Набір для аналізу тиску



а

б

Рисунок 2.2 - Манометри: а) стрілочний; б) цифрові

2. Гідротестери (рис. 2.3 - 2.5) являють собою витратомір прямої дії, термометр, завантажувальний клапан і манометр, вбудований в сталевий корпус. Гідротестер може підключатися як до напірної, так і до зворотної магістралі. Особливістю тестера є вбудований завантажувальний клапан, який дозволяє імітувати навантаження в гідравлічній системі, обмежуючи витрату робочої рідини. Деякі тестери можуть записувати (реєструвати) декілька фізичних величин (рис. 2.5)



Рисунок 2.3 - Гідротестери



Рисунок 2.4 – Цифровий гідротестер

3. Пристрої для виявлення витоків можуть виявляти внутрішні та зовнішні виточки за рівнем ультразвукової вібрації.



Рисунок 2.5 - Реєстратор даних: витрата, тиск, температура

### 2.3 Гідравлічні стенди

Гідравлічні стенди призначені для перевірки і подальшого вдосконалення гідравлічних пристроїв або запасних частин до них, розрахунку різних технічних характеристик, виявлення можливості працездатності при різних навантаженнях. [11-13]

Багато стендів оснащені новими високоякісними технологіями, які легко фіксують поломки обладнання різної складності, а також сприяють збільшенню або зменшенню жорсткості гідравлічної системи в залежності від даних, отриманих в ході випробування. На таких стендах циліндри, посудини, труби і так далі випробовуються на міцність під впливом різних механічних або термічних відхилень. При цьому зменшується кількість дефектів обладнання або запчастин, що випускаються в подальшому, а також знижуються фінансові витрати виробника.

Гідравлічні випробувальні стенди можуть показувати такі параметри:

- функціональні можливості гідравлічного обладнання;
- показання тиску при різних навантаженнях на відповідність стандартам;
- герметичність, як внутрішню, так і зовнішню;
- різного роду поломки або огріхи при складанні гідравлічних механізмів;
- виявлення внутрішніх витоків робочих рідин;
- ідентифікація технічних характеристик, з подальшим зберіганням даних про різні види носіїв інформації.

Наприклад, на рис. 2.6 зображена схема діагностики технічного стану аксіально-поршневого насоса, на якій цифрами позначені: 1 – фототахометр; 2 – турбінний витратомір з вбудованим завантажувальним клапаном і системою безпеки; 3 – турбінний витратомір з отвором для вимірювання тиску і температури; 4 – завантажувальний клапан; 5 – цифровий зчитувач для вимірювання подачі, температури і частоти обертання приводного вала насоса.

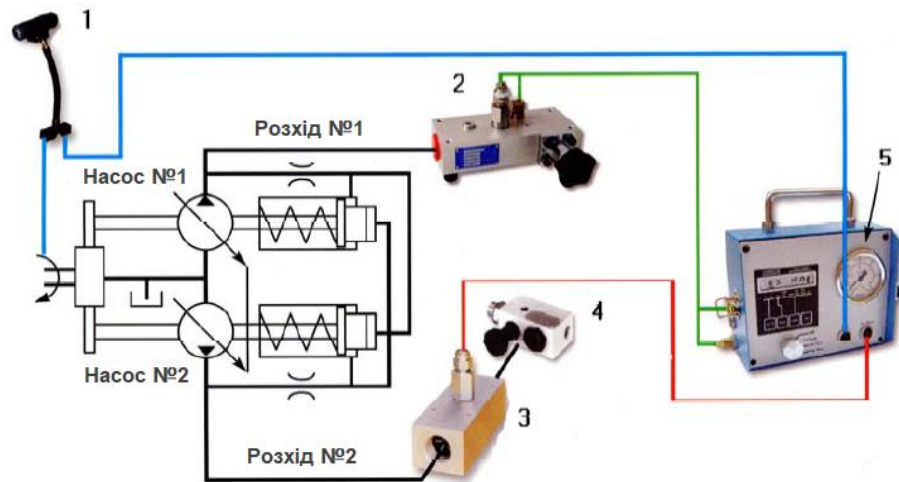


Рисунок 2.6 – Схема діагностики аксіально-поршневого насоса

Вбудовані системи використовуються тоді, коли необхідно постійно контролювати технічний стан обладнання. Завдання, які необхідно вирішити: захист обладнання від нестандартних режимів роботи, моніторинг технічного стану, діагностика стану обладнання. Основні напрямки розвитку: контроль комплексу діагностичних параметрів; використання персональних комп'ютерів при обробці однотипної інформації; блочний принцип побудови; універсальність.

Датчики, які використовуються в стаціонарних системах:

- потенціометричні (рис. 2.7) – для вимірювання тиску робочої рідини, координат, відносних переміщень, лінійних прискорень, кутових швидкостей;
- тензометричні (рис. 2.8) – для вимірювання тиску, витрати, сили, крутного моменту, відносних переміщень, лінійних прискорень;

- електроконтактні (рис. 2.9) – для вимірювання часових інтервалів, витрати, швидкості руху штанги;

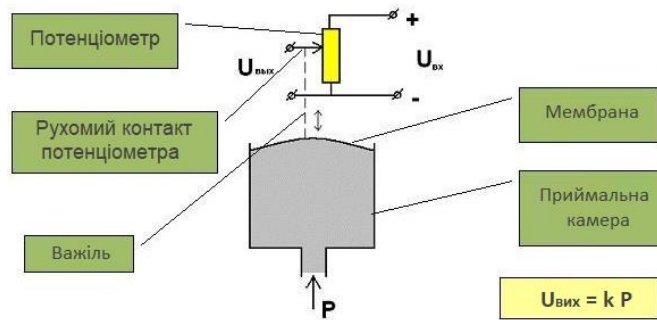


Рисунок 2.7 - Схема потенціометричного датчика

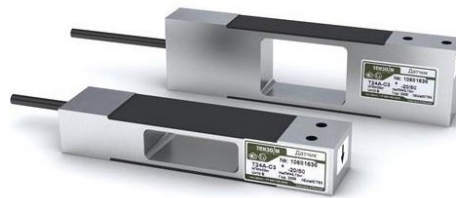


Рисунок 2.8 - Тензометричні датчики

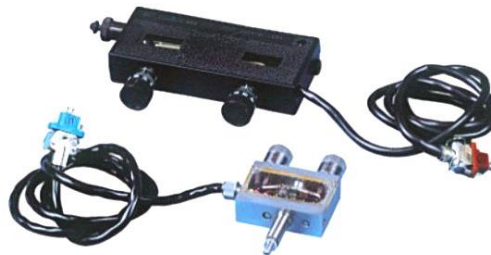


Рисунок 2.9 - Електроконтактні датчики

- індуктивні (рис. 2.10) – для вимірювання тиску, лінійних переміщень металевих предметів, принцип дії заснований на зміні параметрів магнітного поля, створюваного котушкою індуктивності всередині датчика;



Рисунок 2.10 - Індуктивний датчик



- трансформаторні (рис. 2.11) – для вимірювання лінійних переміщень, тиску;



Рисунок 2.11 - Трансформаторні датчики

- магнітопружні – для вимірювання сил, моментів;  
 - індукційні (рис. 2.12) – для вимірювання швидкості обертання, витрат відносяться до датчиків генераторного типу та мають дві окремі обмотки, стаціонарну, через яку пропускається постійний струм, і рухому.



Рисунок 2.12 – Індукційний датчик

Термодатчики, вбудовані в різні деталі гідравлічної системи, дозволяють використовувати термодинамічний метод діагностики - за температурою робочої рідини в різних точках гідросистеми, визначати напрямки потоків, наявність гідравлічних втрат, ефективність системи терморегулювання.

Прилади і пристрої для діагностики гідравлічного обладнання об'єднуються в комплекти, що містять: універсальний гідротестер; датчики

витрати, тиску, температури та швидкості; електронний мікропроцесорний пристрій; з'єднувальні гільзи; триходові крани; адаптери; різьбові пробки для зливу робочої рідини в бачок; ультразвуковий течешукач; індикатор з перехідником для забруднення робочої рідини; магнітний фільтр і т.д.

Дане обладнання дозволяє: вимірювати витрату насосів і витрати в елементах гідроприводу, внутрішні витоки, температуру робочої рідини, тиск в гідромагістралях, частоту обертання валу, регулювати первинний і вторинний запобіжні клапани індивідуально, знаходити місця внутрішніх витоків.

#### 2.4 Системи автоматизованого управління діагностикою

Для гідравлічних систем в якості діагностичного параметра використовується тиск робочої рідини при робочих операціях. Приклад графіка параметрів тиску в порожнинах гідроциліндра механізму обертання даху електродугової печі, передбачений автоматизованою системою управління, наведено на рис. 2.14. Для контролю зміни тиску вибираються рівномірний рух склепіння при відкритті або рівномірний рух склепіння при закритті.

Дані віброаналізатора також дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо термінів ремонту та аналізу причин поломок. Приклад запису часової реалізації вібраційного прискорення з періодом запису 100 мкс, виконаної для гідравлічних ножиць в режимі холостого ходу із зазначенням характерних періодів спрацьовування, показаний на рис. 2.15.

Оцінка стану робочої рідини є важливим технічним завданням і проводиться за методиками, регламентованими стандартами. І особлива увага приділяється процесу відбору проб.

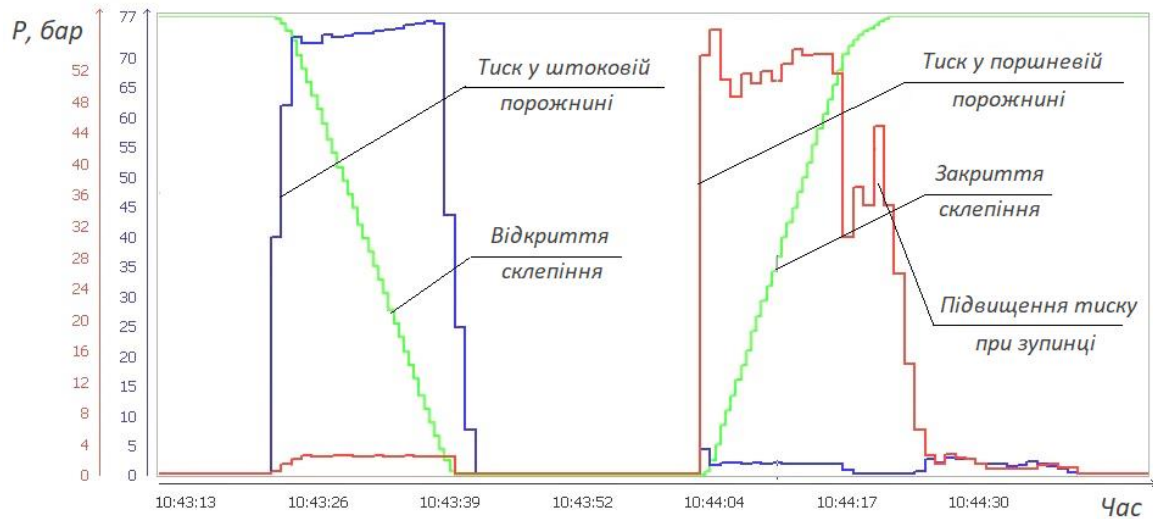


Рисунок 2.14 – Графік руху арки і параметрів тиску в гідроциліндрі

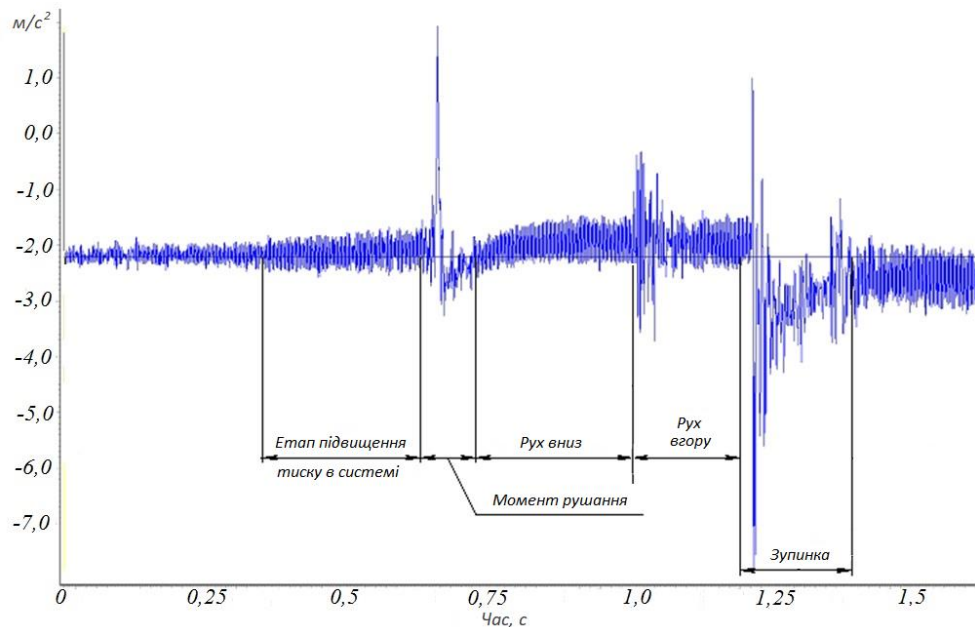


Рисунок 2.15 – Вібросигнал прискорення гідроциліндра при холостому ході

У питаннях діагностики гідроприводів з використанням параметрів робочої рідини можна виділити наступні: оцінка параметрів, що характеризують технічний стан робочої рідини як складової частини приводу, що діагностується; оцінка технічного стану гідроприводу, що діагностується, за параметрами стану робочої рідини.

При отриманні рідини контролюють в'язкість, вміст домішок, температуру спалаху і застигання, кислотне число, вплив на метали і гуму, стійкість до окислення. Це також можуть виконувати станції автоматичної діагностики.

Під час роботи гідроприводів слід проводити періодичний контроль в'язкості, наявності механічних домішок і води, кількості нерозчиненого повітря. Для контролю кінематичної в'язкості застосовують капілярні, роторні і вібраційні віскозиметри. Під час роботи гідроприводу встановлюються максимальні мінімальні значення в'язкості робочої рідини, при досягненні яких масло необхідно міняти.

Оцінка забруднення рідини проводиться шляхом визначення кількості частинок забруднюючих речовин різного розміру на одиницю об'єму рідини та маси частинок забруднюючих речовин на одиницю об'єму рідини (мг/л). Для загальнопромислових гідравлічних систем робоче тіло вважається чистим, якщо вміст забруднень не перевищує 50 мг/л (0,005%). Гранулометричний склад визначають шляхом підрахунку під мікроскопом частинок різного розміру.

Наявність води можна визначити, нагрівши зразок масла до 150°C в масляній бані. У присутності води масло піниться і чути характерний тріск. В процесі експлуатації гідроприводів наявність емульсійної води в робочій рідині можна визначити візуально у вигляді крапель розміром 30-40 мкм.

Вміст нерозчинених газів у робочій рідині визначають ультразвуковим, радіоізотопним, фотоелектричним методами; шляхом стиснення рідини до повного розчинення в ній газів; шляхом вимірювання тиску, витрати, об'єму, щільності газорідинної суміші.

При діагностиці гідроприводу за параметрами стану робочої рідини найбільш поширеним комплексним показником є температура рідини. Широко використовуються методи визначення технічного стану гідроприводів та їх вузлів за кількісним та якісним складом забруднення робочої рідини. Для оцінки забрудненості рідини використовуються методи спектрального і гранулометричного аналізу.

Спектральний аналіз дозволяє визначити хімічний склад і процентний вміст забруднень. Згідно з цим методом, зразок робочої рідини спалюється в електричній дузі між графітовими електродами, а отримане випромінювання аналізується спеціальними оптичними та електронними приладами. Періодичний відбір проб дає можливість прогнозувати стан гідроагрегатів.

За допомогою методу гранулометричного аналізу оцінюють інтенсивність зносу сполучених пар гідравлічних машин шляхом визначення кількості частинок забруднення, які можуть бути зареєстровані фотоелектричним датчиком, встановленим у зливній магістралі або на виході гідравлічних машин. Метод дозволяє оцінити час обкатки деталей гідравлічної машини, порівнюючи кількість частинок бруду на вході і виході гідравлічної машини.

Таким чином, станції автоматичного керування діагностикою є більш універсальним, складним та дорогим обладнанням, і тому, зазвичай, використовуються спеціалізованими ремонтними організаціями.

## РОЗДІЛ 3

### ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 3.1 Вибір та опис тестеру для автоматизації

Для розробки системи автоматизації для тестування гідросистем не потрібно розробляти новий пристрій. Як показує практика, достатньо взяти добре зарекомендовану модель і зробити свого роду надбудову з використанням методів, підходів та обладнання для автоматизації. Скористаємось цим досвідом та оберемо один з готових тестерів для ручного тестування систем гідравліки для автомобілів.

Наприклад, для вирішення завдань випробувань гідросистем корпорація «Гідроекс» розробила і виготовляє універсальні гідравлічні тестери ТГ-200, які дозволяють регулювати гідравлічне обладнання і проводити діагностику гідравлічних систем на місці експлуатації - без демонтажу обладнання. [14] Цей простий в експлуатації, мобільний діагностичний інструмент дозволяє вирішити більшість проблем при діагностиці гідравлічних систем, в тому числі:

- випробування гідравлічних насосів;
- випробування запобіжних клапанів;
- випробування гідравлічної арматури;
- випробування гідравлічної системи за допомогою Т-з'єднання.

Функціонально гідротестер ТГ-200 (рис. 3.1) являє собою сукупність вимірювальних приладів, що складаються з витратоміра з електронним індикатором витрати, манометра, термометра і навантажувального клапана. За допомогою ТГ-200 можна виміряти основні параметри потоку робочої рідини - витрата, тиск і температуру. Клапан навантаження імітує навантаження, створюючи опір потоку і в той же час, захищає гідравлічну систему від перевищення допустимого тиску.

Основні технічні характеристики гідротестера ТГ-200:

- діапазон вимірювання витрати рідини – 10-200 л/хв;

- час вимірювання витрат – 1 с;
- дискретність індикації потоку – 1 л/мин;
- основна похибка вимірювання витрати – 3 %;
- максимально допустимий тиск в потоці – 32 МПа;
- діапазон вимірювання тиску – 0–40 МПа;
- клас точності манометра – 2,5;
- діапазон вимірювання температури – 0 +100 °С;
- клас точності термометра – 2,5;
- напруга живлення (лужна батарея) – 9 В;
- час безперервної роботи без заміни батареї – не менше 20 годин;
- фурнітура М36х2;
- вага в повній комплектації - 8 кг.

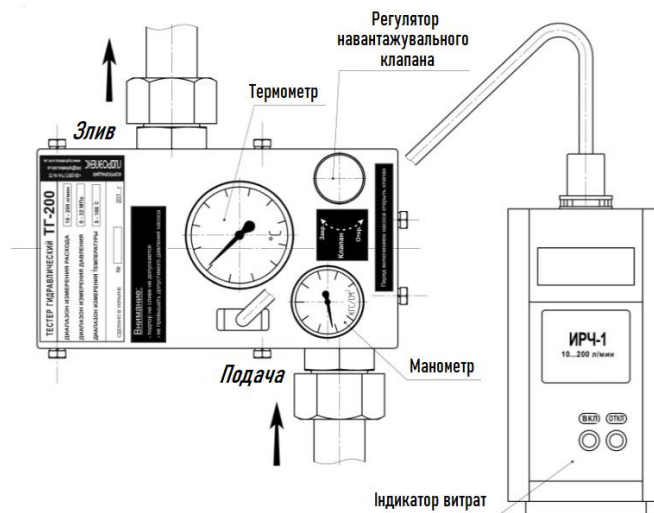


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд гідравлічного тестера ТГ-200

Розглянемо типову послідовність використання ТГ-200 на наступному прикладі.

Нехай умовна гідравлічна система, схема якої показана на рис. 3.2, складається з бака, насоса, запобіжного клапана, гідравлічного розподільвача і циліндра подвійної дії.

Несправність проявляється в наступному: поршень циліндра рухається з нормальною швидкістю без навантаження, але сповільнюється при збільшенні навантаження.



Рисунок 3.2 - Приклад гідравлічної системи

Спочатку потрібно перевірити всі трубопроводи, шланги високого тиску та з'єднання на герметичність. Якщо несправності не виявлено, треба перевірити кожен компонент системи гідравлічним тестером, доки несправність не буде виявлена.

### 3.2 Аналіз ручного тестування гідравлічної системи

Розглянемо інструкцію для проведення ручного тестування наведеної гідравлічної системи для виявлення умов алгоритмізації та автоматизації певних дій оператора.

#### 3.2.1 Тестування насоса

Необхідно з'єднати отвір «Злив» гідротестера з баком гідросистеми (лінія 1). Ця лінія необхідна для всіх випробувань гідравлічної системи за допомогою гідравлічного тестера. Від'єднати насос від запобіжного клапана (лінія 2). Підключити вихід насоса до отвору «Подача» гідротестера (лінія 3).



Завантажувальний клапан повинен бути повністю відкритий - його ручка повинна бути повернута проти годинникової стрілки до упору.

Увімкнути насос. Якщо є значні коливання показань витратоміра та манометра, у всмоктуючій магістралі є кавітація і необхідно перевірити всмоктуючий трубопровід.

Якщо показання витратоміра і манометра стабільні, необхідно зняти статичну характеристику насоса (залежність витрати від тиску на виході насоса при постійній частоті обертання приводного вала насоса і постійній температурі робочої рідини). Виміряти максимальну швидкість потоку насоса – при повністю відкритому навантажувальному клапані. Поступово збільшуючи тиск, повертаючи ручку клапана за годинниковою стрілкою до досягнення максимального заводського значення для даного насоса, визначають залежність витрати від навантаження. Після закінчення випробування повністю відкрити завантажувальний клапан і перекрити насос.

Порівняти отриману характеристику з паспортною. Якщо вона не відповідає номінальній витраті, характерній для насоса, проблема в насосі. Порівняльні характеристики (залежність витрати від тиску) для справного і несправного насоса представлені на рис. 3.3. Наприклад, при зниженні витрати на виході з насоса при робочому тиску на 15-20% насос підлягає заміні на справний.

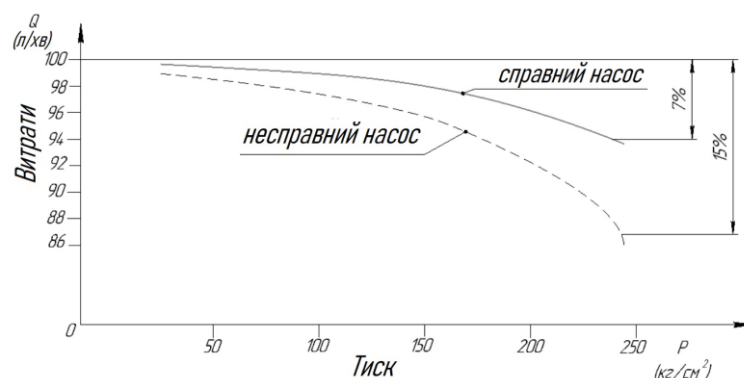


Рисунок 3.3 - Порівняльні характеристики насосів

Якщо насос функціонує нормально, далі слід перевірити запобіжний клапан.

### 3.2.2 Тестування запобіжного клапана

Необхідно від'єднати запобіжний клапан від гідроклапана (лінія 4), і підключитися до входу тестера «Подача» (лінія 5), як показано на рис. 3.4. Відкрити завантажувальний вентиль, включити насос. При досягненні робочої температури поступово збільшувати тиск, але не перевищувати максимально допустиме значення для насоса. Тиск, при якому швидкість потоку падає до 0, і є тиском спрацьовування запобіжного клапана. Якщо цей тиск нижчий за максимальний робочий тиск для гідравлічної системи, відрегулювати запобіжний клапан.

Якщо при максимальному робочому тиску витрата через тестер менше витрати насоса, визначеної при його випробуванні (величина зниження витрати більше номінального значення запобіжного клапана при цьому тиску), в запобіжному клапані є нещільності, які необхідно усунути. Якщо проблема не в запобіжному клапані, слід перевірити розподільвач.



Рисунок 3.4 – Схема тестування запобіжного клапана

### 3.2.3 Тестування гідравлічного розподільвача

Для перевірки необхідно від'єднати гідравлічний розподільвач від впускного отвору в циліндр (лінія 7) і з'єднати його вихід 6 з входом тестера «Подача», щоб гідравлічна система відповідала схемі, зображеній на рис. 3.5.

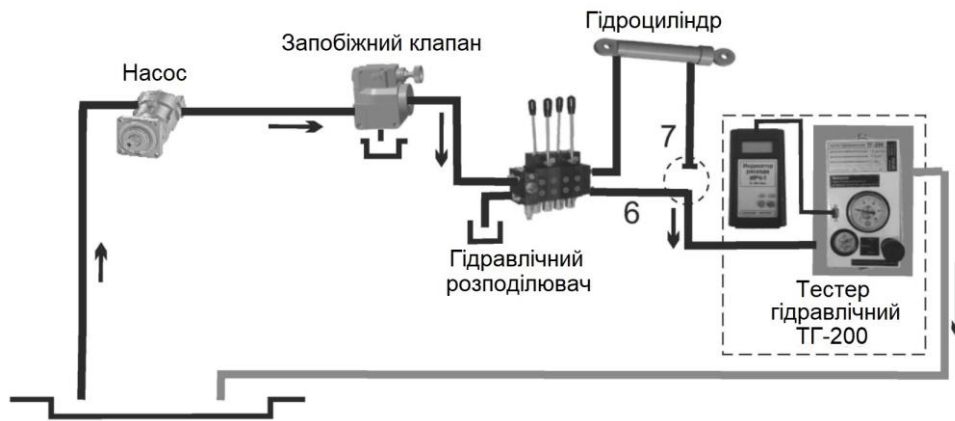


Рисунок 3.5 – Схема тестування гідравлічного розподільвача

Відкрити завантажувальний клапан. Увімкнути насос і при досягненні робочої температури переключити гідравлічний клапан та направити потік від розподільвача до тестера. Виміряти швидкість потоку при різних тисках (значення, при яких випробовувався насос і запобіжний клапан). Якщо максимальну витрату і тиск отримати не вдається, причиною проблеми є гідравлічний розподільвач, який підлягає ремонту або заміні. Якщо розподільвач справний, проблема в гідроциліндрі.

### 3.2.4 Тестування гідравлічної системи з Т-з'єднанням

При наявності в гідросистемі опорних (запобіжних) клапанів КП1, КП2 (рис. 3.6) необхідно випробувати всю гідравлічну систему за допомогою Т-з'єднання.



Рисунок 3.6 – Тестування за допомогою Т-з'єднання

Необхідно підключити вхідний отвір гідравлічного тестера до з'єднання «Т» на схемі, як показано на рис. 3.6 (лінія 8). Відкрити завантажувальний клапан регулювання тиску. Увімкнути насос, встановити номінальні обороти двигуна. При досягненні робочої температури переключити розподільвач і направити потік через опорний клапан КП1 на вхідний отвір циліндра (лінія 9). Частково закрити регулюючий клапан тестера, щоб поршень циліндра перемістився в кінцеве положення. Робоча рідина буде надходити в бак або через гідротестер, або через нещільності в компонентах контуру.

Виміряти швидкість потоку без навантаження. Збільшити навантаження в контурі, повільно закривши завантажувальний клапан тестера, і виміряти витрату при тиску трохи нижче налаштування тиску запобіжного клапана. Різниця в показаннях буде свідчити про втрату робочої рідини через нещільності в контурі. Продовжувати збільшувати навантаження до тих пір, поки швидкість потоку різко не впаде. Записати показання манометра, величина цього тиску дорівнює тиску установки запобіжного клапана КП1.

Для отримання заданих значень запобіжного клапана КП2 необхідно змінити напрямок потоку розподільвача на другий вхід в циліндр (лінія 10) і повторити процедуру, описану вище.

Щоб ізолювати несправний компонент, необхідно скористатися прикладами, описаними раніше та проілюстрованими на рис. 3.2, 3.4, 3.5.

Таким чином, даний спосіб (наявність чіткого плану дій) по використанню гідротестера ТГ-200 дозволяє скоротити часові і фінансові витрати за рахунок того, що:

- діагностика і регулювання елементів гідросистеми проводиться з мінімальним втручанням в гідросистему, без демонтажу включеного в неї гідравлічного обладнання;

- немає необхідності в дорогих спеціальних стендах для більшості діагностичних і налагоджувальних робіт.

Як бачимо, тестування гідросистеми різними способами все одно має чіткий план дій з умовами “якщо, то” і тому може бути алгоритмізоване відомими методами та підходами, які можна застосувати при автоматизації дій оператора для задач тестування.

Слід зазначити, що даний тестер має електронну модифікацію ТГЕ-200 того ж виробника [15], яка відрізняється наявністю РК-дисплею та елементами зв'язку з комп'ютерними системами (зокрема, бездротовий інтерфейс Bluetooth). Даний тестер наведений на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 - Електронна модифікація тестера ТГЕ-200

Однак, треба розуміти, що все одно це не є повноцінним автоматизованим робочим місцем, тому що оператору потрібно вручну виконувати деякі розрахунки або користуватись зовнішніми програмами, які не є програмами реального часу.

### 3.3 Розробка алгоритмів тестування елементів гідросистеми

У відповідності з п.3.2.1 розробимо алгоритмічну схему для тестування насосу. Вона в цілому повторює кроки, описані раніше, та наведена на рис. 3.8.

Так само, по п.3.2.2 та 3.2.3 можна створити алгоритмічну схему для тестування запобіжного клапану та схожу схему для тестування гідравлічного розподільвача.

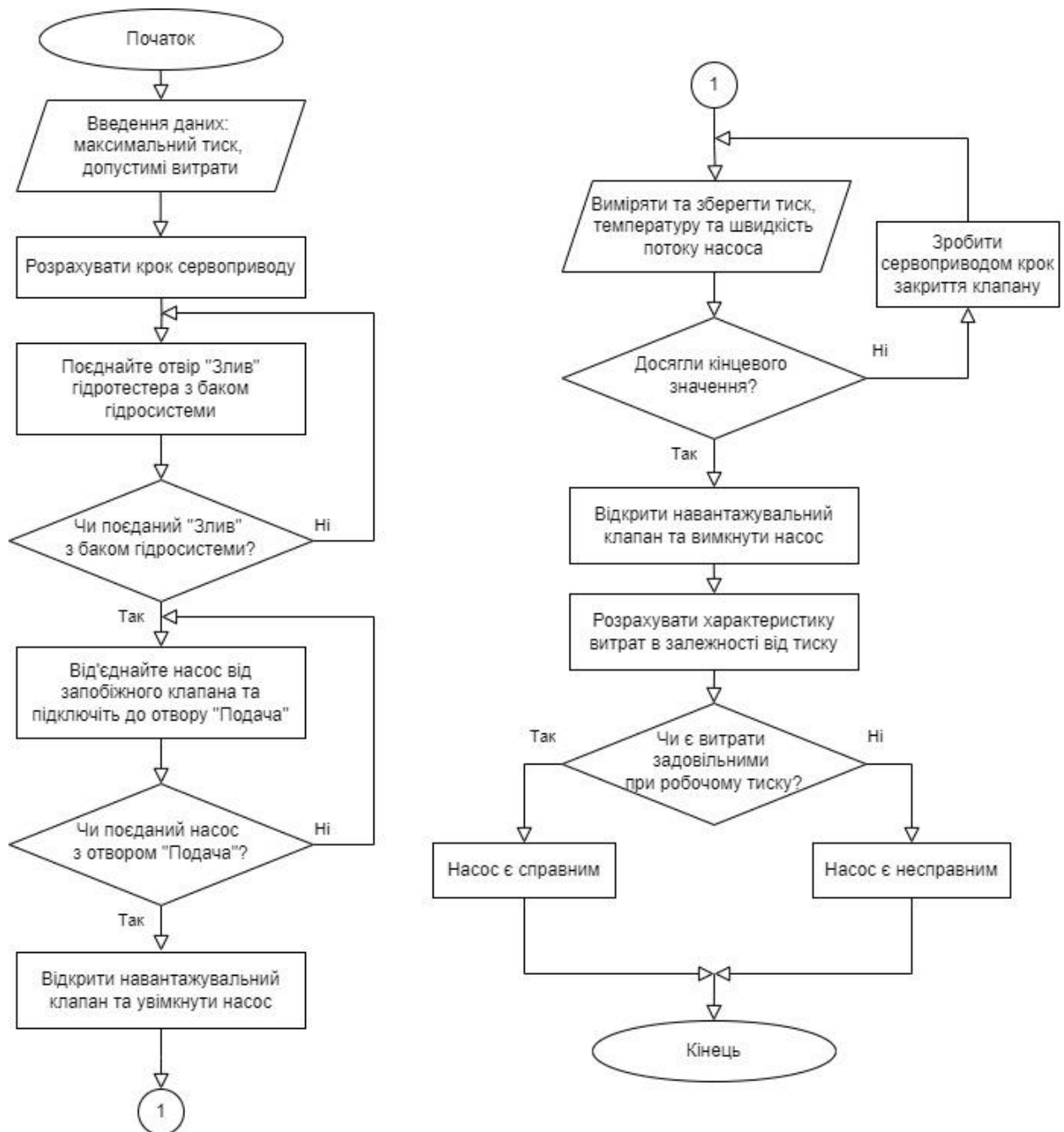


Рисунок 3.8 - Блок-схема алгоритму тестування насоса

Очевидно, що послідовність застосування алгоритмів залежить від безпосередньої схеми гідравлічної системи.

Тому в програмному забезпеченні АРМ треба передбачити формування цифрового образу реальної системи. Це можна зробити завдяки візуальному

конструктору або мнемосхемам, аналогічних тим, які застосовуються при побудові SCADA систем.

Всі з'єднання окремих пристроїв гідросистеми можуть бути представлені через послідовні або паралельні ланцюжки, починаючи з насосів. Відповідно до такої загальної мнемосхеми і проводиться послідовне тестування приладів, а значить, і застосування окремих алгоритмів.

### 3.4 Вибір технічних засобів автоматизації

Для створення автоматизованого робочого місця необхідно обрати технічні засоби автоматизації, основні з яких - це датчики та виконавчі пристрої.

Проаналізувавши послідовність дій з тестером (п.3.2), бачимо, що в якості основних датчиків виступають:

- датчик тиску;
- датчик температури;
- витратомір.

В якості виконавчого пристрою можна використовувати різні сервоприводи або електромагнітні клапани.

Головною характеристикою всіх технічних засобів автоматизації мусить бути те, що вони повинні витримувати високий тиск гідравлічної системи. Тому обираємо засоби, які мають максимальний робочий тиск не менше, ніж 150-200 бар, а краще - 400 бар.

В якості датчика тиску пропонується використати MBS 1750 (рис. 3.9) компанії Danfoss. Його модифікація MBS 1750 3631-A1GB04-2 (060G6111) здатна витримати тиск до 400 бар та має вбудований демпфер [16]. Незважаючи на те, що датчик тиску MBS 1750 використовується в різних сферах, він найчастіше застосовується там, де має місце кавітація або гідравлічні удари, які можуть спричинити стрибки тиску. За допомогою цього високочутливого датчика можна точно виміряти тиск в гідравлічній системі.



Рисунок 3.9 - Датчик тиску MBS 1750

Датчик має наступні технічні характеристики: точність  $\pm 0,5\%$  діапазону; нелінійність  $\leq \pm 0,2\%$  діапазону;  $\pm 0,1\%$  діапазону; дрейф нуля  $\leq \pm 0,1\%$ ; час реакції  $< 4$  мс; вихідний сигнал 4 – 20 мА; живлення 9-32 В; діапазон температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ; клас захисту IP 65; матеріал - нержавіюча сталь.

В якості датчику температури пропонується використати ще один пристрій компанії Danfoss - датчик температури із перетворювачем сигналу MBT 3560 [17]. Він також може застосовуватись для автоматизації вимірювання температури. Зовнішній вигляд датчика наведено на рис. 3.10.

Технічні характеристики датчика наступні: робочі температури від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ , вихідний сигнал 4-20 мА; корпус із нержавіючої сталі; різьбове з'єднання G1/4.

В якості витратоміру можна використовувати різні технологічні рішення. В нашому випадку можна зупинитись на достатньо простому і недорогому витратомірі з турбінним елементом, який вимірює швидкість потоку.



Рисунок 3.10 - Датчик температури MBT 3560



Пропонується використати недорогий варіант SLW-N [18]. Зовнішній вигляд витратоміру наведено на рис. 3.11.



Рисунок 3.11 - Витратомір

Технічні характеристики датчика: точність 0,5% ; рівень захисту IP65; вихід 4-20 мА або імпульсний; потужність <0,5 Вт; частота імпульсного сигналу 0-3000 Гц; корпус - нержавіюча сталь.

В якості виконавчого пристрою пропонується використовувати електромагнітний клапан GAMA XSE-15 високого тиску [19]. Його зовнішній вигляд показано на рис.3.12.



Рисунок 3.12 - Електромагнітний клапан GAMA XSE-15 високого тиску

Функції клапана включають контроль потоку рідини та регулювання тиску в системі. Перевагами таких клапанів є невеликі розміри, простота монтажу і відносно низька вартість.

Основні технічні характеристики наступні: вид клапану - нормально закритий; ступінь захисту IP65; корпус з нержавіючої сталі; робоча температура від -10 °C до +80 °C; максимальний робочий тиск 200 бар.

В якості контролера, який буде зчитувати сигнали з датчиків та виконувати управління виконавчим пристроєм пропонується застосувати контролер Siemens LOGO! 12/24RCE [20] з інтерфейсом розширення до 8 аналогових входів та 4 аналогових виходів (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 - Контролер Siemens LOGO! 12/24RCE

Така модель має вбудований порт Ethernet для легкого підключення до комп'ютерної мережі.

Таким чином, в даному розділі було обрано ручний тестер для випробувань гідравлічних систем, на його прикладі розглянуті послідовності дій для тестування різних гідравлічних пристроїв, виявлені можливості для алгоритмізації та розроблені відповідні алгоритми, а також обрані технічні засоби автоматизації при розробці автоматизованого робочого місця оператора.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

При виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання необхідно керуватися чинними нормативно-правовими актами з охорони праці та охорони навколишнього середовища, діючими правилами безпеки на підприємстві.

До експлуатації обладнання, а також до проведення профілактичних і ремонтних робіт допускаються особи, які володіють необхідними знаннями, виробничими навичками і мають допуск до самостійної роботи.

На підприємстві повинно проводитись навчання та перевірка знань працівників, зайнятих на роботах підвищеної небезпеки з питань охорони праці. Також на підприємстві розробляється перелік робіт підвищеної небезпеки, які виконуються працівниками, які пройшли спеціальне навчання з охорони праці.

Під час технічного обслуговування та ремонту обладнання забороняється виконувати операції, які можуть призвести до зміни умов безпечної роботи.

Персонал підрядних організацій допускається до виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту відповідно до вимог чинних інструкцій (інструкцій).

Для забезпечення безпечних умов праці інструкціями з охорони праці, технологічними інструкціями та технологічним регламентом передбачені:

- перелік типових несправностей обладнання, при яких подальша експлуатація повинна бути припинена;
- перелік найбільш частих випадків несправностей обладнання та способи їх усунення;
- перелік дій персоналу при нещасних випадках.

Гідравлічний привід вантажопідйомних кранів і машин повинен відповідати вимогам правил безпеки і нормативних документів і виключати:

- мимовільне опускання вантажу (стріли, вежі і т.д.) при відключенні приводу насоса, втраті тиску, розриві гідроприводів, негерметичності з'єднань і т.д. ;

- пошкодження елементів гідроприводу (труб, шлангів, їх з'єднань) при зіткненні з елементами конструкції.

Гідравлічний привід механізмів повинен забезпечувати запуск механізмів підйому вантажу, висування стріли з вантажем на гак, а також механізму підйому вежі при монтажі баштового крана з будь-якого положення і опускання вантажу, стріли, вежі з постійною швидкістю. Допустиме значення просідання вантажу обов'язково вказується в технічних умовах.

Конструкція гідроприводу повинна передбачати повне і безпечно видалення і заливку робочої рідини при ремонті і обслуговуванні без її падіння на землю. Злив робочої рідини із запобіжних клапанів може здійснюватися в гідробак.

Конструкція гідроприводу повинна забезпечувати:

- заміну гідравлічних пристроїв на клапані без зливу робочої рідини з гідробака;
- безперервну фільтрацію робочої рідини.

Ступінь фільтрації встановлюють відповідно до вимог експлуатаційних документів гідравлічних пристроїв. Фільтр, встановлений на зливному виході, мусить бути оснащений переливним клапаном.

Кожен гідравлічний контур повинен бути захищений від надлишкового тиску запобіжним клапаном, відрегульованим на тиск, наведений в інструкції з експлуатації, і мати можливість регулювання та ущільнення. Гідравлічні контури, які захищені від однакового неприпустимого тиску, можуть мати один загальний запобіжний клапан.

Шланги, розміщені в безпосередній близькості від робочого місця кранівника, повинні бути закриті запобіжним кожухом або екраном.

Труби гідроприводу повинні бути надійно закріплені для усунення небезпечних вібрацій (вібрації) і запобігання протікання їх з'єднань.

У разі відключення електроенергії або виходу з ладу гідроприводу, аварійного опускання вантажу, піднятої частини баштового крана при його установці, а також повинна бути забезпечена можливість управління стрілою в положення, в якому кран буде знаходитися в безпечному стані.

Конструкція гідробака повинна передбачати контроль рівня робочої рідини. Використання зондів не допускається. Якщо ємностей з рідиною декілька, вони повинні мати різне маркування.

При прийманні та здачі змін необхідно:

- перевірити стан гнучких шлангів для подачі робочої рідини, а також ущільнень;

- перевірити величину зносу стрижнів і стан їх поверхонь;

- перевірити кріплення циліндрів на механізмах;

- перевірити справність гідроприводу.

Протягом зміни необхідно:

- проводити ретельний контроль за правильним функціонуванням;

- при виявленні байпасу робочої рідини з однієї порожнини в іншу слід негайно зупинити механізм і вжити заходів щодо його усунення.

При тривалих зупинках необхідно відключити всі лінії гідросистеми і знеструмити апаратуру управління.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розглянемо приклад розрахунку економічної ефективності впровадження системи автоматизованого тестування гідравлічного обладнання автомобілів. Для цього визначимо початкові витрати, щорічні операційні витрати та очікувані вигоди, а також розрахуємо період окупності та чисту поточну вартість (NPV).

Спочатку розрахуємо початкові витрати на впровадження:

1. Вартість обладнання та програмного забезпечення: 150 000 грн
2. Витрати на установку та налаштування: 30 000 грн
3. Витрати на навчання персоналу: 10 000 грн
4. Інші пов'язані витрати: 10 000 грн

Отже, загальні початкові витрати становлять:

$$150\ 000 + 30\ 000 + 10\ 000 + 10\ 000 = 200\ 000 \text{ грн}$$

Обрахуємо щорічні операційні витрати:

1. Витрати на обслуговування та технічну підтримку: 10 000 грн
2. Витрати на електроенергію: 3 000 грн
3. Витрати на регулярне навчання персоналу: 2 000 грн

Отже, щорічні операційні витрати становлять:

$$10\ 000 + 3\ 000 + 2\ 000 = 15\ 000 \text{ грн}$$

Обчислимо очікувані щорічні вигоди:

1. Зниження витрат на ручне тестування: 20 000 грн
2. Зниження витрат на аварійне обслуговування: 10 000 грн
3. Підвищення продуктивності та доходу: 40 000 грн

4. Зниження витрат на гарантійне обслуговування: 15 000 грн

Отже, загальні щорічні вигоди становлять:

$$20\,000 + 10\,000 + 40\,000 + 15\,000 = 85\,000 \text{ грн}$$

Розрахуємо період окупності:

$$\text{Період окупності} = \text{Початкові витрати} / \text{Щорічні чисті вигоди}$$

Щорічні чисті вигоди = Загальні щорічні вигоди - Щорічні операційні витрати

$$85\,000 - 15\,000 = 70\,000 \text{ грн}$$

$$\text{Період окупності} = \text{Початкові витрати} / \text{Щорічні чисті вигоди}$$

$$200\,000 / 70\,000 = 2,86 \text{ років}$$

Зробимо розрахунок чистої поточної вартості (NPV). Припустимо, дисконтна ставка становить 10%, і ми розглядаємо п'ятирічний період. Чиста поточна вартість розраховується за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(\text{Щорічні чисті вигоди})}{(1+r)^t} - \text{Початкові витрати}$$

де:

- $n$  — кількість років (в нашому випадку 5);
- $r$  — дисконтна ставка (0,10 або 10%).

$$\text{Щорічні чисті вигоди} = 70,000 \text{ грн}$$

Обчислимо теперішню вартість щорічних чистих вигод для кожного з п'яти років:

$$PV = \frac{70000}{(1+0,10)^1} + \frac{70000}{(1+0,10)^2} + \frac{70000}{(1+0,10)^3} + \frac{70000}{(1+0,10)^4} + \frac{70000}{(1+0,10)^5}$$

Обчислимо значення для кожного року:

$$PV_1 = \frac{70000}{1,10} = 63636,36 \text{ грн}$$

$$PV_2 = \frac{70000}{1,21} = 57851,24 \text{ грн}$$

$$PV_3 = \frac{70000}{1,331} = 52529,95 \text{ грн}$$

$$PV_4 = \frac{70000}{1,4641} = 47754,50 \text{ грн}$$

$$PV_5 = \frac{70000}{1,61051} = 43413,18 \text{ грн}$$

Загальна теперішня вартість щорічних чистих вигод:

$$PV_{total} = 63636,36 + 57851,24 + 52529,95 + 47754,50 + 43413,18 = 265185,23 \text{ грн}$$

Тепер обчислимо NPV:

$$NPV = 265185,23 - 200000 = 65185,23 \text{ грн}$$

Розрахунки показують, що впровадження системи автоматизованого тестування гідравлічного обладнання автомобілів є економічно вигідним. Період



окупності становить приблизно 2,86 років, що свідчить про швидке повернення інвестицій. Чиста поточна вартість (NPV) є позитивною і становить 65185,23 грн, що вказує на прибутковість проекту. Це демонструє, що проект не тільки повертає інвестиції у відносно короткий період, але й приносить значні довгострокові вигоди.

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було розроблене автоматизоване робоче місце для тестування гідравлічних систем автомобілів, зокрема були вирішені такі задачі:

1. Проведено аналіз предметної області та визначені умови, що впливають на ефективність та якість гідравлічних систем, описані основні причини виходу з ладу гідравліки та помилки в роботі з гідравлічними машинами.

2. Розглянуті цілі та порядок перевірки гідравлічного обладнання, а також засоби вимірювання параметрів діагностики та особливості систем автоматизованого управління діагностикою.

3. Зроблено вибір гідравлічного тестера з ручним управлінням та описані дії тестувальника для визначення певних несправностей гідравлічної системи, визначені напрямки автоматизації.

4. Розроблені алгоритми тестування елементів гідросистеми.

5. Обрано комплект технічних засобів (датчиків та виконавчих пристроїв) для автоматизованого робочого місця.

6. Описані правила техніки безпеки при роботі з гідравлічними пристроями та зроблений розрахунок економічної ефективності системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Застосування гідравлічних систем. URL: <https://hidravlik.com.ua/ua/info/articles/gidravlichni-sistemy/>.
2. Гідравлічні механізми та їх застосування людиною. URL: <https://hydromarket.com.ua/ua/a411654-gidravlicheskie-mehanizmy-primenenie.html>
3. Гідравлічні насоси: види та сфера застосування. URL: <https://hydraulic.ua/gidravlichni-nasosi-vidi-ta-sfera-zastosuvannya/>.
4. Гідравлічна машина. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідравлічна\\_машина](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідравлічна_машина).
5. Використання гідравлічного обладнання в українській промисловості. URL: <https://hydroshop.com.ua/blog/vykorystannya-gidravlichnogo-obladnannya-v-ukrayinskij-promyslovosti/>.
6. Промислова гідравліка. Сила, рухливість, ефективність. URL: <https://osr.kr.ua/promyslova-gidravlika-syla-ruhlyvist-efektyvnist/>.
7. Несправності насоса гідропідсилювача керма, причини та ознаки поломки. URL: <https://avtodoctor.com.ua/ua/blog/neispravnosti-nasosa-gidrousilitelya-rulya/>.
8. Простий спосіб виявити несправність у гідравлічній системі екскаватора-навантажувача. URL: <https://zeppelin.ua/blog/prostiy-sposib-viyaviti-nespravnist-u-gidravlichniy-sistemi-ekskavatora-navantazhuvacha/>.
9. Профілактичне технічне обслуговування гідравлічної системи трактора МТЗ. URL: <https://traktormarket.com.ua/news/profilaktichne-tehniche-obslugovuvannya-gidravlichnoi-sistemi-traktora-mtz/>.
10. Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/48593/1/german.pdf>.
11. Стенд для випробування гідравлічних блоків розподільників та гідроапаратури. URL: <https://h-g.com.ua/ua/p1289576470-stend-dlya-ispytaniya.html>.

12. Стенд для випробування гідроциліндрів. URL: <https://h-g.com.ua/ua/p1289509871-stend-dlya-ispytaniya.html>.

13. Випробувальний стенд ВС-490 для гідронасосів та гідромоторів. URL: <https://motorimpex.ua/ua/products/viprobuvalnij-stend-vs-490-dlya-gidronasosiv-ta-gidromotoriv>.

14. Діагностування технічного стану агрегатів гідроприводу навісної системи тракторів. URL: [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/10972/1/M\\_Tekhnichna\\_diahnostyka\\_21.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/10972/1/M_Tekhnichna_diahnostyka_21.pdf)

15. Гідротестер ТГЕ-200. URL: <https://hydrotesters.prom.ua/ua/p1056752121-gidrotester-tge-200.html>.

16. Датчик тиску з демпфером MBS 1750. URL: <https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/promyshlennaya-avtomatika/datchiki-davlenija/datchik-davlenija-s-dempferom-mbs-1750>.

17. Датчик температури із перетворювачем сигналу MBT 3560. URL: <https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/promyshlennaya-avtomatika/datchiki-temperaturi/datchik-temperaturi-s-preobrazovatelem-signala-mbt-3560>

18. Витратомір рідинної турбіни з виходом 4-20мА. URL: <https://uk.silverinstruments.com/product/liquid-turbine-flow-meter-with-4-20ma-output.html>

19. Електромагнітний клапан нержавіючий GAMA XSE-15 високого тиску. URL: <https://goodmax.com.ua/uk/elektromahnytnyi-klapan-nerzhaveiushchyi-gama-xse-15-vysokoho-davleniya-n.c.-6-220-bar-ptfe-24-220v-ac-dc>

20. Контролер LOGO! 12/24RCE: 12/24В, 8 входів/4 виходи, вбудований порт Ethernet. URL: [https://380v.com.ua/ua/product/kontroller\\_LOGO\\_1224RCE:\\_1224B\\_8\\_vhodov4\\_vihoda\\_vstroennii\\_port\\_Ethernet](https://380v.com.ua/ua/product/kontroller_LOGO_1224RCE:_1224B_8_vhodov4_vihoda_vstroennii_port_Ethernet).