

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Створення спеціалізованих технологій та
діагностування кульково – гвинтових
гідропідсилювачів на базі рейкової рельєфної
передачі»**

Виконав здобувач вищої освіти II-го курсу
групи ПМ-24МЗ-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка »
_____ Сергій ШВЕРБУК

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент:

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра «Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»

Освітнього ступеня магістр

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Швербук Сергій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Створення спеціалізованих технологій та діагностування кульково – гвинтових гідропідсилювачів на базі рейкової рельєфної передачі

керівник роботи: Щербина Кирил Костянтинович, доцент канд. техн наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № _____ від “ ” 20 року

2. Строк подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Комплект конструкторської документації на КГГП 430, КГГП 720

3.2 Робочі креслення деталей, технічні вимоги, програма і методика

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1. Загальна частина

4.2. Технологічна частина

4.3. Конструкторська частина

4.4. Дослідна частина

4.5 Економічна частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал - 10 л. ф. А4

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	к.е.н., доц. Журило І.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина	10.10.2025	
2	Конструкторська частина	16.10.2025	
3	Технологічна частина	31.10.2025	
4	Економічна частина	20.11.2025	
5	Розробка презентації	30.11.2025	

Студент

(підпис)

Швербук С.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Щербина К.К.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на 76 сторінках та графічної частини на 10 листах формату А4.

1. Актуальність роботи. Дослідження процесу діагностування кульково-гвинтових гідропідсилювачів: насамперед бракує методологічно верифікованої системи оціночних показників та їхньої нормування з урахуванням реальних режимів навантаження, умов змащення, гідродинамічних пульсацій і зношування елементів пари «кулька—гвинт».

2. Наукова новизна роботи. полягає у створенні універсальних оціночних показників кульково-гвинтових гідропідсилювачів (КГГП), що дозволяють комплексно характеризувати їх технічний стан і функціональну ефективність.

3. Практична цінність роботи. у синтезі конструкції діагностувального стенду, призначеного для експериментального визначення оціночних показників кульково-гвинтового гідропідсилювача.

4. Оцінка найбільш важливої суті роботи виконаної роботи.

Оцінюючи найбільш вагомі результати проведеної роботи, слід відзначити, що в процесі дослідження розроблено повний комплекс програмного та методичного забезпечення для поелементних і комплексних випробувань кульково-гвинтових гідропідсилювачів. Це забезпечило можливість оперативного налаштування діагностувального стенду та визначення ключових параметрів роботи системи з високою точністю.

Проведена модернізація стенду спрямована на підвищення рівня його автоматизації, оснащення сучасними комп'ютерними засобами та спрощення функціонування оператора. Такі зміни дали змогу істотно скоротити тривалість випробувань, підвищити продуктивність досліджень та автоматично будувати графіки розподілу вимірюваних параметрів у режимі реального часу.

Експериментальні дослідження, проведені на оновленому стенді, підтвердили його стабільність і надійність — робота системи характеризувалася відсутністю збоїв, повторюваністю результатів і високою точністю відтворення параметрів.

Крім того, у межах роботи розв'язано комплекс організаційно-технологічних питань, пов'язаних із впровадженням конструкції у виробництво, а також виконано детальні економічні розрахунки, які засвідчили доцільність і ефективність запропонованих технічних рішень.

Ключові слова: кульково-гвинтовий гідропідсилювача, діагностування, оціночні показники.

Annotation

The qualification work consists of an explanatory note on 76 pages and a graphic part on 10 A4 sheets.

1. Relevance of the Study. The research on the diagnostic process of ball-screw hydraulic power assists (BSHPAs) remains insufficiently developed, primarily due to the lack of a methodologically verified system of evaluation indicators and their normalization, taking into account real loading modes, lubrication conditions, hydrodynamic pulsations, and wear of the "ball-screw" pair elements.

2. Scientific Novelty of the Study. The scientific novelty lies in the development of universal evaluation indicators for ball-screw hydraulic power assists (BSHPAs), which enable a comprehensive assessment of their technical condition and functional efficiency.

3. Practical Significance of the Study. The practical significance consists in the synthesis of a diagnostic stand design intended for experimental determination of the evaluation indicators of the ball-screw hydraulic power assist. The proposed design provides a basis for improving diagnostic accuracy, optimizing maintenance procedures, and enhancing the operational reliability of BSHPAs.

4. Evaluation of the Most Significant Results. In assessing the most significant outcomes of the study, it should be noted that a complete set of software and methodological tools was developed for both element-by-element and complex testing of ball-screw hydraulic power assists. This enabled rapid configuration of the diagnostic stand and high-precision determination of the system's key operating parameters.

The modernization of the stand was aimed at increasing its automation level, equipping it with modern computer technologies, and simplifying operator interaction. These improvements made it possible to significantly reduce testing time, enhance research productivity, and automatically generate distribution graphs of measured parameters in real-time mode.

Experimental investigations conducted on the upgraded stand confirmed its stability and reliability — the system operated without failures, with repeatable results and high accuracy of parameter reproduction.

Additionally, the study addressed a complex of organizational and technological issues related to the implementation of the developed design in production, and detailed economic calculations were performed, demonstrating the feasibility and efficiency of the proposed technical solutions.

Keywords: ball-screw hydraulic power assist, diagnostics, evaluation indicators.

ЗМІСТ

Вступ.....	10
1 Загальна частина.....	12
1.1 Аналіз конструкції кульково-гвинтового гідропідсилювача (КГГП).....	12
1.2 Основні деталі КГГП та їх призначення.....	13
1.3 Аналіз конструкції діючого стенда.....	14
2 Конструкторська частина.....	22
2.1 Програма і методика по елементних випробувань.....	22
2.2 Програма і методика комплексних випробувань.....	28
2.3 Випробування реактивної властивості механізму $M_c(M)$	33
2.4 Випробування характеристики жорсткості механізму $M(\alpha)$	37
2.5 Випробування характеристики стабілізації рульового механізму $M_{собр}....$	38
2.6 Опис структурної схеми гнучкої автоматизованої системи випробувань КГГП.....	41
2.7 Модернізація конструкції стенду з його описом.....	46
3. Технологічна частина.....	57
3.1 Технологія випробувань КГП.....	57
3.2 Технологія випробувань КГГП.....	58
4. Економічна частина.....	66
4.1 Визначення експлуатаційних витрат, які припадають на одиницю продукції в базовому та проектному варіантах.....	66
Висновки.....	72
Список використаних джерел	73

ВСТУП

Машинобудування є фундаментальним сектором економіки, що забезпечує відтворення основного капіталу через виробництво засобів праці (машин, устаткування, технологічних комплексів), а також комплектуючих виробів (деталей, вузлів, механізмів) для їхнього технічного обслуговування, ремонту та модернізації. Кінцева продукція галузі характеризується високою функціональною адекватністю, гарантуючи оптимальну продуктивність при мінімізації собівартості виробництва.

Стратегічною візією розвитку машинобудівного комплексу є повне задоволення національного внутрішнього попиту та експансія присутності на глобальних ринках. Це вимагає трансформації галузі в технологічно ємний, інноваційно-орієнтований та висококонкурентний сектор, інтегрований у світові виробничо-коопераційні ланцюги.

Досягнення зазначеної стратегічної мети передбачає реалізацію комплексу заходів за ключовими векторами:

Технологічне переоснащення: Проведення модернізації виробничих фондів підприємств на базі інноваційних технологічних платформ (наприклад, цифрове виробництво, високоточна обробка).

Впровадження передових процесів: Адаптація та імплементація провідних виробничих парадигм (Lean Manufacturing, Industry 4.0, CAX-системи).

Стимулювання внутрішнього попиту: Розвиток та насичення національного ринку конкурентоспроможною машинобудівною продукцією.

Кадрове забезпечення: Створення системних механізмів для залучення, підготовки та утримання висококваліфікованого інженерно-технічного персоналу.

Очікуваними макроекономічними ефектами імплементації цих заходів є зростання валових обсягів випуску продукції, розширення номенклатурного ряду, нарощування експортного потенціалу, а також системне підвищення конкурентоспроможності та операційної ефективності виробничих процесів.

Дана кваліфікаційна робота присвячена технічній модернізації наявного випробувального стенда. Ключовим завданням є розробка комплексу програмно-методичної документації для по елементних та комплексних випробувань. Впровадження сучасних систем моніторингу та управління забезпечить оперативне калібрування та автоматизоване визначення необхідних експлуатаційних параметрів об'єкта випробування.

Практична реалізація даного проекту дозволить досягти:

Зростання продуктивності праці операторів.

Редукції виробничої собівартості за рахунок оптимізації процесів.

Підвищення якості продукції через точніший контроль.

Покращення експлуатаційних характеристик (надійності, довговічності) технічних засобів.

Оптимізації ергономічних умов на робочих місцях.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз конструкції кульково-гвинтового гідропідсилювача (КГГП)

Кулько-гвинтові гідропідсилювачі (КГГП) є критично важливими виконавчими елементами гідравлічних систем кермового керування транспортних засобів, призначених для експлуатації на швидкостях, що перевищують 60 км/год. Їхнє функціональне призначення полягає у трансформації та силовому підсиленні керуючого зусилля, ініційованого водієм, за рахунок використання гідродинамічної енергії тиску робочої рідини. Це забезпечує зниження необхідного керуючого моменту та підвищення загальної маневреності транспортного засобу. Згідно з конструкторсько-технологічною документацією, конструкція КГГП підлягає модульній декомпозиції на окремі складальні одиниці (субагрегати). Така структурна архітектура дозволяє реалізовувати автономні технологічні цикли складання для кожного модуля незалежно від інших, що значно оптимізує логістику та виробництво, сприяючи потоковому транспортуванню попередньо зібраних компонентів на головний складальний конвеєр. Кожна із цих складальних одиниць повинна відповідати встановленому комплексу технічних вимог, підтвердження яких здійснюється через стендові випробування та метрологічний контроль ключових геометричних параметрів. Конструкторська документація чітко визначає функціональні (експлуатаційні) параметри, яким зобов'язаний відповідати кожен модуль, гарантуючи таким чином забезпечення якості та надійності кінцевого виробу. Візуальна ідентифікація та розподіл основних складальних одиниць КГГП зазвичай відображається на відповідних графічних матеріалах, наприклад, на Рис. 1.1.1.

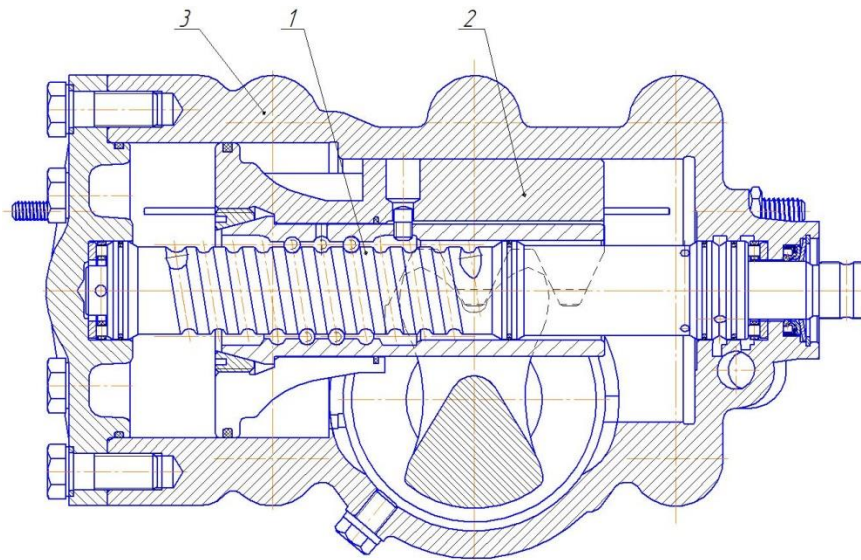


Рис.1.1.1

1. Кульково-гвинтова передача (КГП) в складі: ротора, торсіона, гвинта, гайки, кульок і каналів зворотного переміщення кульок.
2. Рейка-поршень в складі з КГП.
3. Картер в складі з вал-сектором і боковими кришками.

1.2 Основні деталі КГП та їх призначення

Рейка-поршень є ключовим елементом, виконаним як тіло обертання, що містить центральний осьовий отвір та зубчасте нарізання, яке формує активний елемент рейкової передачі. В тілі цього компонента передбачені наскрізні технологічні отвори, призначені для інтеграції кінцевих вимикачів. Центральний отвір слугує для посадкової основи (бази) для монтажу та фіксації гайки.

Картер являє собою чавунну литу заготовку, конструктивно сформовану двома циліндричними порожнинами, осі яких розташовані під кутом 90° одна до одної. У корпусі картера передбачений технологічний отвір, який використовується для базування та направляючого розміщення рейки-поршня. На бічних поверхнях картера розташовані кріпильні отвори, що посилені ребрами жорсткості для збільшення опору деформаціям. У донній частині картера виконаний осьовий отвір, який функціонує як базова поверхня для монтажу внутрішніх компонентів, включно з деталями розподільника (золотникового механізму).

Вал-сектор являє собою вал, оснащений зубчастим вінцем, а також елементами для кріплення сошки (важеля) — зокрема, шліцами на конічній посадковій поверхні. Цей вал-сектор входить у зубчасте зачеплення з рейкою-поршнем. Під дією гідравлічного тиску, що прикладається до торцевої поверхні рейки-поршня, відбувається її поступальний рух, який, через зубчасте зачеплення, трансформується у кутовий поворот вала-сектора на заданий кут обертання. Це обертання, у свою чергу, передається на вал-сошку, забезпечуючи керуючий вплив на рульову трапецію.

Креслення основних деталей нижче додаються.

1.3 Аналіз конструкції діючого стенда

Стенд функціональних випробувань кульково-гвинтових гідропідсилювачів (КГГП) є високотехнологічним випробувальним обладнанням, валідованим для проведення приймально-здавальних та періодичних контрольних випробувань. Його призначення полягає у забезпеченні поелементного контролю якості (вхідного/вихідного контролю) всієї типорозмірної номенклатури агрегатів КГГП. Процедури та параметри цих випробувань повністю відповідають вимогам, визначеним у технічних умовах (ТУ), зокрема, ТУ В 34.3-14312430-047-2004.

Таблиця 1.3.2.1

№ п/п	Найменування параметра	Позначення параметра	Одиниця виміру	Межі виміру
1	2	3	4	5
1	Тиск робочої рідини	$p_{\max}$	МПа	0...18...18
2	Кут повороту вала сошки із краю в край	θ_{Σ}	град.	0.....110°
3	Механічний люфт	α_m	град.	0...90...90°
4	Внутрішні витікання	ΔQ	дм ³ /хв	0...10...10
5	Гідравлічний люфт	α_0	град.	0...90...90

6	Максимальна швидкість повороту рульового вала	ω	с^{-1}	0,5
7	Частота навантаження, циклів, при дії на вал сошки зворотного моменту	n	цикл/хв	0...20...20
8	Зовнішній момент, що навантажує, вал сошки	$M_c^{\max}$	Н·м	100.....11200
9	Зовнішній момент, що навантажує, рульовий вала	$M^{\max}$	Н·м	0.....120

Конструктивною основою випробувального стенда є зварна рама (9), що виконує функцію несучої платформи. На цій рамі інтегрований силовий кронштейн (11), розміщений у піддоні (10) для збору робочої рідини. Додатково на силовому кронштейні змонтовано гідравлічний привід для забезпечення керованого обертання рульового вала кульково-гвинтового гідропідсилювача (КГГП), що є об'єктом випробування.

Гідропривідний модуль скомпонований з поворотного кронштейна (14), гідравлічного двигуна (15) та телескопічного рульового вала (13), який забезпечує передачу крутного моменту до КГГП. Під робочим піддоном, у безпосередній зоні доступу оператора, розміщена електрична шафа керування (12), яка містить елементи контролю, захисту та автоматизації випробувального процесу.

На спеціалізованій поперечині рами випробувального стенда змонтовано ключові керуючі гідроапарати системи: гідроблок перемикання робочих тисків (1) та гідроблок керування гідромотором (4).



Рис. 1.3.3.1

Праворуч на конструкційному кронштейні розташована основна електрична шафа керування (12) (як показано на Рис. 1.3.3.2). На силовому кронштейні безпосередньо встановлюються випробуваний кулько-гвинтовий гідропідсилювач (КГГП) (6) та навантажувальний гідроциліндр (8).

Подача робочої рідини до системи стенда здійснюється за допомогою гідралічного насоса (9). Робочий тиск у випробуваному КГГП фіксується та

контролюється за допомогою манометра (5). Регулювання навантажувального моменту на випробуваному КГПП виконується за допомогою регулювального клапана (2), а величина цього навантаження контролюється відповідно до показань манометра (3).



Рис. 1.3.3.2

Гідравлічний бак (гідробак) (6), що є елементом стенда, виконаний у вигляді звареної конструкції. Його верхня частина герметизована заглибленим знімним піддоном. На поверхні цього піддону функціонально розташовані

заливна горловина (2) (як показано на Рис. 1.3.3.3) та магнітний сепаратор (1), призначений для вилучення феромагнітних частинок із робочої рідини.

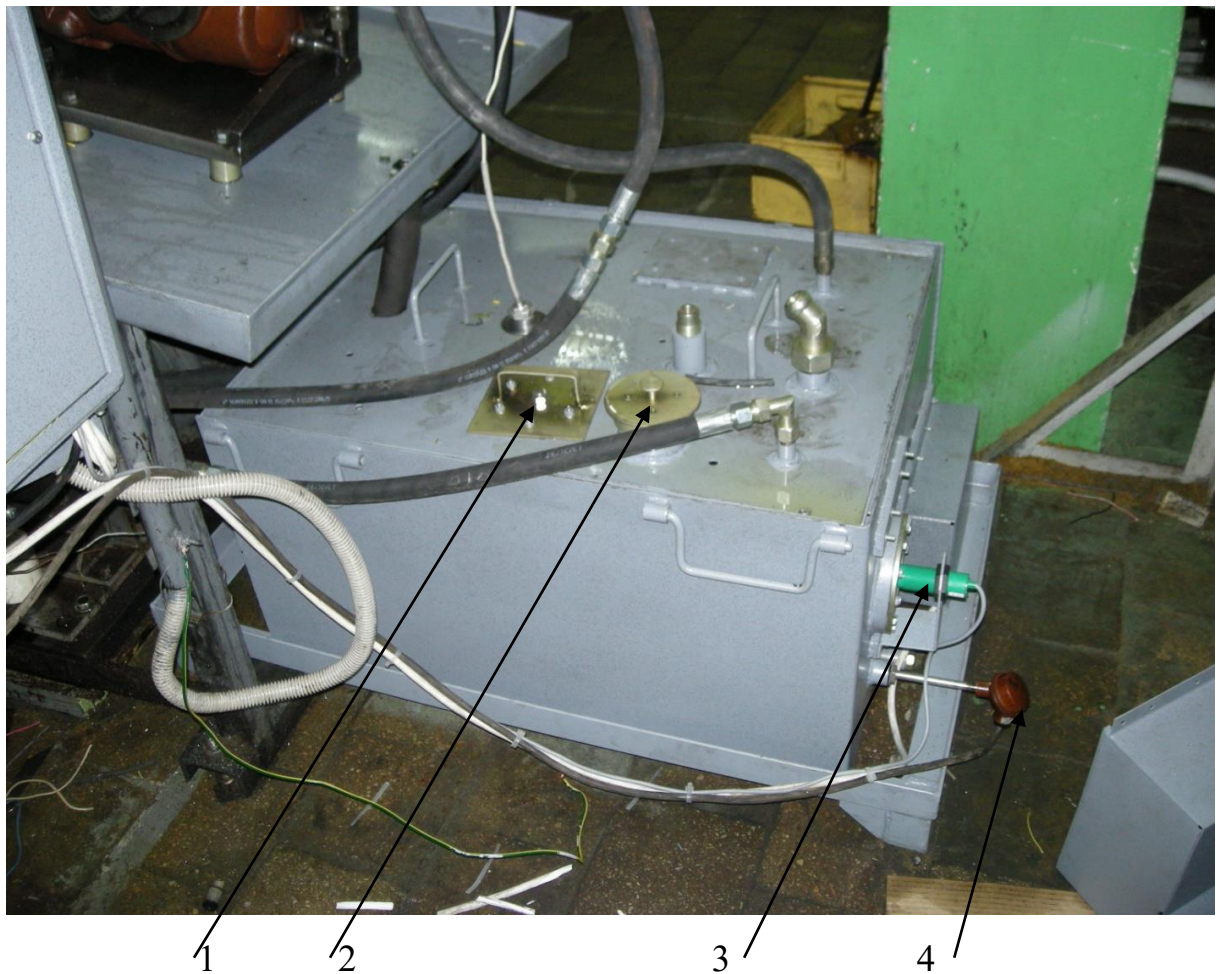


Рис.1.3.3.3

На задній стінці гідробака інтегровано нагрівальні елементи (ТЕНи), призначені для контрольованого підвищення температури робочої рідини. Систему захисту забезпечують датчик мінімального рівня робочої рідини (3), який здійснює аварійне відключення ТЕНів при досягненні критично низького рівня рідини, та датчик температури робочої рідини (4) для моніторингу температурного режиму.

В електричній шафі № 1 (як показано на Рис. 1.4.3.4) інсталювано основну електричну схему стенда. Панель шафи також містить цифровий терморегулятор, який відповідає за автоматичне підтримання заданої температури робочої рідини. Для забезпечення процедур обкатування випробуваного КГТП на панелі розміщено керуючі інтерфейсні елементи: кнопки пуску (3) та зупинки (4) стенда.

Крім того, передбачені тумблери (5) для перемикання режимів роботи з ручного на механічний, а також тумблер (6) для активації гідромотора. Для управління системою нагріву на панелі знаходиться тумблер (7) включення ТЕНів та кнопка (8) їх аварійного/ручного вимикання.



Рис.1.3.3.4

На панели электрической шкафы № 2 (як зазначено на Рис. 1.4.3.5) розміщено інтерфейсні елементи керування, необхідні для модуля збору функціональних параметрів випробуваного КГТП. Цей пульт містить кнопки пуску (2) та зупинки

(4) стенда. Також передбачені тумблери для активації певних тестових режимів: тумблер вмикання навантаження (1) та тумблер виміру внутрішніх втрат (5). Дана модифікація стенда додатково обладнана селективним тумблером перемикання робочого тиску. Цей перемикач дозволяє оперативно змінювати робочий тиск гідросистеми, що є необхідною умовою для коректного визначення (верифікації) коефіцієнта внутрішніх гідравлічних втрат КГГП.



Рис.1.4.3.5

Наявний випробувальний стенд дозволяє здійснювати лише поелементний контроль параметрів КГГП, який виконується дискретно. Цей режим контролю унеможливорює динамічний аналіз функціональних показників агрегату. Крім того, дискретний поелементний контроль не забезпечує можливості побудови графічних характеристик КГГП та його складових елементів, як це передбачено галузевим стандартом ОСТ 37.001.477-88.

Всі операційні прийоми та налаштування на стенді вимагають ручного втручання оператора, що є суттєвим технологічним недоліком в умовах серійного виробництва.

Застосований метод контролю поелементних параметрів характеризується високою трудомісткістю та значними часовими витратами, що безпосередньо призводить до зростання виробничої собівартості кінцевого виробу.

2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Програма і методика по елементних випробувань

Інструкція визначає порядок проведення перевірки комбінованої гідравлічної головки (КГГП) на відповідність вимогам установлених технічних умов.

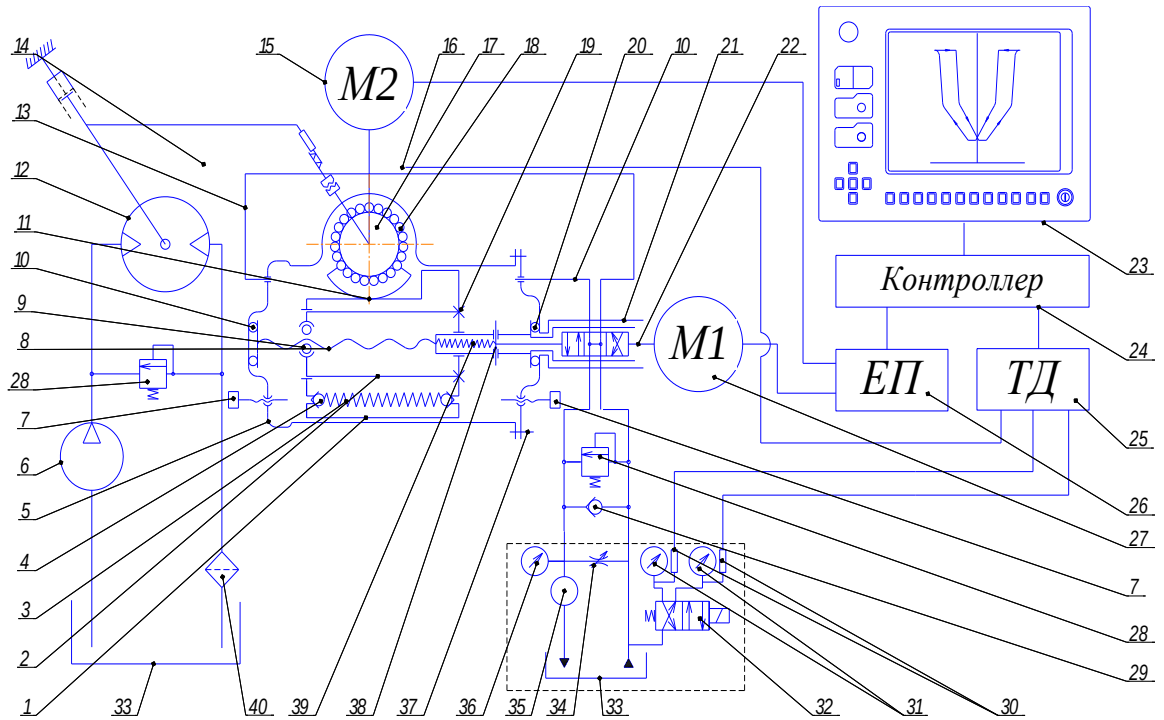


Рис.2.2.3.1.1 Схема гідрокінематична принципова КГГП

1–рейка-поршень, 2–гайка, 3–пружина кінцевих вимикачів, 4–клапан кінцевих вимикачів, 5–картер, 6–насос, 7–упори кінцевих вимикачів, 8–вент з зовнішнім золотником, 9–кульково-гвинтова передача, 10–підшипник упорний, 11–рейкова передача, 12–гідродвигун, 13–циліндрові магістралі подачі робочої рідини, 14–навантажувальний пристрій, 15–кроковий електродвигун, 16–тензометричний датчик моменту, 17–вал сошки, 18–підшипник вала сошки, 19–елементи кріплення гайки кульково-гвинтової передачі, 20–підшипник упорний, 21–корпус розподільника, 22–рульовий вал з внутрішнім золотником, 23–блок керування, 24–контролер, 25–програма керування тензометричними датчиками, 26–програма керування електроприводами, 27–кроковий двигун рульового вала, 28–клапан обмеження тиску КГГП, 29–клапан зворотній КГГП, 30–тензодатчики тиску, 31–манометри, 32–гідророзподільник, 33–бак, 34–дросіль, 35–лічильник рідини, 36–манометр, 37–елементи кріплення корпуса розподільника, 38–шліцеве з'єднання ротор-гвинт, 39–торсіон, 40–фільтр.

Перевірку комбінованої гідравлічної головки (КГГП) слід здійснювати з обов'язковим дотриманням вимог техніки безпеки, визначених ГОСТ 12.2.086-83. Проведення випробувань дозволяється лише фахівцям, які пройшли відповідний інструктаж, навчання та перевірку знань з охорони праці. Перебування сторонніх осіб, що не мають офіційного допуску до виконання випробувальних робіт, у зоні

проведення перевірки заборонено. Приміщення, де здійснюється перевірка, повинно бути обладнане первинними засобами пожежогасіння відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004-91. У процесі випробувань необхідно забезпечити повний комплекс заходів із безпеки персоналу, який бере участь у роботах.

Усі випробування проводяться в нормальних кліматичних умовах згідно з вимогами ДСТУ 15150-69, а саме: температура навколишнього повітря повинна становити $+25 \pm 5^\circ\text{C}$, відносна вологість – у межах 45–80 %, а атмосферний тиск – від 84 до 106,7 кПа (630–800 мм рт. ст.).

Перед початком перевірки необхідно підготувати зразок КГГП відповідного типорозміру та забезпечити наявність засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) відповідно до вимог експлуатаційних описів та інструкцій (перелік ЗВТ наведено в таблиці 2.2.3.10.1). Стенд для комплексної перевірки слід заправити робочою рідиною – мастилом марки МГЕ-46У (ТУ 38.001347-83), мастилом марки А (ТУ 38.1011282-89) або іншим еквівалентним за властивостями продуктом. Робочу рідину необхідно попередньо профільтрувати до тонкості 10 мкм. Її кінематична в'язкість має бути в межах 10–15 сСт, а робоча температура під час випробувань – 50–80 °С.

Випробовуваний КГГП слід жорстко закріпити на випробувальному стенді за допомогою болтів, забезпечивши повну нерухомість відносно опорної поверхні стенда. Значення моментів затягування кріпильних елементів для кожного типорозміру КГГП встановлено в таблиці 2.2.3.4.1.1.

Таблиця 2.2.3.4.1.1

Тип КГГП	Момент затягування болтів, Н·м	Номінальний момент на валу сошки, Мсном, Н·м
КГГП 240	350.....400	2400
КГГП 430	450.....500	4300
КГГП 500		5000
КГГП 720		7200

Перевірку навантажувальної характеристики розподільника виконують згідно зі схемою, наведеною на рисунку 2.2.3.1.1, при заблокованому валі сошки. До складу навантажувальної характеристики входять такі показники: гідравлічний

люфт, тиск холостого ходу, тиск нецентрування, максимальний тиск, тиск у зливній магістралі, тиск увімкнення підсилювача, а також кут повороту рульового вала, що відповідає тиску.

Перевірку здійснюють при подачі робочої рідини з витратою, залежно від типорозміру КГТП. Вал сошки (ВС) встановлюють у середнє положення шляхом суміщення мітки на валу з відповідною міткою на корпусі КГТП. На рульовий вал монтують і фіксують кроковий двигун рульового вала з блоком керування та програмним забезпеченням (КДРВБКПЗ). Процес перевірки ініціюється натисканням відповідної кнопки на пульті керування. Вимірювання параметрів здійснюють за допомогою тензометричних датчиків тиску, установлених у гідравлічних магістралях стенда, а також системи КДРВБКПЗ, змонтованої на рульовому валі.

Характеристика реактивної властивості розподільника визначається за схемою, поданою на рисунку 2.2.2.1.1, також при заблокованому валі сошки. До її основних параметрів належать: тиск холостого ходу, тиск нецентрування, тиск у зливній магістралі, тиск увімкнення підсилювача, крутний момент рульового вала у момент вмикання об'ємної подачі, а також максимальний крутний момент, який відповідає досягненню тиску.

Випробування проводять при подачі робочої рідини з витратою. На рульовий вал установлюють КДРВБКПЗ, після чого роботу розпочинають натисканням відповідної кнопки на пульті керування. Вимірювання здійснюють тензометричними датчиками тиску, розташованими в гідравлічних магістралях стенда, та системою КДРВБКПЗ.

З отриманої осцилограми визначають такі параметри:

- відстань від осі ординат до точки перетину гілки зростання тиску;
- відстань від осі ординат до точки перетину гілки падіння тиску;
- відстань між точками перетину характеристики з прямою, паралельною осі абсцис на рівні ординати;
- проекцію на вісь абсцис відстані між точками перетину гілки нарощування тиску з прямими, паралельними осі абсцис, на рівні ординат.

Подальші обчислення виконують на основі зафіксованих експериментальних даних.

Ефективність реактивної властивості розподільника позначається символом i і визначається розрахунковим шляхом за результатами проведених вимірювань.

$$R_0 = \frac{\Delta M_p}{\Delta_p};$$

- Приведений момент тертя в приводі, m_0

$$m_0 = \frac{M_{01} - M_{02}}{M_{01} + M_{02}} \omega = \omega = \frac{2\Delta M_0}{M_{01} + M_{02}}$$

Схема експериментальної перевірки навантажувальної характеристики механізму подана на рисунку 2.2.3.1.1, причому вал сошки фіксується у заблокованому положенні для забезпечення відтворюваності результатів. Характеристика реактивної властивості досліджуваного механізму визначається за сукупністю основних параметрів: максимального крутного моменту на валу сошки при досягненні граничного тиску та максимального крутного моменту на рульовому валу при тому ж тиску.

Перевірку здійснюють із подачею робочої рідини в діапазоні витрат, що коригується залежно від типорозміру комбінованої гідравлічної головки (КГГП). Вал сошки встановлюють у нейтральне положення шляхом суміщення мітки на валу (поз. 7) з відповідною міткою на картері (поз. 5) КГГП (поз. 1). На рульовий вал монтують і фіксують кроковий двигун рульового вала з блоком керування та програмним забезпеченням (КДРВБКПЗ, поз. 27), який забезпечує автоматизоване відпрацювання заданого алгоритму. Ініціація процесу перевірки здійснюється натисканням відповідної кнопки на пульті керування.

Збір експериментальних даних проводять за допомогою тензометричного датчика сили, розміщеного на технологічній сошці, а також комплексу КДРВБКПЗ, встановленого на рульовому валу. Отримана осцилограма, виведена на екран вимірювального комплексу, дозволяє визначити низку характеристичних параметрів, серед яких — зона нечутливості рульового механізму за моментом на

рульовому валу, а також проекція на вісь абсцис відстані між точками перетину однієї з гілок характеристики.

Додатково на основі експериментальних даних здійснюють розрахункове визначення уточнених параметрів реактивної властивості, що дозволяє оцінити динамічну стабільність, енергетичну ефективність і точність функціонування механізму за різних режимів навантаження. Такий підхід забезпечує підвищення достовірності оцінки технічного стану КГГП і дозволяє використовувати результати перевірки для подальшої оптимізації конструкційних та гідравлічних параметрів системи.

- Ефективність гідравлічної властивості КГГП, R

$$R = \frac{\Delta M_M}{\Delta M_C};$$

Схема проведення перевірки характеристики жорсткості механізму подана на рисунку 2.2.2.1.1, при цьому вал сошки фіксується в заблокованому положенні для усунення впливу паразитних коливань і забезпечення точності вимірювань. До складу характеристики жорсткості входять два основних параметри: механічний люфт, що характеризує зазор у кінематичних з'єднаннях, та пружний люфт, який відображає деформаційні властивості елементів передавального механізму.

Випробування здійснюють із подачею робочої рідини в діапазоні витрат $Q=10-16$ дм³/хв, що визначається типорозміром комбінованої гідравлічної головки (КГГП). Частота обертання вала сошки становить. На рульовий вал монтують кроковий двигун із блоком керування та програмним забезпеченням (КДРВБКПЗ, поз. 27), який забезпечує прецизійне відпрацювання заданої програми руху. Запуск процесу перевірки здійснюється натисканням відповідної команди на пульті керування. Збір та реєстрацію даних виконують за допомогою системи КДРВБКПЗ, встановленої на валу сошки, що дозволяє отримати осцилограми залежності крутного моменту від кута повороту та визначити зони люфтів з високою точністю.

Схема перевірки характеристики стабілізації рульового механізму наведена на рисунку 2.2.3.1.1; при цьому вал сошки також залишається заблокованим.

Характеристика стабілізації відображає величину моменту супротиву повороту вала сошки при прикладенні до нього активного моменту за умови подачі робочої рідини.

Перевірку здійснюють при витраті робочої рідини $Q=10-16 \text{ дм}^3/\text{хв}$, що узгоджується з типорозміром КГГП. Вал сошки встановлюють у середнє положення шляхом поєднання мітки на валу (поз. 7) з міткою на картері (поз. 5) корпусу КГГП (поз. 1). На рульовий вал встановлюється КДРВБКПЗ (поз. 27), який забезпечує автоматизовану фіксацію динамічних параметрів процесу. Для запуску перевірки натискається відповідна кнопка на пульті керування, після чого система переходить у режим збору даних. Вимірювання здійснюються виключно за допомогою комплексу КДРВБКПЗ, що забезпечує високу точність реєстрації змін моменту супротиву під час дії активного навантаження.

У подальшому розділі подано повний перелік засобів вимірювальної техніки, допоміжного обладнання та випробувальних стендів, необхідних для реалізації зазначених перевірок і контролю технічних параметрів КГГП згідно з установленними нормативними вимогами.

Таблиця 2.2.3.10.1

Найменування й тип засобів вимірювальної техніки й устаткування	Позначення	Основна характеристика	
		клас точності, похибка	Робоча характеристика
1	2	3	4
Лічильник рідини ШЖУ 25-М-16	ТУ 25-02.071.922-87	0,5	Витрата рідини 0,72-7,2 м ³ /ч
Манометр ДМ 100-25 Мпа-1,32	ТУ 4212-082- 00227471-01	1,5	Тиск 0...25 Мпа
Манометр ДМ 100-1,6 Мпа-0,32	ТУ 4212-082-00227471-01	0,4	Тиск 0...1,6 Мпа
Секундомір Соппр-2а-2-010	ТУ 25.1894.003-90	±0,2 с	Час від 0 до 1ч

Барометр-анероїд контрольний М-67	ТУ 25.04-1797-75	$\pm 0,8$ мм рт.ст.	Від 610 до 790 мм рт.ст.
Психрометр аспіраційний М34	ТУ 25-08-809-70		Від 10 до 100 %
Віскозиметр ВПЖ-2-0,003-ХС3	ГОСТ 10028-8	$\pm 0,3$ %	Від 0,6 до 3 мм ² /з
Кроковий двигун серії FL86STH		± 0.09 град	Від 50 до 200 Н·м
Тензометричний датчик тиску YB15A		0,1%	Тиск 20...100 Мпа
Тензометричний датчик тиску YB20A		0,15%	Тиск 50...150 Мпа
Тензометричний датчик сили CPS	ГОСТ 51254-99	0.03%	Від 5000 Н До 20000 Н
Ключ динамометричний МТ-1-800	ТУ 25.05.1481-77	$\pm 8\%$	Від 160 до 800 Н·м
Витратомір-лічильник типу ОР-40/32	4213-001-58078761-05ТУ	$\pm 0,35$ %	0,05...3..3,75дм ³ /хв
Стенд для комплекс ний перевірки КГТП	УЯИШ.441429.001	-	-
Зразки продукції КГТП	УЯИШ.453461.003	-	-
	УЯИШ.453461.004	-	-
	УЯИШ.453461.005	-	-
	УЯИШ.453461.006	-	-

2.2 Програма і методика комплексних випробувань

Випробування характеристик розподільника навантажувальної та реактивної властивості

Схема випробувань представлена на рисунку 2.2.4.1.1. Характеристики розподільника, зображені на рисунках 2.2.4.1.2 та 2.2.4.1.3, реєструються послідовно без потреби перебудови вимірювального стенда, що забезпечує безперервність експерименту та збереження вихідної орієнтації осей координат.

Характеристика роботи розподільника визначається у вигляді двох функціональних залежностей:

- залежності тиску від кута розкриття розподільника;
- залежності тиску p_{rr} від моменту M_{MM} на вхідному (рульовому) валу.

За результатами отриманих експериментальних даних розраховуються такі параметри:

- ефективність реактивної властивості розподільника, яка характеризує співвідношення між реактивним моментом і тиском у системі;
- приведений момент тертя у вузлах розподільника, що визначає енергетичні втрати та чутливість механізму.

Випробування проводиться у прямому напрямку руху робочої рідини при заблокованому у середньому положенні валу сошки. До рульового вала прикладається активний момент M_{MM} , що забезпечує плавне відхилення вала від середнього положення до моменту спрацьовування клапана обмеження тиску кермового механізму. У разі відсутності такого клапана спрацьовує запобіжний клапан гідравлічної системи стенда. У результаті в напірній магістралі створюється тиск, який становить $(1,0-1,1)$ або, за потреби $(1,2-1,3)$.

Після досягнення граничного тиску момент на рульовому валу поступово зменшують, забезпечуючи плавне повернення його у вихідне положення. При цьому прикладення моменту протилежного напрямку не допускається, щоб уникнути похибок, пов'язаних із гідродинамічною інерцією системи. Після повного повернення у вихідну позицію рульовий вал звільняють, а потім аналогічний цикл повторюють у протилежному напрямку.

Кожен дослід виконується тричі, що забезпечує достовірність і статистичну відтворюваність результатів. Отримані осцилограми аналізуються для побудови характеристик на основі яких здійснюється оцінка реактивної здатності, стабільності та точності роботи розподільника при різних навантажувальних режимах.

m_0 - приведений момент тертя в приводі розподільника, що оцінюється відносною шириною петлі гістерезису характеристики $p(M)$ на рівні тиску $P_{сл}+P_0+P_{вкл}+\Delta P = P_{сл}+P_0+1,1$ і розраховується за формулою:

$$m_0 = \frac{M_{01} + M_{02}}{M_{01} + M_{02}} = \frac{2\Delta M_0}{M_{01} + M_{02}}$$

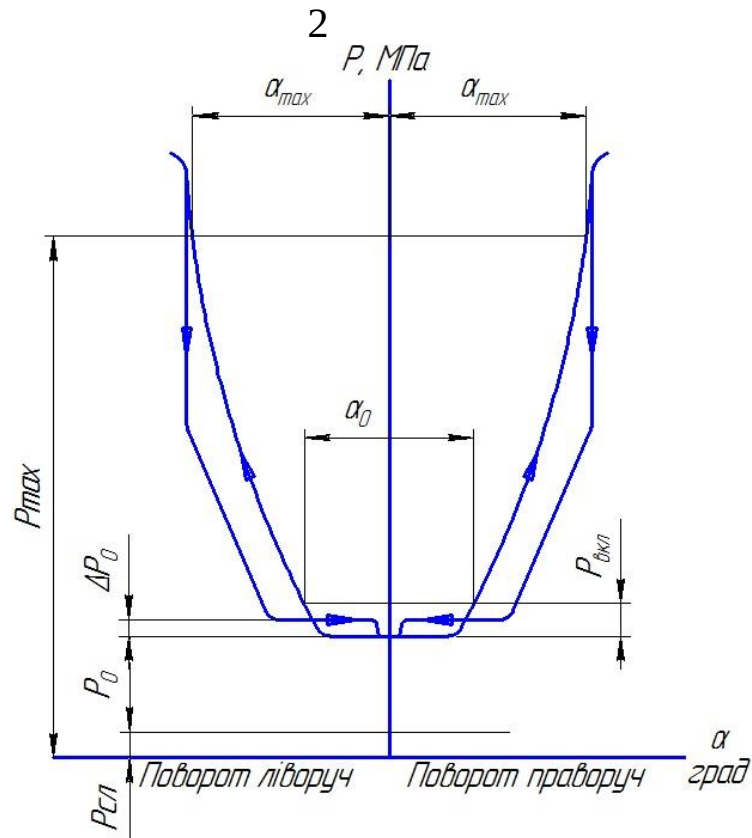


Рис. 2.2.4.1.2 Навантажувальна характеристика розподільника

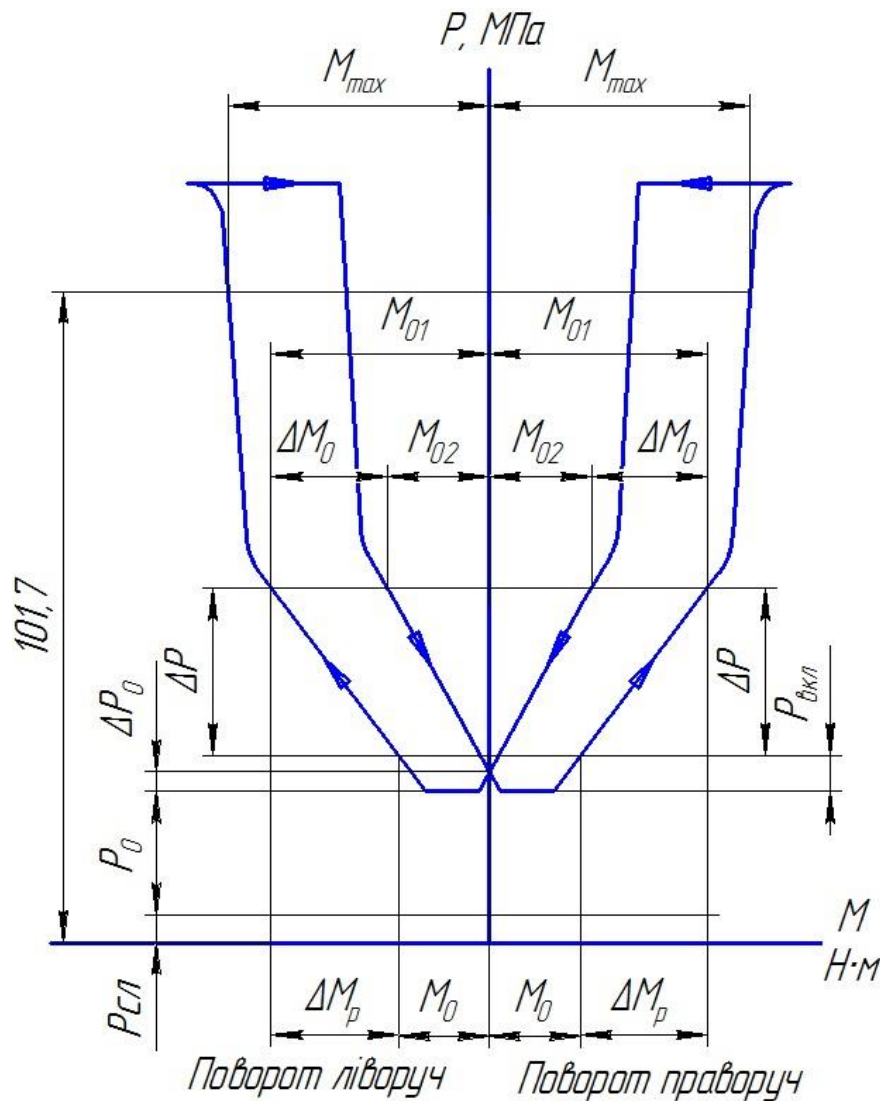


Рис. 2.2.4.1.3 Характеристика реактивної властивості розподільника

У документ, що фіксує результати експериментальних випробувань, заносяться середні значення параметрів, отримані на основі трьох повторних дослідів. Такий підхід забезпечує підвищення достовірності та репрезентативності результатів. При цьому середні значення основних показників — визначаються окремо для лівого та правого напрямків повороту рульового валу, що дозволяє оцінити симетричність роботи розподільника та точність його балансування.

Допускається, поряд із побудовою повної навантажувальної характеристики зображеної на рисунку 2.2.4.1.2, отримання часткової характеристики, обмеженої ділянкою від середнього положення рульового валу до моменту, коли тиск у напірній магістралі досягає рівня 0,15–0,20 МПа. Такий підхід дозволяє скоротити

тривалість експерименту при контрольних або серійних перевірках без суттєвого зниження точності визначення основних характеристик.

Під час зняття часткової характеристики необхідно зберігати всі умови та порядок проведення випробувань ідентичними до тих, що застосовуються при побудові повної характеристики. Масштаб по осі кута розкриття залишається незмінним, тоді як шкалу по осі тиску доцільно розтягнути для підвищення роздільної здатності відображення залежності на малих діапазонах тиску.

У разі реєстрації двох варіантів характеристики — повної та часткової, — визначення параметрів здійснюється за диференційованим принципом:

- показник $\alpha_{\max}$ встановлюється за повною характеристикою;
- параметри P_0 , ΔP_0 та α_0 — за частковою характеристикою.

Вимірювальні дані, отримані від тензометричного датчика тиску, встановленого у гідравлічній магістралі випробувального стенда, передаються на контролер, де відбувається їх перекодування в електронний формат. Подальше зчитування, оброблення та візуалізація здійснюються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Результати подаються у вигляді осцилограм та графічних залежностей:

- $P=f(\alpha)$ — тиск як функція кута повороту розподільника;
- $P=f(M)$ — тиск як функція моменту на рульовому валу.

Таке подання дозволяє не лише оцінити лінійність та стабільність роботи розподільника, але й провести подальший аналітичний розрахунок параметрів реактивної властивості, чутливості та енергетичної ефективності механізму в процесі випробувань.

2.3 Випробування реактивної властивості механізму M_c (M)

Характеристику, подану на рисунку 2.2.4.2.2, визначають лише під час випробування інтегрального рульового механізму, і отримують її безпосередньо, без необхідності перетворення координатних осей. Такий підхід забезпечує збереження природної кореляції між вхідними та вихідними параметрами системи, що підвищує точність оцінки реактивних властивостей.

Характеристика ефективної реактивної властивості комбінованої гідравлічної головки приводу (КГГП) визначається на основі графіка кореляційної залежності крутного моменту на валу сошки від крутного моменту на рульовому валу. На підставі отриманої експериментальної кривої визначається коефіцієнт ефективності реактивної властивості RRR , який характеризує взаємозв'язок між гідравлічними силами, що діють у розподільнику, та моментом опору на вихідному валу.

Випробування проводять у прямому напрямку руху робочої рідини, за умови включеної подачі, що забезпечує реалістичне відтворення робочого процесу. Вал сошки навантажується зовнішнім моментом, створюючи симульоване робоче навантаження на вихідну ланку механізму. Початковим положенням рульового валу під час випробування є положення, що відповідає повороту вала сошки в будь-який бік на кут $5-7^\circ$.

У цьому положенні до рульового валу прикладається активний момент, який забезпечує плавний поворот у протилежному напрямку. Після досягнення відхилення вала сошки на кут $5-7^\circ$ у зворотний бік рульовий вал повертається у вихідне положення з тією ж кутовою швидкістю, що гарантує симетричність навантаження та мінімізацію інерційних похибок.

Схема діагностування КГГП на реактивну властивість наведена на рисунку 2.2.4.2.1. Випробування проводять з метою визначення ступеня збалансованості гідравлічних і механічних сил, що забезпечує адекватний зворотний зв'язок і створює у водія відчуття контакту з дорогою. Для підвищення точності результатів дослід повторюють тричі, після чого проводиться усереднення вимірних параметрів.

Реактивна властивість КГГП формується за рахунок двох основних складових:

Пружної компоненти, що визначається механічними характеристиками торсіона і впливає на чутливість системи до крутного моменту;

Гідравлічної компоненти, що обумовлена роботою розподільника, який регулює потік робочої рідини та формує гідродинамічний опір, необхідний для стабілізації зусилля на рульовому валу.

Отримані результати дозволяють кількісно оцінити ступінь узгодженості механічних і гідравлічних параметрів КГГП, визначити оптимальний баланс реактивного зусилля та забезпечити комфортне й безпечне керування транспортним засобом.

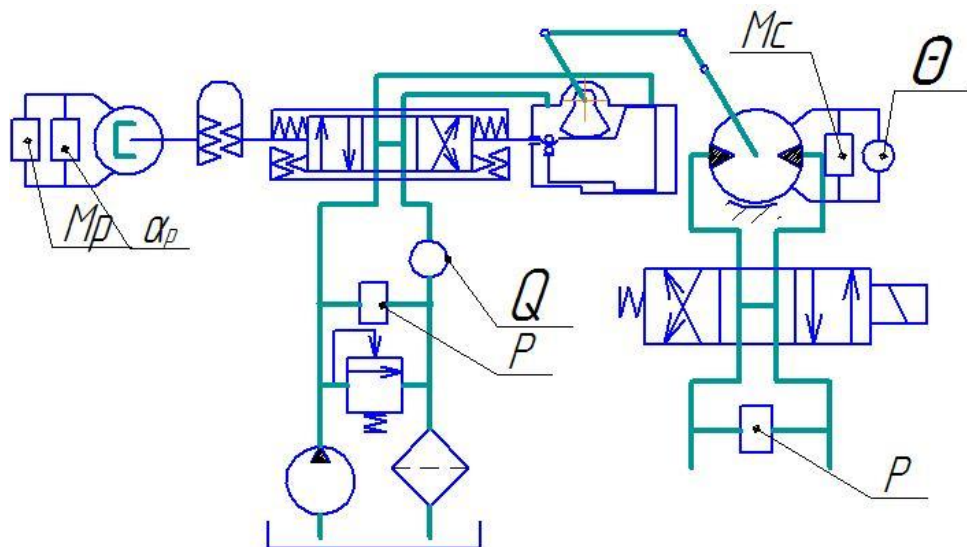


Рис. 2.2.4.1.1 схема діагностування на реактивну властивість механізму

M_p, M_c – датчики моменту; α_p – датчик кута повороту рульового вала; Q – датчик об'ємної подачі в системі гідропідсилювача; P – датчик тиску в системі гідро підсилювача; θ – датчик кута повороту вала сошки.

З характеристики на Рис. 2.2.4.2.2 безпосередньо визначають наступні показники:

M_m – зона нечутливості рульового механізму по моменту на рульовому валу; $M_{сmax}$ – момент на валу сошки, відповідний моменту M_{max} (який отриманий з характеристики $p(M)$ на Рис. 2.2.4.2.2).

По характеристиці на Рис. 2.2.4.2.2 обчислюється:

R – ефективність реактивної властивості гідравлічного підсилювача, що оцінюється зміною ΔM_m моменту на рульовому валу M на гілках його наростання, віднесеним до заданої зміни моменту на валу сошки $\Delta M_c = 0,10M + 0,10M$ і обчислюється по формулі:

$$R = \frac{\Delta M_M}{\Delta M_c}$$

де $M_{Cmax}^{ліве}$ і $M_{Cmax}^{праве}$ - значення M_{Cmax} відповідно при лівому і правому поворотах рульового вала

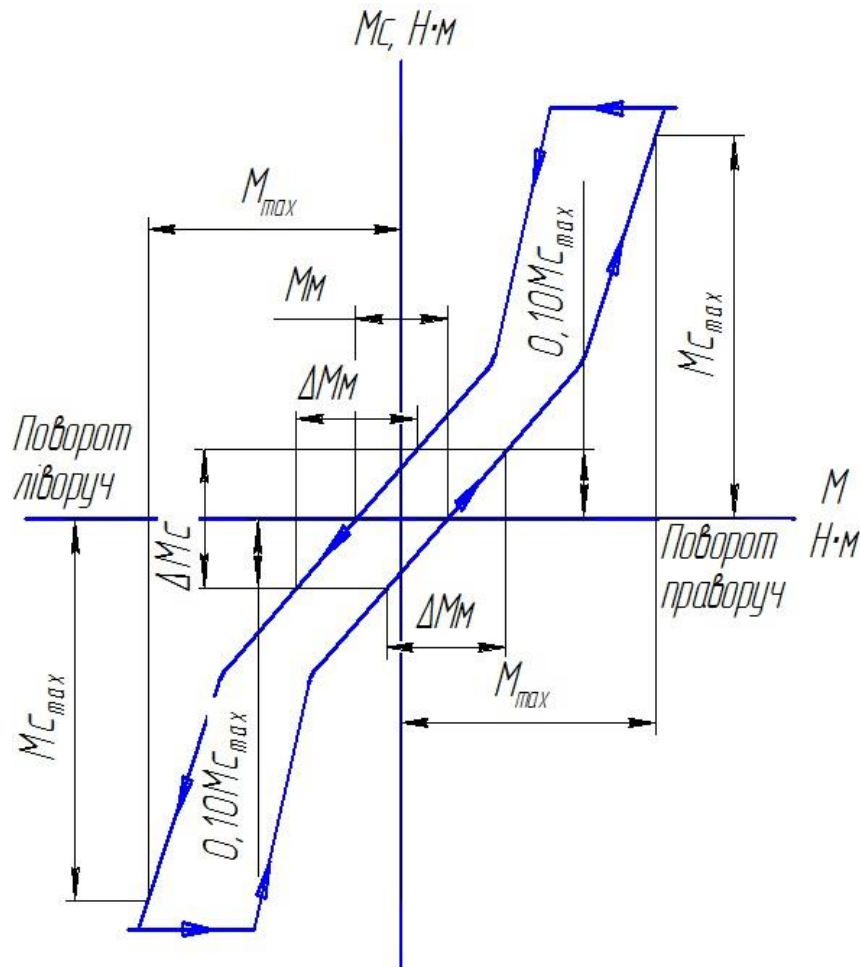


Рис. 2.2.4.2.2 Характеристика реактивної властивості механізму

Дані вимірювань, отримані за допомогою тензометричного датчика крутного моменту, встановленого на технологічній сошці, передаються на контролер перетворення сигналів, де відбувається їх перекодування в електронний формат. Подальше зчитування, оброблення та аналіз інформації здійснюються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке забезпечує фільтрацію шумів, масштабування сигналів і синхронізацію каналів вимірювання.

Оброблені результати виводяться на екран у вигляді графічної залежності крутного моменту на валу сошки від крутного моменту на рульовому валу. Такий графік відображає кореляційний зв'язок між вхідними та вихідними моментами

системи, що дозволяє кількісно оцінити реактивну властивість КГТП, визначити нелінійності в характеристиках та встановити рівень енергетичних втрат у механізмі.

2.4 Випробування характеристики жорсткості механізму $M(\alpha)$

Характеристику $M(\alpha)$, показану на Рис. 2.2.4.3.1, одержують безпосередньо, без перебудування з метою заміни осей координат.

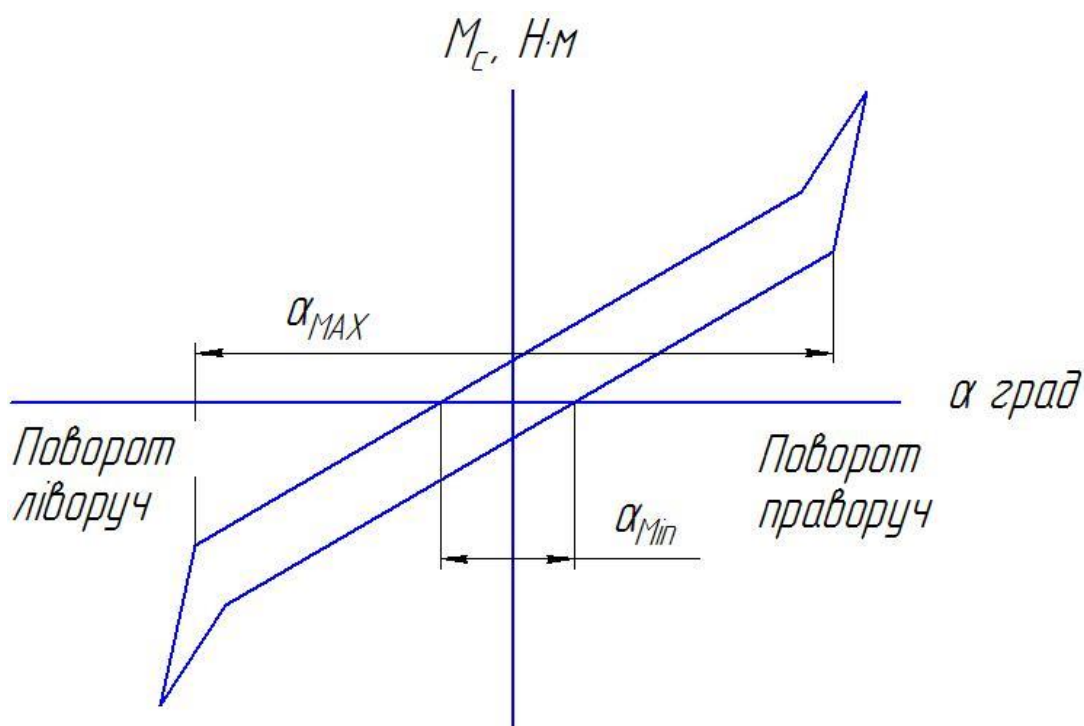


Рис. 2.2.4.3.1 Характеристика жорсткості механізму

Випробування здійснюється у прямому напрямку при вимкненій подачі робочої рідини, що дозволяє оцінити механічні властивості системи без впливу гідравлічних факторів. Вал сошки фіксується в середньому положенні для забезпечення стабільності умов експерименту та виключення паразитних деформацій у кінематичному ланцюзі.

Рульовий вал обертається із середнього положення від упору до упору до обмежника приводу розподільника, після чого повертається у протилежному напрямку також від упору до упору, забезпечуючи повний робочий цикл

механічного ходу системи. По завершенні циклу рульовий вал плавно повертається у вихідне (середнє) положення, фіксуючи відновлення початкової позиції.

Для підвищення достовірності результатів випробування повторюється тричі, після чого визначаються середні значення параметрів, що характеризують стабільність, точність відпрацювання руху та симетрію механічної реакції системи.

З характеристики на Рис. 2.2.4.3.1 безпосередньо визначають наступні показники:

α_m – механічний люфт;

α_y – пружний люфт.

Дані вимірювань, отримані за допомогою комплексу КДРВБКПЗ, через контролер збору та оброблення сигналів перекодовуються в електронний формат для подальшого аналізу. Зчитування, цифрова фільтрація та оброблення даних здійснюються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке забезпечує синхронізацію вимірювальних каналів, масштабування сигналів і виключення похибок, пов'язаних із перехідними процесами.

У результаті опрацювання дані виводяться на екран у вигляді графічної залежності крутного моменту на валу сошки. Отримана характеристика відображає зміну реактивного моменту в процесі повороту рульового валу, що дозволяє оцінити жорсткість, стабільність та лінійність роботи механізму, а також виявити можливі зони підвищеного опору або люфту в системі.

2.5 Випробування характеристики стабілізації рульового механізму $M_{\text{собр}}$

Характеристику $M_{\text{собр}}$ показану на Рис. 2.2.4.4.2, одержують безпосередньо, без перебудування з метою заміни осей координат.

Випробування проводиться з ввімкненою подачею робочої рідини.

Після ініціалізації випробування активується комплекс КДРВБКПЗ, у результаті чого момент супротиву на валу сошки (ВС) досягає свого максимального значення. У процесі роботи рульовий вал (РВ) переміщується до крайнього положення, після чого система КДРВБКПЗ автоматично вимикається, що призводить до зниження моменту супротиву до нуля.

Далі вмикається комплекс КДВСБКПЗ, який формує зворотний момент, що поступово зростає та забезпечує повернення рульового валу в нейтральне положення. Така послідовність дій дозволяє точно відтворити робочий цикл дії системи керування, зафіксувати динаміку зміни зусиль та оцінити пружні властивості КГГП.

Дані моменту на валу сошки (M_c) реєструються за допомогою тензометричного датчика крутного моменту, встановленого на технологічній сошці. Отримані аналогові сигнали через контролер збору даних перекодовуються у цифровий формат, після чого зчитуються та обробляються спеціалізованим програмним забезпеченням.

Результати вимірювань виводяться на екран у вигляді графічної залежності моменту обертання сошки $M_{\text{собр}}$ від кута повороту Θ . Отримана крива дозволяє визначити характеристику жорсткості механізму, зокрема співвідношення між прикладеним моментом і кутовою деформацією, що є важливим показником точності, стабільності та працездатності рульового вузла.

Схема діагностування КГГП на жорсткість механізму наведена на рисунку 2.2.4.4.1. Вона забезпечує експериментальне визначення як пружних, так і гідравлічних компонент жорсткості, що дозволяє провести комплексну оцінку ефективності роботи механізму під навантаженням.

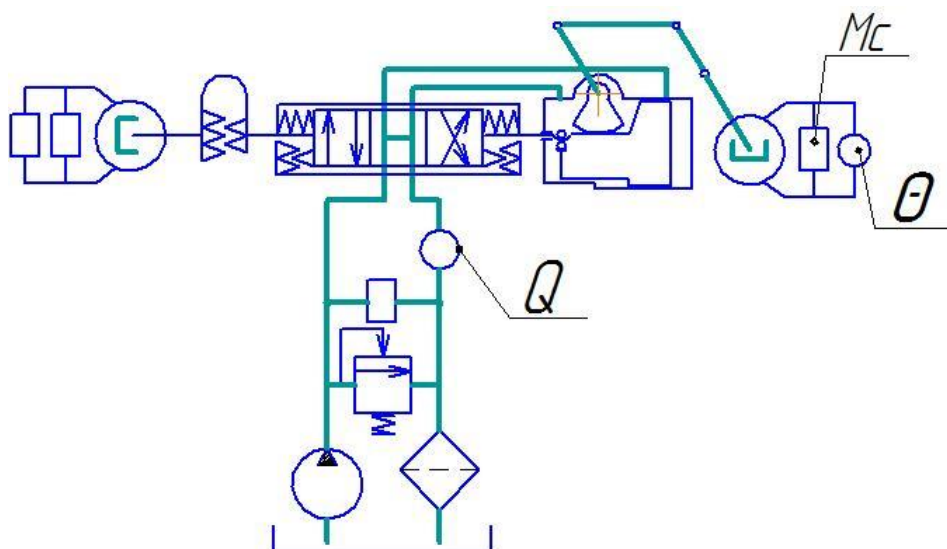


Рис. 2.2.4.4.1. схема діагностування КГГП на характеристику жорсткості механізму M_c – датчик моменту на сошці; Q – датчик об’ємної подачі в системі гідропідсилювача; Θ – датчик кута поворота вала сошки.

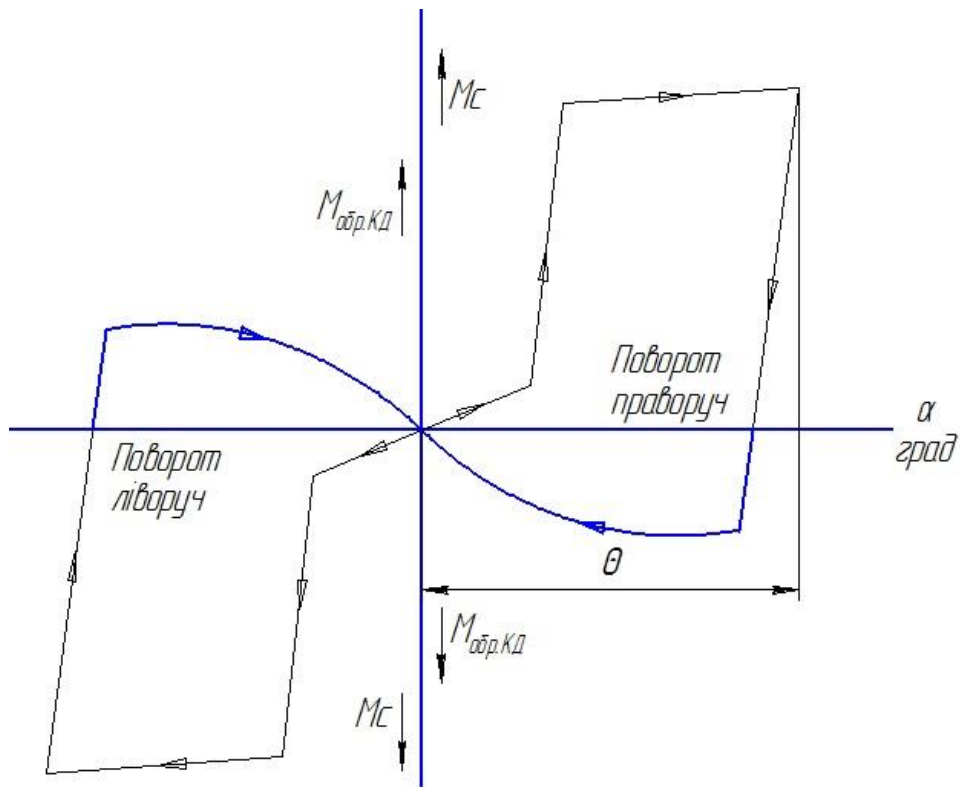


Рис. 2.2.4.4.2 Характеристика стабілізації рульового механізму

Розглянуті експериментальні характеристики розподільника та комбінованої гідравлічної головки приводу (КГГП) свідчать про наявність нестійкої роботи агрегату. Така поведінка зумовлена наявністю зон розузгодження на характеристичних кривих, у межах яких зміна вхідного параметра не супроводжується відповідною зміною вихідного сигналу. Це свідчить про існування ділянок інерційності та втрати зворотного зв'язку між елементами системи.

У процесі функціонування таких систем можливе виникнення автоколивань, спричинених затримками у спрацьовуванні гідравлічних каналів, нелінійностями у характеристиках дроселювання та пружними деформаціями механічних елементів. Наявність автоколивальних режимів негативно впливає на стабільність керування, точність позиціонування та довговічність вузлів механізму.

З огляду на це, системи керування з гідромеханічними елементами обов'язково підлягають перевірці на динамічну сталість, що дає змогу оцінити їх

здатність зберігати робочий режим без самозбудження коливань і забезпечувати стійку реакцію на зміну вхідних впливів.

2.6 Опис структурної схеми гнучкої автоматизованої системи випробувань КГГП

На рисунку 2.2.5.1.1 представлено структурну схему та опис робочих процесів гнучкої автоматизованої системи випробувань (ГАСВ), розробленої для комплексних випробувань комбінованих гідравлічних головок приводу (КГГП).

Система побудована за ієрархічно-розподіленим принципом, що забезпечує одночасно деконцентрацію процесів управління на рівні постановки експериментальних завдань і збору результатів, та централізацію функцій контролю і діагностування на рівні аналізу фізичних характеристик і взаємодії вузлів агрегату.

З одного боку, ГАСВ функціонує як розподілена система, у якій завдання випробувань формуються на рівні керуючих модулів, а результати вимірювань автоматично передаються в базу даних для подальшої обробки. Така архітектура забезпечує гнучкість при налаштуванні режимів експериментів, масштабованість системи та можливість її інтеграції в єдине інформаційне середовище випробувального комплексу.

З іншого боку, система містить глибоко централізовані підсистеми, що реалізують високоточний збір, фільтрацію, аналіз і візуалізацію параметрів, спрямовані на розкриття фізичних властивостей агрегату, виявлення закономірностей у його роботі та оцінку взаємодії окремих вузлів під час навантаження.

Таким чином, ГАСВ забезпечує повний цикл автоматизованих випробувань КГГП — від постановки експериментального завдання до отримання, обробки та інтерпретації результатів, що дозволяє значно підвищити точність, відтворюваність і ефективність процесу діагностування гідромеханічних систем.

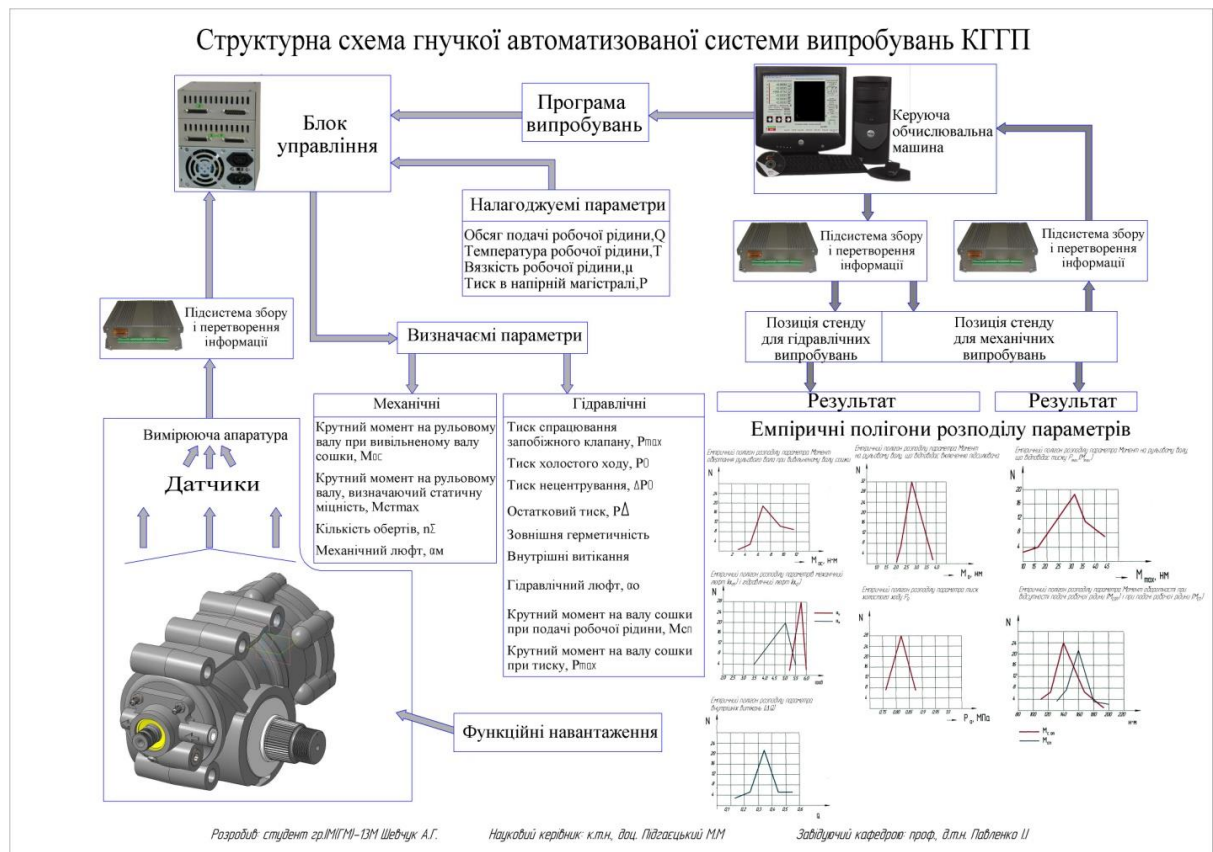


Рис. 2.2.5.1.1 Структурна схема гнучкої автоматизованої системи випробувань КГТП

Гнучка автоматизована система випробувань (ГАСВ) розроблена для проведення комплексних досліджень і діагностики **комбінованих гідравлічних головок приводу (КГТП)** в умовах, максимально наближених до реальної експлуатації. Система має модульну архітектуру та включає низку взаємопов'язаних підсистем, які забезпечують повний цикл експериментальних досліджень – від збору первинних даних до аналітичного опрацювання результатів.

Основні підсистеми ГАСВ

До складу системи входять такі підсистеми:

Експрес-аналіз і реєстрація експлуатаційних навантажень – забезпечує оперативне вимірювання та запис параметрів роботи агрегату під час дії реальних або змодельованих навантажень.

Підсистема визначення параметрів випадкових процесів, моделювання і діагностики навантажень – виконує математичний аналіз динамічних сигналів, імітує робочі режими й дозволяє виявляти приховані дефекти у вузлах КГТП.

Комплексне управління випробувальними стендами – реалізує централізоване керування режимами як поелементного, так і комплексного контролю, забезпечуючи узгоджену роботу всіх частин системи.

Основні робочі процеси системи

Робочі процеси в ГАСВ підтримуються **керувальними комплексами**, що вирішують три основні групи завдань:

Експрес-аналіз і реєстрація навантажень – збір, накопичення та архівація інформації про реальні навантаження агрегату та його складових у пам'яті комп'ютера або безпосередньо на стендах.

Моделювання та програмне керування випробуваннями – створення і реалізація стендових програм випробувань із використанням отриманих даних про експлуатаційні навантаження та можливостей програмно-керованих модулів.

Вимірювання, аналіз і оцінювання параметрів – визначення фактичних характеристик випробуваного об'єкта, порівняння їх із нормативними значеннями, формування висновків про **надійність і довговічність агрегату**.

Допоміжні процеси системи

До допоміжних процесів належать:

тестування та регулювання підсистем і окремих блоків;

забезпечення сервісної взаємодії користувача з системою;

реалізація спеціальних режимів роботи підсистем залежно від завдань конкретного експерименту або виду випробувань.

Структурна схема ГАСВ

Структурна схема гнучкої автоматизованої системи випробувань КГГП містить такі основні елементи:

Випробовуваний агрегат (ВА) – об'єкт дослідження, на який діють навантаження;

Тензометричні датчики (ТД) – сенсори, що вимірюють параметри силових і гідравлічних процесів;

Підсистема збору і перетворення інформації (ПЗП) – контролер, який виконує аналого-цифрове перетворення сигналів;

Блок управління (БУ) – модуль, у якому оператор задає параметри випробування, проводить коригування режимів і приймає результати;

Керуюча обчислювальна машина (КОМ) – центральний обчислювальний блок, що забезпечує логіку, алгоритмічне керування й візуалізацію даних;

Стенд проведення випробувань (СПВ) – механічна платформа, на якій реалізується навантаження і фіксуються фізичні параметри об'єкта.

Принцип роботи системи

Під час роботи стенда **тензометричні датчики (ТД)**, змонтовані на СПВ, фіксують параметри, що виникають у ВА під дією функціональних навантажень. Ці навантаження формуються через СПВ за командами, які подає **керуюча обчислювальна машина (КОМ)**. Отримана інформація у вигляді аналогових сигналів **перетворюється підсистемою збору і перетворення інформації (ПЗП)** з електричного струму в **цифровий двійковий код**, після чого передається до **блоку управління (БУ)**.

Оператор у БУ задає налагоджувальні параметри випробування відповідно до програми, сформованої в КОМ. Після завершення експерименту всі отримані дані автоматично передаються в КОМ, де за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення здійснюється побудова графіків поелементного та комплексного контролю, а також розрахунок оцінкових показників технічного стану агрегату.

Технічні особливості системи

У технічному плані ГАСВ спроектована з урахуванням впровадження у виробництво гідропідсилювачів із використанням гнучких технологій, що зумовлює потребу у швидкій переналадці випробувального обладнання. Це дозволяє оперативно змінювати режими та конфігурації стендів під конкретний тип або модифікацію КГГП.

Всі технічні засоби системи мають повну інформаційну та апаратну сумісність, що забезпечує стабільний обмін даними між модулями, мінімізує похибки й полегшує технічне обслуговування.

Вибір технічних характеристик випробувального обладнання здійснюється з урахуванням реальних експлуатаційних навантажень об'єкта, що випробовується, що гарантує адекватність результатів дослідження реальним умовам роботи агрегату.

Таким чином, гнучка автоматизована система випробувань (ГАСВ) забезпечує високий рівень автоматизації, точності та повторюваності випробувань, створюючи надійне середовище для оцінювання функціональної надійності та довговічності КГГП у динамічних умовах експлуатації.

Для функціонування автоматизованої системи датчиків рис.2.2.5.1.2

У складі гнучкої автоматизованої системи випробувань (ГАСВ) функціонують взаємопов'язані модулі, що працюють у комплекті з персональним комп'ютером (ПК), а також з аналогово-цифровими (АЦП) і цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП). Така конфігурація забезпечує замкнений цикл керування та повну автоматизацію процесів вимірювання, оброблення й управління електроприводами випробувальної системи.

У системі реалізовано числову програму керування (ЧПК), яка координує роботу приводів електромеханічних систем і дозволяє виконувати програмно керовані цикли випробувань із заданими параметрами точності, швидкості та навантаження.

Потік даних у системі організовано за такою послідовністю:

Інформація від вимірювальних датчиків передається на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), який трансформує аналогові сигнали у цифрову форму.

Цифрові дані з АЦП надходять на персональний комп'ютер, де вони візуалізуються у вигляді показників і графіків. На цьому етапі здійснюється також задання вхідних параметрів для подальшого керування випробувальним процесом.

Сформовані комп'ютером керуючі сигнали передаються через цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) до числової програми керування (ЧПК).

ЧПК, обробивши отримані дані, формує керуючі сигнали для приводів електросистем, забезпечуючи їх точне позиціонування та стабільну роботу відповідно до заданого алгоритму.

Така двостороння система обміну інформацією між вимірювальними датчиками, комп'ютером і ЧПК створює замкнуту систему автоматичного керування, яка дозволяє не лише здійснювати точні вимірювання та контроль параметрів у режимі реального часу, а й оперативно регулювати роботу стенда в процесі випробувань.

Завдяки інтеграції цифрових і аналогових перетворювачів у поєднанні з ЧПК забезпечується висока точність, швидкодія й адаптивність системи, що є ключовими умовами для ефективного тестування гідромеханічних агрегатів типу КГГП.

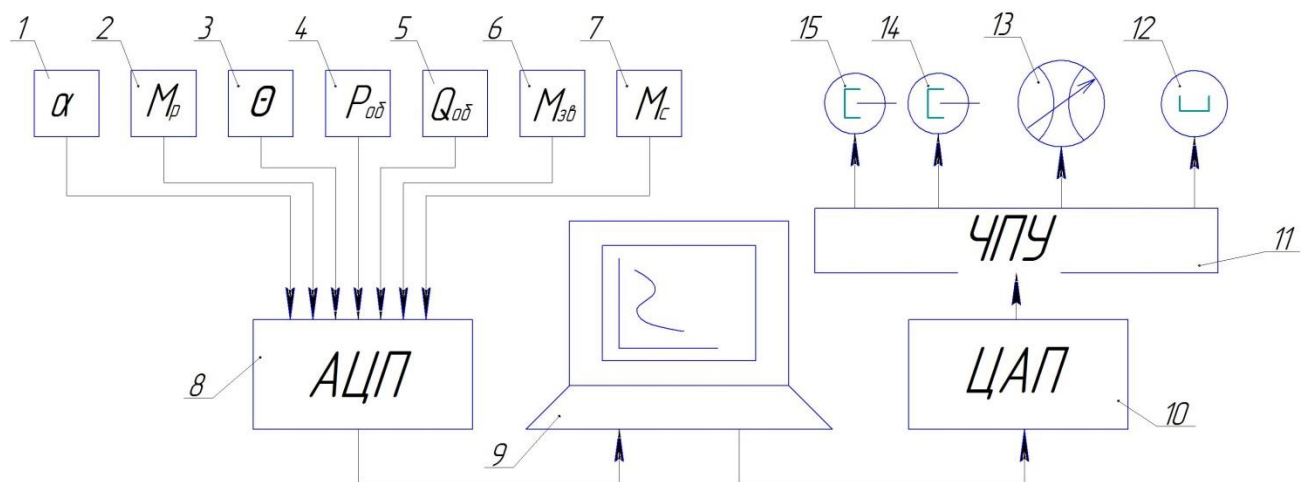


Рис. 2.2.5.1.2 Структурна схема автоматизованої діагностичної системи КГГП

1 – датчик кута повороту рульового вала; 2 – датчик моменту на рульовому валу; 3 – датчик кута повороту вала сошки; 4 – датчик тиску в системі гідро підсилювача; 5 – датчик об'ємної подачі в системі гідро підсилювача; 6 – датчик моменту зворотнього ходу; 7 – датчик моменту на валу сошки; 8 – АЦП; 9 – ПК; 10 – ЦАП; 11 – ЧПУ; 12 – кроковий двигун моменту зворотнього ходу; 13 – привод регулювання дроселя; 14 – регулює мий привод насоса живлення; 15 – кроковий двигун приводу рульового вала.

2.7 Модернізація конструкції стенду з його описом

Стенд для функціональних випробувань комбінованих гідравлічних головок приводу (КГГП) призначений для проведення приймально-здавальних та періодичних випробувань усього типорозмірного ряду кульково-гвинтових гідропідсилювачів, передбачених технічними умовами ТУ В 34.3-14312430-047-2004.

Конструкція та функціональні можливості стенда забезпечують перевірку робочих параметрів, герметичності, ефективності підсилення та стабільності характеристик гідропідсилювачів у різних режимах навантаження. Система вимірювання і керування стенда інтегрована з гнучкою автоматизованою системою випробувань (ГАСВ), що дозволяє здійснювати автоматизований збір, аналіз і візуалізацію даних у режимі реального часу.

Стенд розроблений для експлуатації в районах з помірним та холодним кліматом, відповідно до вимог виконання «В» і «ХЛ», що передбачає забезпечення надійної роботи системи при температурах від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості до 80 %.

Розміщення стенда при експлуатації здійснюється у закритих приміщеннях категорії 4 згідно з ДСТ 15150, що гарантує оптимальні умови зберігання, обслуговування та проведення випробувань без впливу зовнішніх кліматичних факторів.

Завдяки своїм технічним характеристикам стенд забезпечує повну перевірку функціональної придатності гідропідсилювачів, а також дозволяє здійснювати оцінку їх довговічності, плавності роботи та стабільності параметрів у відповідності до встановлених нормативно-технічних вимог.

Таблиця 2.2.6.2.1

Назва параметру	Характеристика
Тип	стаціонарний
Керування	автоматичне
Кількість обслуговуючого персоналу	1
Робочий тиск, МПа (кгс/див ²)	15 ^{+1,5} (150 ⁺¹⁵)
Максимальний тиск, що обмежується запобіжним клапаном, МПа, (кгс/див ²)	17,5 (175)
Насос	НШ 10М-3Л
Витрата робочої рідини, л/хв	15
Кроковий електродвигун: а: тип б: потужність, кВт в: частота обертання, с ⁻¹ г: напруга, В	FL110STH 4,5 1500 220/380
Охолодження робочої рідини	природне.
Номінальна температура робочої рідини	50

Характеристика робочої рідини:	Масло індустріальне И-20А ДЕРЖСТАНДАРТ 20799-88
Верхня межа температури при експлуатації, °С	80
Короткочасна (до 15 хв), °С	100
Габаритні розміри стенда, мм, не більше	2200×2400×1800
Ємність бака, л	160
Тензометричний датчик сили а: тип б: робоча характеристика	CPS Від 5000 Н До 20000 Н
Тензометричний датчик тиску а: тип б: робоча характеристика	УВ20А 50...150 Мпа

Стенд (рис. 2.2.6.3.1а) виконаний на основі звареної металевої рами 1, яка забезпечує необхідну жорсткість і стійкість конструкції під час проведення випробувань. У нижній частині рами, у спеціальному піддоні, розміщено силовий кронштейн насоса 2, що слугує опорною базою для основних виконавчих і вимірювальних вузлів системи.

На силовому кронштейні, крім насоса, встановлено кроковий електродвигун рульового валу випробуваного КГГП, який складається зі стійки 4 та крокового двигуна 20. Цей вузол забезпечує прецизійне позиціонування рульового валу, відтворюючи реальні умови керування під час функціонування агрегату.

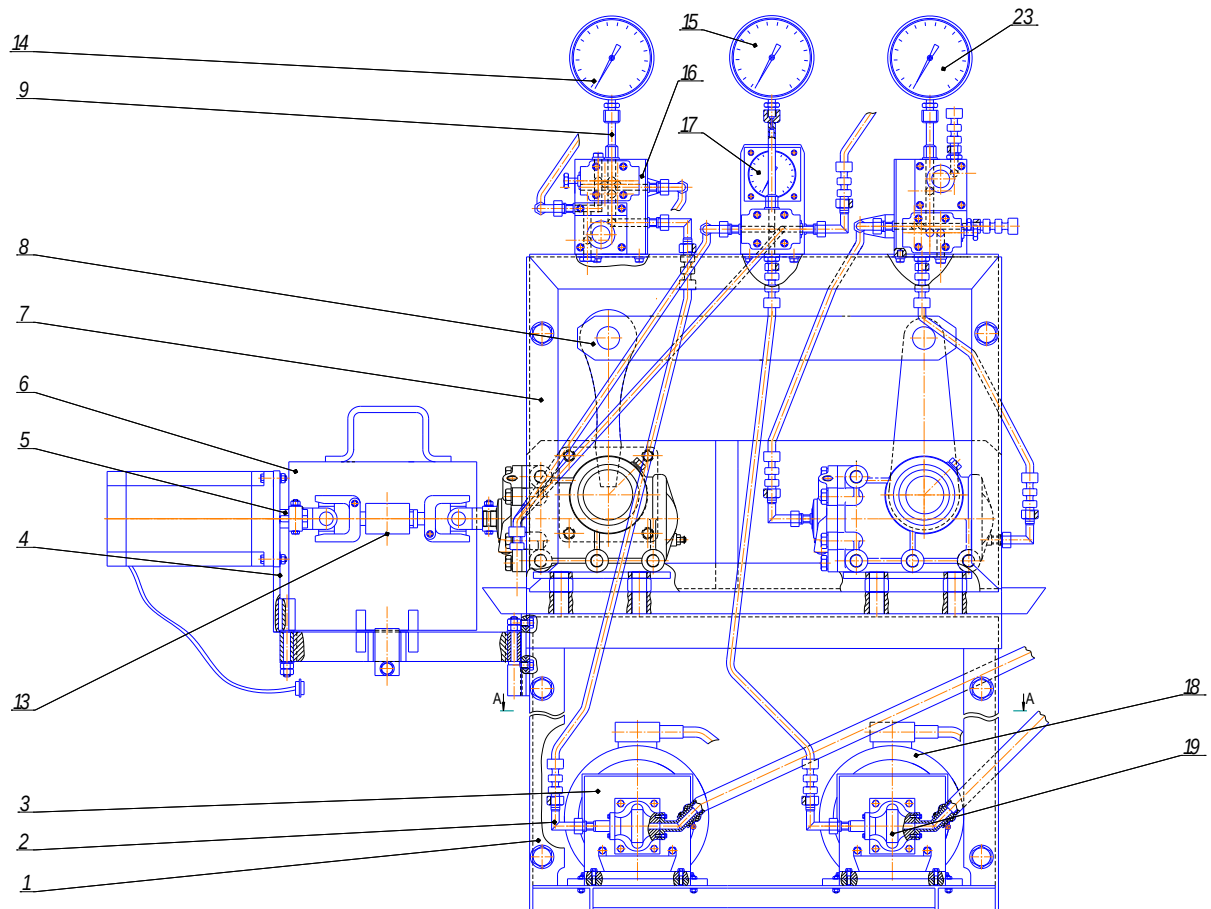
На спеціальній поперечині рами розміщено пульт керування стендом 10, який забезпечує ручне або автоматизоване керування процесом випробувань. Безпосередньо поруч із ним встановлено блок управління 21, який відповідає за координацію роботи всіх електричних, гідравлічних і вимірювальних підсистем.

На силовому кронштейні фіксується випробуваний КГГП 22 і навантажувальний гідроциліндр 12, який створює контрольоване механічне навантаження на вихідний вал агрегату. Робоча рідина подається в гідравлічну систему стенда за допомогою насоса 19, який забезпечує необхідний робочий тиск і витрату для проведення випробувань у різних режимах.

Вимірювання робочого тиску у випробуваному КГГП здійснюється за допомогою манометра 23, що дає змогу оперативно контролювати параметри під

час тестування. Навантаження на КГП регулюється за допомогою регулювального клапана, при цьому контроль тиску проводиться за показами манометра 15, розташованого у зливній або нагнітальній магістралі стенда.

Така конструкція стенда забезпечує високу точність і стабільність випробувань, дозволяє оперативно змінювати режими навантаження та забезпечує повноцінну діагностику функціональних характеристик КГП в умовах, максимально наближених до реальної експлуатації.



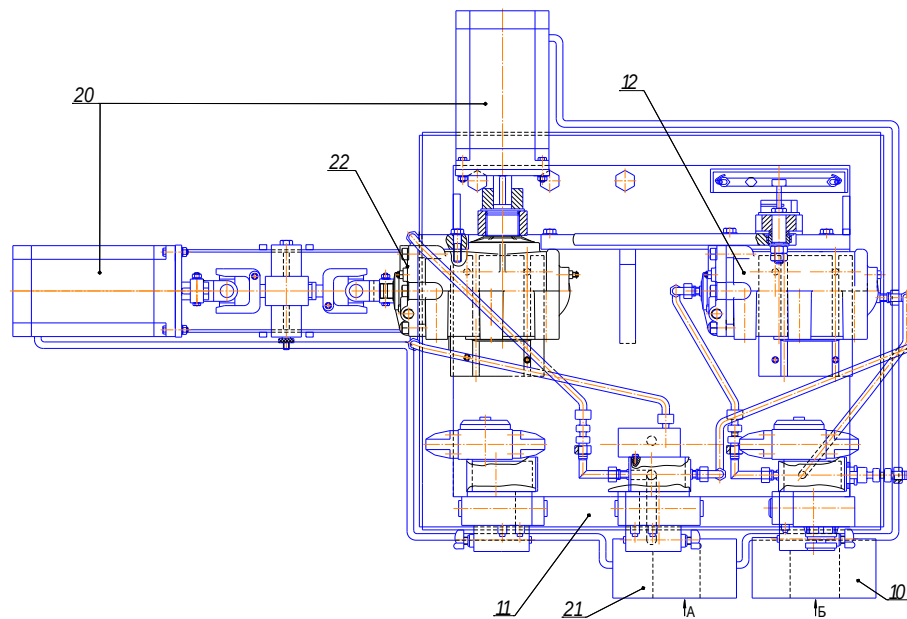


Рис. 2.2.6.3.1 Випробувальний стенд

Пульт керування стендом (рис. 2.2.6.3.2) є центральним елементом електротехнічної системи випробувального комплексу, у якому змонтована основна електрична схема стенда. Його конструкція забезпечує зручне та безпечне керування всіма процесами під час проведення обкатування й функціональних випробувань КГТП.

На панелі пульта розміщено цифровий терморегулятор 29, який здійснює контроль і стабілізацію температури робочої рідини у заданих межах. Це забезпечує підтримання оптимальних умов випробування та запобігає відхиленню гідравлічних параметрів від номінальних значень.

Крім того, на пульті розташовані керуючі елементи, що забезпечують повний цикл управління стендом:

- кнопка “Пуск” (24) — призначена для запуску стенда і початку робочого циклу;
- кнопка “Стоп” (25) — використовується для аварійного або планового зупинення роботи системи;
- тумблер (26) — дозволяє перемикати режим роботи стенда між ручним і механічним (автоматизованим) керуванням, забезпечуючи гнучкість у проведенні випробувань.

Додатково на панелі пульта змонтовано:

- тумблер (27) для вмикання нагрівальних елементів (тенів), що підтримують задану температуру робочої рідини;
- кнопку (28) для вимикання тенів, яка забезпечує ручне відключення системи нагріву у разі перевищення температурних лімітів або завершення експерименту.

Така компоновка пульта керування дозволяє оператору здійснювати повний контроль над роботою стенда, включаючи запуск, регулювання режимів, стабілізацію параметрів робочої рідини та аварійне відключення, що забезпечує високу надійність, ергономічність і безпеку експлуатації випробувального комплексу.

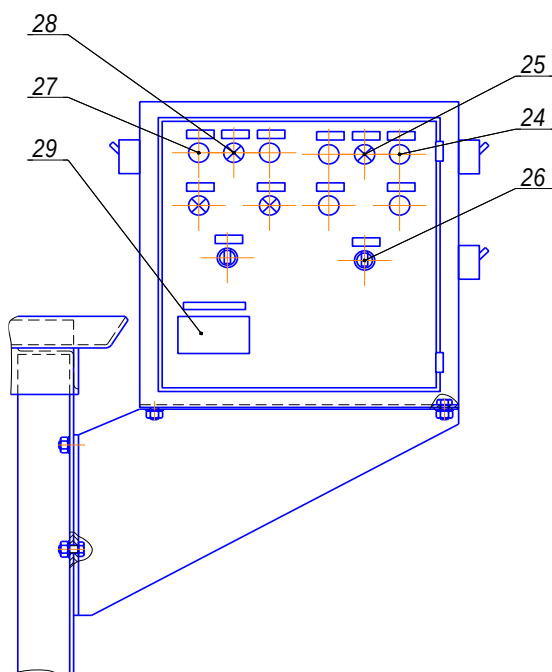


Рис. 2.2.6.3.2 Пульт управління

Блок керування стенда (рис. 2.2.6.3.3) є основним елементом автоматизованої системи керування випробуваннями, у якому реалізовано програмно-апаратну логіку проведення тестових циклів для КГП. У блок закладено програму випробувань, що забезпечує послідовне виконання всіх операцій відповідно до заданих алгоритмів.

Налаштування та коригування параметрів випробувальної програми здійснюються за допомогою системи навігації (31) у поєднанні з клавіатурним модулем (34), що дозволяє оператору вводити вихідні дані, змінювати режими

роботи, задавати межі контрольованих параметрів і запускати потрібні підпрограми.

Вся діагностична та експлуатаційна інформація виводиться на екран (30) у режимі реального часу, що дає змогу відслідковувати поточні показники, графічні залежності та повідомлення системи про стан випробування.

Увімкнення та вимкнення блока керування здійснюється за допомогою кнопки (32), розташованої на передній панелі. Для забезпечення захисту від несанкціонованого доступу до системи використовується магнітний ключ, який вставляється у спеціальний замковий отвір (33). Наявність апаратного захисту унеможливорює втручання сторонніх осіб у процес керування випробуваннями, забезпечуючи безпеку даних і стабільність роботи системи.

Таким чином, блок керування виконує функції центрального інтелектуального вузла стенда, який координує роботу всіх підсистем, забезпечує автоматизацію процесів, контроль параметрів у реальному часі та безпечне управління функціональними режимами ГАСВ.

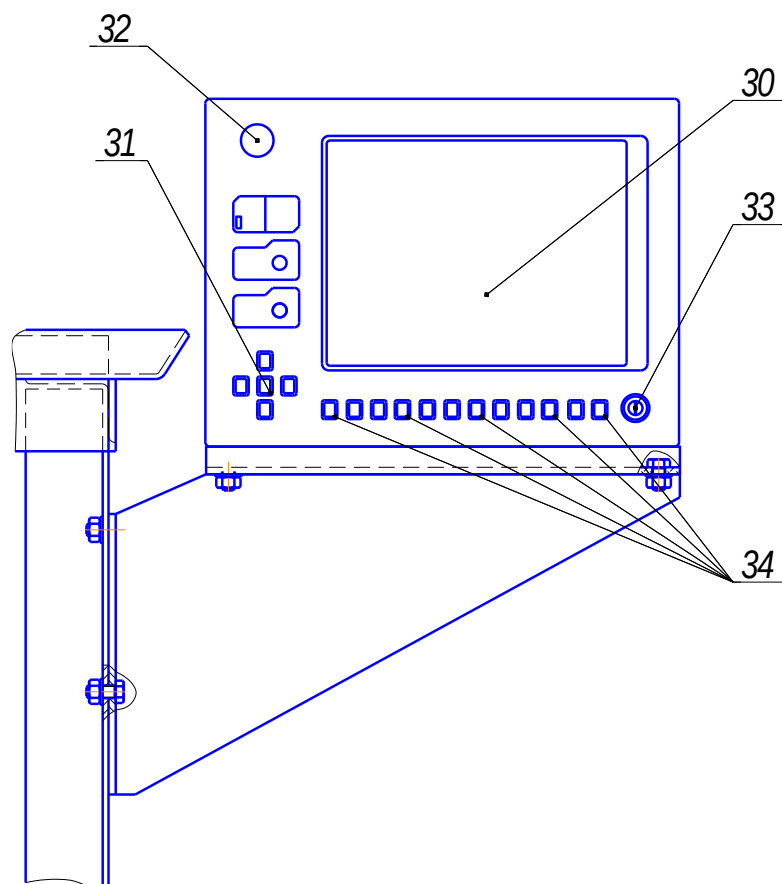


Рис. 2.2.6.3.3 Блок керування

Положення тумблерів і кнопок керування гідроапаратурами стенда при проведенні випробувань КГГП

Таблиця 2.2.6.4.1

№ п/ п	Найменування обумовленого параметра	Позначення на пульті управління						
		№1			№2			
		SB 3	SA 5	SA 4	SB 1	SA 1	SA 2	SA 6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Пробний пуск стенда	-	-	-	+	-	-	-
2	Обкатування	+	+	+	+	+	-	-
3	Перевірка моменту на рульовому валу, що відповідає ввімкненню підсилювача	-	-	-	+	-	-	-
4	Перевірка моменту на рульовому валу, що відповідає максимальному тиску	-	-	-	+	-	-	-
5	Перевірка гідравлічного люфту	-	-	-	+	-	-	-
6	Перевірка тиску налагодження запобіжного клапана	-	-	-	+	-	-	-
7	Перевірка тиску нецентрування	-	-	-	+	-	-	-
8	Перевірка залишкового тиску	-	-	-	+	+	-	-
9	Перевірка моменту обертливості вала сошки при подачі робочої рідини	-	-	-	+	-	-	-
10	Перевірка внутрішніх витікань	-	-	-	+	-	+	+
11	Перевірка зовнішньої герметичності	+	+	+	-	+	-	-

Примітка: «+» - тумблер (кнопка) включений, «-» - тумблер (кнопка) виключений.

Випробовувана комбінована гідравлічна головка приводу (КГГП) жорстко закріплюється у спеціальному випробувальному пристосуванні, що забезпечує стабільність її положення та точність вимірювань під час проведення експерименту.

До рульового валу КГГП під'єднано кроковий електродвигун (27), який відтворює керуючі впливи під час роботи механізму, а до валу сошки під'єднано

кроковий електродвигун (15), що імітує реактивні моменти та навантаження на вихідній ланці системи.

Функціонування обох електроприводів забезпечується програмою керування електроприводами (26), яка узгоджує швидкість, кут повороту та послідовність рухів. Ця програма інтегрована з контролером (24), що здійснює перетворення аналогових сигналів у цифрову (двійкову) форму та передає отриману інформацію до блоку керування (23). На основі цих даних програмне забезпечення формує графіки динамічних залежностей, що відображають зміну параметрів під час роботи механізму.

Контроль параметрів робочої рідини в системі КГГП — зокрема тиску та об'ємної подачі — здійснюється комплексом вимірювальних засобів, серед яких:

дросель (34) — для регулювання інтенсивності потоку робочої рідини;

лічильник рідини (35) — для контролю витрати та об'єму подачі;

манометри (31, 36) — для фіксації робочого та зливного тиску в різних точках гідросистеми;

тензометричні датчики тиску (30) — для високоточних вимірювань змін тиску в реальному часі.

Отримані показники обробляються системою автоматично, що дозволяє будувати повні діаграми тиску, навантаження та моменту, а також оцінювати функціональну справність, стабільність та точність роботи КГГП у різних режимах експлуатації.

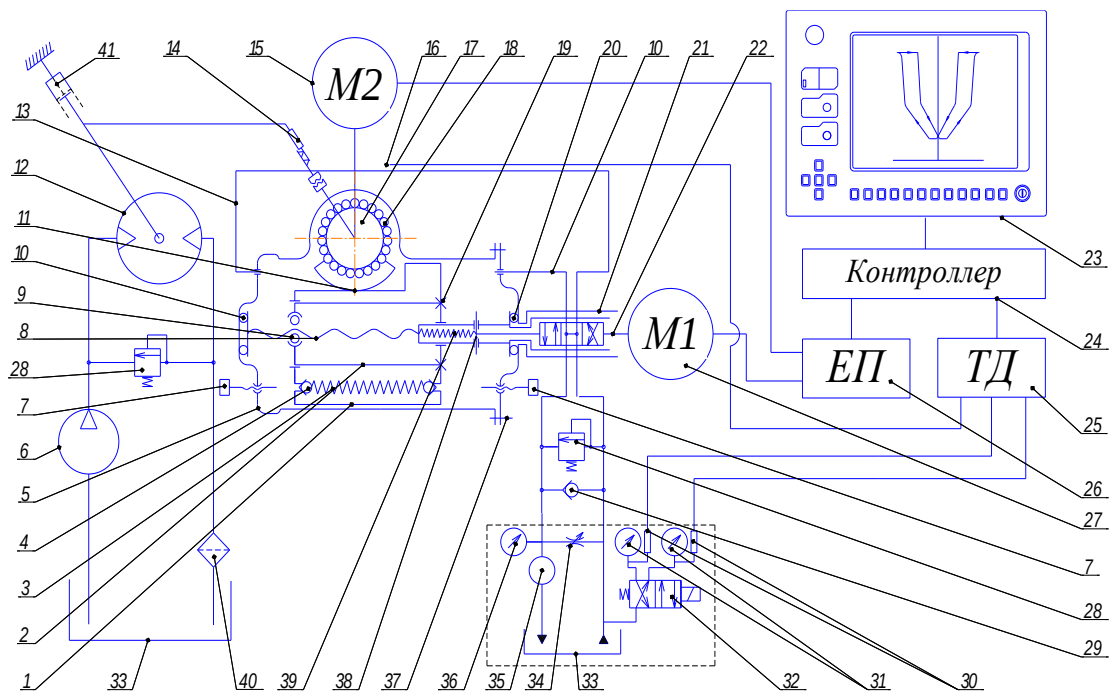


Рис. 2.2.7.1.1 Схема гідро-кінематична принципова

1–рейка-поршень, 2–гайка, 3–пружина кінцевих вимикачів, 4–клапан кінцевих вимикачів, 5– картер, 6–насос, 7–упори кінцевих вимикачів, 8–винт з зовнішнім золотником, 9–кульково-гвинтова передача, 10–підшипник упорний, 11–рейкова передача, 12–гідродвигун, 13–циліндрові магістралі подачі робочої рідини, 14–тензометричний датчик сили, 15–кроковий електродвигун, 16–тензометричний датчик моменту, 17–вал сошки, 18–підшипник вала сошки, 19–елементи кріплення гайки кульково-гвинтової передачі, 20–підшипник упорний, 21–корпус розподільника, 22–рульовий вал з внутрішнім золотником, 23–блок керування, 24–контроллер, 25–програма керування тензометричними датчиками, 26–програма керування електроприводами, 27–кроковий двигун рульового вала, 28–клапан обмеження тиску КГГП, 29–клапан зворотній КГГП, 30–тензодатчики тиску, 31–манометри, 32–гідророзподільник, 33–бак, 34–дросіль, 35–лічильник рідини, 36–манометр, 37–елементи кріплення корпуса розподільника, 38–шліцеве з’єднання ротор-гвинт, 39–торсіон, 40–фільтер, 41–блокіратор.

Зусилля на валу сошки під час випробувань вимірюється за допомогою тензометричного датчика сили (14), який забезпечує високоточну реєстрацію навантаження, що діє на вихідну ланку КГГП. Датчик змонтовано безпосередньо на технологічному вузлі сошки, що дозволяє фіксувати зміни зусилля в реальному часі під дією динамічних навантажень.

Усі тензометричні датчики (30, 14) функціонують у складі програми керування тензометричними датчиками (25), яка координує процес зчитування, калібрування та цифрового опрацювання сигналів. Обмін даними між

датчиками і системою керування здійснюється через контролер (24), який виконує перетворення аналогових сигналів у цифрову форму, фільтрацію перешкод і передачу даних до блоку керування стенда.

Для забезпечення безпеки та стабільності випробувань навантажувальний пристрій стенда оснащено механічним блокіратором (41). За необхідності він дозволяє жорстко зафіксувати вал сошки, запобігаючи його неконтрольованому обертанню під час налагодження або проведення статичних випробувань.

Таке конструктивне рішення гарантує високу точність вимірювань, надійність фіксації вузлів і створює умови для безпечного виконання експериментів при оцінюванні функціональних характеристик КГТП.

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Технологія випробувань КГП

КГП підлягає стендовим випробовуванням як окрема складова одиниця. Необхідність випробувань зумовлена можливостями можливостями виникнення недостатньої внутрішньої герметичності в наслідок наявності збільшеного радіального зазору в спряженні розподільника. Крім того ця операція використовується як технологічна для фіксації гідравлічного центру. Гідравлічний центр – положення розподільника при якому кількість рідини, яка проходить крізь нього в опозитні камери, є рівною одна одній

Таблиця 3.1.2.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Внутрішня герметичність вузла	ΔQ	Дм ³ /хв	0,2	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16
2	Падіння тиску на вході	ΔP	МПа	0.5	Манометр ДМ100-2,5МПа-1,5-У2
3	Рівність розпірних характеристик на лівому і правому магістральних розподільниках	$\Delta Q = Q_1 - Q_2$	Дм ³ /хв	0,05	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16

Таблиця 3.1.3.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Об'ємна подача робочої рідини	Q	Дм ³ /хв	10-16	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16
2	В'язкість робочої рідини	μ	сСт	10-15	Віскозиметр ВПЖ-2-0,003-ХС3
3	Температура робочої рідини	t	°С	80	Термометр

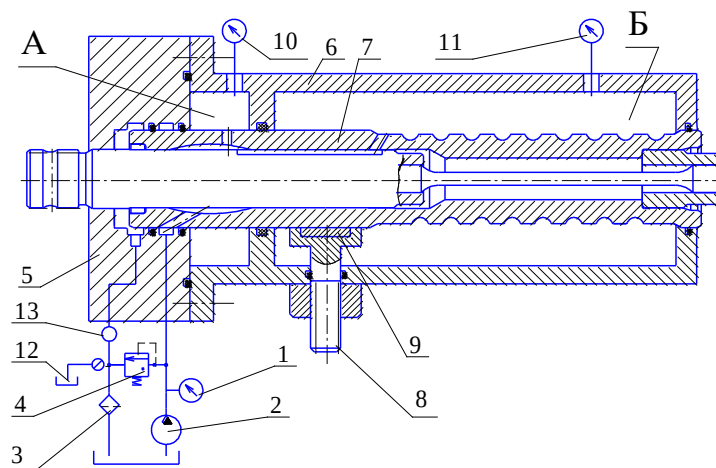


Рис. 3.1.4.1

1-манометр; 2-насос; 3-фільтр; 4-предохранительный клапан стенда;
5-распределитель; 6-корпус; 7 –винт с ротором и торсионом; 8-прижим;
9-прокладка; 10, 11-манометры; 12-колба; 13-лічильник рідини; А,Б- опозитні порожнини рідини.

Переходи

Встановити КГП у пристосування і закріпити.

Ввімкнути подачу робочої рідини

Відрегулювати, шляхом обертання ротора, таке положення розподільника при якому об'ємна подача робочої рідини по лівій і правій магістралях були б рівні.

Зафіксувати вказане положення шляхом затиску ротора розподільника.

Зафіксувати значення тиску на вході в розподільник по манометру МПУ 1216--2,5МПа-06 ТУ 25.05.1481-77

Зафіксувати наявність внутрішніх витікань в розподільник за допомогою лічильника рідини ШЖУ25-М-16 ТУ 25-02.071.922-87

При відповідності вузла вимогам нормативної документації провести його маркування і складання в тару.

3.2 Технологія випробувань КГП

Після кінцевого складання і перевірки значень механічних люфтів, а також додаткових механічних характеристик(Момент обертання РВ при

- Приєднати зливну магістраль і закріпити
- Визначення навантажувальної характеристики розподільника
- Перевіряємо параметри.

Таблиця 3.2.4.1.1

№ п/п	Найменування	Позна чення	Одиниці вимірю вання	Числ. значен ня	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Гідравлічний люфт	α_0	град	6	КДРВБКПЗ
2	Тиск холостого ходу	P_0	МПа	1	Датчик тиску
3	Тиск нецентрування	ΔP_0	МПа	0,05	Датчик тиску
4	Максимальний тиск	$P_{\max}$	МПа	10	Датчик тиску
5	Тиск в зливній магістралі	$P_{\text{сл}}$	МПа	0.7	Датчик тиску
6	Кут повороту рульового вала відповідний тиску $P_{\max}$	-	град	8	КДРВБКПЗ

Налагоджуємо параметри

Таблиця 3.2.4.2.1

№ п/п	Найменування	Позна чення	Одиниці вимірю вання	Числ. значен ня	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Об'ємна подача робочої рідини	Q	Дм ³ /хв	10-16	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16
2	В'язкість робочої рідини	μ	сСт	10-15	Віскозиметр ВПЖ-2-0,003
3	Температура робочої рідини	t	°С	80	Термометр
4	Частота обертання РВ	$n_{\text{РВ}}$	хв ⁻¹	1-2	КДРВБКПЗ
5	Крутний момент на ВС	$M_{\text{ВС}}$	-	∞	Блокіратор ВС

Переходи:

Вихідний вал КГГП заблокувати.

- Вхідний вал КГГП з'єднати з КДРВБКПЗ.
- Ввімкнути подачу робочої рідини в КГГП.
- Ввімкнути КДРВБКПЗ і систему запису показників навантажувальної характеристики.

- Перевірити відповідність записаної характеристики з вимогами нормативної документації.

Визначення характеристики реактивної властивості розподільника

Таблиця 3.2.5.1.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Тиск холостого ходу	P_0	МПа	1	Датчик тиску
2	Тиск нецентрування	ΔP_0	МПа	0,05	Датчик тиску
3	Тиск в зливній магістралі	$P_{сл}$	МПа	0.7	Датчик тиску
4	Крутний момент на РВ в момент вмикання об'ємної подачі	M_{BC}	Н·м	3	КДРВБКПЗ
5	Крутний момент на РВ при досягненні тиску P_{max}	M_{max}	Н·м	18	КДРВБКПЗ

Налагоджуємі параметри

Таблиця 3.2.5.2.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Об'ємна подача робочої рідини	Q	Дм ³ /хв	10-16	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16
2	В'язкість робочої рідини	μ	сСт	10-15	Віскозиметр ВПЖ-2-0,003
3	Температура робочої рідини	t	°С	80	Термометр
4	Частота обертання РВ	$n_{РВ}$	хв ⁻¹	1-2	КДРВБКПЗ
5	Крутний момент на ВС	M_{BC}	-	∞	Блокіратор ВС

Переходи:

- Вихідний вал КГГП заблокувати.
- Вхідний вал КГГП з'єднати з КДРВБКПЗ.
- Ввімкнути подачу робочої рідини в КГГП.

- Ввімкнути КДРВБКПЗ і систему запису показників навантажувальної характеристики.
 - Перевірити відповідність записаної характеристики з вимогами нормативної документації.
 - Визначення характеристики реактивної властивості розподільника
- Перевіряємі параметри

Таблиця 3.2.6.1.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Крутний момент на ВС при тиску $P_{\max}$	$M_{c\max}$	Н·м	7000	Тензодатчик CPS
2	Крутний момент на РВ при досягненні тиску $P_{\max}$	$M_{\max}$	Н·м	18	КДРВБКПЗ

Налагоджуємі параметри

Таблиця 3.2.6.2.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Об'ємна подача робочої рідини	Q	Дм ³ /хв	10-16	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16
2	В'язкість робочої рідини	μ	сСт	10-15	Віскозиметр ВПЖ-2-0,003
3	Температура робочої рідини	t	°С	80	Термометр
4	Частота обертання РВ	$n_{РВ}$	хв ⁻¹	1-2	КДРВБКПЗ

Переходи:

- Вихідний вал КГГП з'єднати з приводом навантаження.
- Вхідний вал КГГП з'єднати з КДРВБКПЗ.
- Ввімкнути подачу робочої рідини в КГГП.
- Ввімкнути подачу робочої рідини в привід навантаження.

- Ввімкнути КДРВБКПЗ і систему запису показників вантажувальної характеристики.
- Перевірити відповідність записаної характеристики з вимогами нормативної документації.
- Визначення характеристики жорсткості механізму

Перевіряємо параметри

Таблиця 3.2.7.1.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Механічний люфт	α_0	град.	6	КДРВБКПЗ
2	Пружний люфт	α_y	град.	8	КДРВБКПЗ

Налагоджуємо параметри

Таблиця 3.2.7.2.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Об'ємна подача робочої рідини	Q	Дм ³ /хв	10-16	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16
2	В'язкість робочої рідини	μ	сСт	10-15	Віскозиметр ВПЖ-2-0,003-ХСЗ
3	Температура робочої рідини	t	°С	80	Термометр
4	Частота обертання РВ	прв	хв ⁻¹	1-2	КДРВБКПЗ

Переходи:

- Вихідний вал КГГП заблокувати.
- Вхідний вал КГГП з'єднати з КДРВБКПЗ.
- Ввімкнути КДРВБКПЗ і систему запису показників навантажувальної характеристики.

- Перевірити відповідність записаної характеристики з вимогами нормативної документації.
- Визначення характеристики жорсткості механізму.

Перевіряємі параметри

Таблиця 3.2.8.1.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Момент супротиву повороту ВС при прикладенні до нього активного моменту при подачі робочої рідини	$M_{собр}$	Н·м	60	КДВСБКПЗ

Налагоджуємі параметри

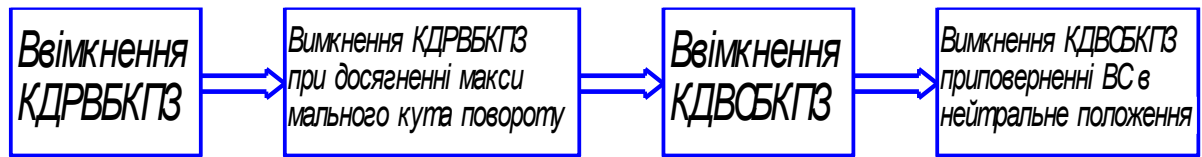
Таблиця 3.2.8.2.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Числ. значення	Засіб вимірювання
1	2	3	4	5	6
1	Об'ємна подача робочої рідини	Q	Дм ³ /хв	10-16	Лічильник рідини ШЖУ25-М-16
2	В'язкість робочої рідини	μ	сСт	10-15	Віскозиметр ВПЖ-2-0,003-ХСЗ
3	Температура робочої рідини	t	°С	80	Термометр
4	Частота обертання РВ	n _{РВ}	хв ⁻¹	1-2	КДРВБКПЗ
5	Частота обертання ВС	n _{ВС}	хв ⁻¹	30-60	КДВСБКПЗ

Переходи:

- Вихідний вал КГТП з'єднати з КДВСБКПЗ.
- Вхідний вал КГТП з'єднати з КДРВБКПЗ.
- Ввімкнути подачу робочої рідини в КГТП.

- Ввімкнути стенд для роботи по заданій програмі відповідно до циклограми.



- Ввімкнути КДРВБКПЗ і систему запису показників навантажувальної характеристики.
- Перевірити відповідність записаної характеристики з вимогами нормативної документації.

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення експлуатаційних витрат, які припадають на одиницю продукції в базовому та проектному варіантах

В магістерській роботі розроблено програми і методики поелементних і комплексних випробувань, що дає змогу швидко налаштувати стенд і визначити необхідні параметри.

Проведено модернізацію стенду спрямована на його автоматизацію, оснащення комп'ютерною технікою і спрощення роботи оператора, що дає змогу значно зменшити час випробувань і в автоматичному режимі побудувати графіки розподілу вимірювальних параметрів.

Для знаходження річного економічного ефекту модернізованого стенду, проводимо розрахунок. В якості базового варіанту обираємо стенд до його модернізації. [18]

Розрахунок виконуємо за формулою, грн./шт.:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_{(i)}, \quad (4.1)$$

B_z – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахуваннями на соціальні потреби основних робітників, грн.;

$B_{ел}$ – витрати на силову електроенергію, грн.;

$B_{дм}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{уп}$ – витрати на утримання приміщення, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

B_n – витрати на налагодження верстата, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування:

$$B_z = C_r \cdot \frac{T_{нор}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c) \quad (4.2)$$

де C_r - годинна тарифна ставка робітника, грн.;

$T_{нор}$ – норма часу на обробку деталі, хв.;

K_d , K_c – відповідно коефіцієнти додаткової зарплати та єдиного соціального внеску.

Базовий варіант:

$$B_3 = 92,015 \cdot \frac{145}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 298,418 \text{ грн}$$

Проектний варіант:

$$B_3 = 92,015 \cdot \frac{50}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 102,903 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_m \cdot \eta_c} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (4.3)$$

де $N_{\text{в}}$ – встановлена потужність електродвигунів верстата, кВт;

$K_o = 0,65 \dots 0,8$ – коефіцієнт одночасної роботи моторів;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (може бути прийнятий у розмірі $0,4 \dots 0,5$ – для розточувальних, шліфувальних, опоряджувальних, заточувальних верстатів; $0,5 \dots 0,6$ – для токарних, карусельних, свердлильних, довбальних верстатів; $0,6 \dots 0,7$ – для заготівельних, револьверних, фрезерних, протяжних, зубообробних верстатів; $0,7 \dots 0,8$ – для токарних автоматів та напівавтоматів, багатошпиндельних, агрегатних верстатів);

$K_d = 0,3 \dots 0,5$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом;

$\eta_m = 0,86 \dots 0,9$ – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів;

$\eta_c = 0,92 \dots 0,96$ – коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії у мережі підприємства;

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт-год силовій електроенергії, грн.

Базовий варіант :

$$B_{\text{ел}} = \frac{6 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,4}{0,8 \cdot 0,94} \cdot \frac{145}{60} \cdot 18,10 = 68,404 \text{ грн}$$

Проектний варіант :

$$B_{\text{ел}} = \frac{15 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,4}{0,8 \cdot 0,94} \cdot \frac{50}{60} \cdot 18,10 = 58,962 \text{ грн}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{дм}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{нор}}}{60 \cdot 100} \cdot K_n \quad (4.4)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини усіх типів, коп.;

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини стенду, УРО;

K_n – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для одиничного та дрібносерійного $K_n = 0,85$; для серійного $K_n = 1$, для масового $K_n = 1,2$)

Базовий варіант :

$$B_{\text{дм}} = \frac{78,5 \cdot 15 \cdot 145}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 28,456 \text{ грн}$$

Проектний варіант :

$$B_{\text{дм}} = \frac{78,5 \cdot 25 \cdot 50}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 16,352 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_{\text{р}} = \frac{R_{\text{м}} \cdot P_{\text{вм}} + R_{\text{е}} \cdot P_{\text{ве}}}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \quad (4.5)$$

де $P_{\text{вм}}$, $P_{\text{ве}}$ – відповідно річні витрати на усі види ремонту на одну категорію ремонтної складності механічної та електричної частин стенду, грн./рік;

$R_{\text{е}}$ – категорія ремонтної складності електричної частини стенду, УРО;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи може бути прийнятим для одиничного (О) та дрібносерійного

виробництва (ДС) – 4020 год., для великосерійного (ВС) та масового (М) – 3950 год.).

Базовий варіант :

$$B_p = \frac{15 \cdot 994 + 10 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{145}{60} = 13,668 \text{ грн}$$

Проектний варіант :

$$B_p = \frac{25 \cdot 994 + 15 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{50}{60} = 7,594 \text{ грн}$$

Витрати на утримання площі:

$$B_n = \frac{F_0 \cdot K_f \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \quad (4.6)$$

де F_0 – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м^2 ;

K_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу: на проходи, проїзди, складські та службові приміщення ;

C - річні витрати, пов'язані з використанням 1 м^2 виробничого приміщення, грн./ м^2 .

Базовий варіант :

$$B_n = \frac{5 \cdot 3 \cdot 520}{3950} \cdot \frac{145}{60} = 4,771 \text{ грн}$$

Проектний варіант :

$$B_n = \frac{5 \cdot 3 \cdot 520}{3950} \cdot \frac{50}{60} = 1,645 \text{ грн}$$

Витрати на амортизацію стенду:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \quad (4.7)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість стенду, грн. :

$$\Phi_{\text{бал.б}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}) \quad (4.8)$$

$$\Phi_{\text{бал.л}} = \Phi_{\text{зал}}^{\text{б}} + B_{\text{д}} - B_{\text{ан}} \quad (4.9)$$

$$\Phi_{\text{зал}}^{\text{б}} = \Phi_{\text{бал.б}} - \frac{\Phi_{\text{бал.б}} \cdot N_{\text{ам}} \cdot T_{\text{ел}}}{100}$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ – оптова ціна верстатастенду, грн.;

$B_{\text{д}}$ - вартість нових датчиків

$B_{\text{ан}}$ - вартість анульованих датчиків

$N_{\text{ам}}$ – Норма амортизації (20%)

$T_{\text{ел}}$ – трок експлуатації базового стенду та момент модернізації

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та улаштування фундаменту (0,02...0,08) стенду.

Базовий варіант :

$$\Phi_{\text{бал}} = 302500 \cdot (1 + 0,06 + 0,04 + 0,05) = 347875 \text{ грн}$$

$$\Phi_{\text{зал}}^{\text{б}} = 347875 - \frac{347875 \cdot 20 \cdot 3}{100} = 139150 \text{ грн}$$

Проектний варіант :

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} = 139150 + 27500 - 4125 = 162525 \text{ грн}$$

Базовий варіант :

$$B_{\text{а}} = \frac{302500 \cdot 20}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{145}{60} = 37,015 \text{ грн}$$

Проектний варіант :

$$B_{\text{а}} = \frac{162525 \cdot 20}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{50}{60} = 6,857 \text{ грн}$$

Витрати на налагодження стенду:

$$B_{\text{н}} = C_{\text{гн}} \cdot (1 + K_{\text{д}}) \cdot (1 + K_{\text{с}}) \cdot \frac{T_{\text{нал}} \cdot A}{60 \cdot N_{\text{д}}} \quad (4.10)$$

де $C_{\text{гн}}$ – годинна тарифна ставка наладчика, грн./год.;

A – кількість налагоджень за рік;

$T_{\text{нал}}$ – час налагодження, хв.;

N_d – річна програма випуску деталей, шт./рік.

Виконані розрахунки зводимо в таблицю 5.1.1

Базовий варіант :

$$B_n = 104,283 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{60 \cdot 4}{60 \cdot 100} = 5,596 \text{ грн}$$

Проектний варіант :

$$B_n = 104,283 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{60 \cdot 5}{60 \cdot 200} = 3,498 \text{ грн}$$

Результати виконаних розрахунків заносимо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Експлуатаційні витрати

№ з/п	Експлуатаційні витрати	Позна- чення	Варіанти	
			базовий	проектний
1	Заробітна плата оператора основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	B_z	298,418	102,903
2	Силова електроенергія	$B_{ел}$	68,404	58,962
3	Допоміжні матеріали	$B_{дм}$	28,456	16,352
4	Ремонт обладнання	B_p	13,668	7,594
5	Утримання приміщення	B_n	4,771	1,645
6	Амортизація обладнання	B_a	37,015	6,857
7	Налагодження обладнання	B_n	5,596	3,498
8	Загальна сума	B_e	456,328	197,811

Річний економічний ефект, який отримує підприємство-споживач, розраховують за формулою:

$$E_{p.сп.} = (B_e^b - B_e^{пр}) \cdot N_d - E_n \cdot K_{сп} \quad (4.11)$$

де $K_{сп}$ – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.:

$$K_{сп} = \Phi_{бал.пр} \cdot Q_{пр} - \Phi_{бал.б} \cdot Q_b \quad (4.12)$$

де $\Phi_{\text{бал.пр}}$, $\Phi_{\text{бал.б}}$ – відповідно балансова вартість проектного та базового об'єктів, грн.;

$Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{б}}$ – потреба в об'єктах відповідно в проектному та базовому варіантах для виконання річної програми випуску деталей:

$$Q = \frac{N_{\text{д}} \cdot T_{\text{нор}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot K_{\text{вн}}} \quad (4.13)$$

де $K_{\text{вн}}$ – коефіцієнт виконання норм часу ($K_{\text{вн}} = 1,01 \dots 1,1$).

$Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{б}}$ – приймаємо рівними 1

$$K_{\text{сп}} = 162525 \cdot 1 - 347875 \cdot 1 = -185350 \text{ грн}$$

$$E_{\text{р.сп.}} = (456,328 - 197,811) \cdot 200 - 0,16 \cdot (-185350) = 81400 \text{ грн}$$

Висновок: На основі економічних розрахунків доведено доцільність запропонованої модернізації стенду, при цьому економічний ефект становить **81400** грн.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Дана кваліфікаційна робота виконана з дотриманням основних вимог діючих стандартів. Графічна частина оформлена згідно вимог ЕСКД.

Конструкторські і економічні розрахунки, виконані в даній кваліфікаційній роботі, доводять переваги використання нового модернізованого стенда, підвищення продуктивності праці, зниження собівартості та покращення якості продукції, підвищення надійності та довговічності технічних засобів, покращення умов праці та створення безпечних екологічних умов.

В загальній частині проаналізовані основні деталі та їх призначення. Описано роботу діючого стенду та контролюємі параметри.

В конструкторській частині розглянуто наскрізну структурну уніфікацію КГТП. Розроблено програми і методики по елементних і комплексних випробувань, що дає змогу швидко налаштувати стенд і визначити необхідні параметри.

В дослідній частині були розглянуті варіанти синтезу енергоефективності рейкової передачі. Була розроблена математична модель для визначення ефективної роботи КГТП. Проведені експериментальні дослідження.

Модернізація стенду спрямована на його автоматизацію, оснащення комп'ютерною технікою і спрощення роботи оператора, що дає змогу значно зменшити час випробувань і в автоматичному режимі побудувати графіки розподілу вимірювальних параметрів.

Проведені дослідні випробування на стенді дали позитивні і постійні результати по роботі стенду, збоїв в роботі не спостерігалось.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено економічними розрахунками

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. І.Є. Грицай, Я.М. Литвиняк: Синусоїдальні зубчасті передачі як альтернатива традиційним передачам та новий метод їх виготовлення R.S. Devendran, A. Vacca, 2014, A novel design concept for variable delivery flow external gear pumps and motors. International Journal of Fluid Power, Sep 2, 2014, 15(3), 121-137
2. Ehsan M., Rampen, W.H.S., Salter S.H., 1997, Modeling of Digital-Displacement Pump-Motors and Their Application as Hydraulic Drives for Nonuniform Loads, J. Dyn. Sys., Meas., Control 122(1), pp 210-215
3. Mahrenholz J., Lumkes J.J., 2009, Model Development and Experimental Analysis of a Virtually Variable Displacement Pump System, International Journal of Fluid Power
4. R.S. Devendran, A. Vacca, 2016, A Flow Control System for a Novel Concept of Variable Delivery External Gear Pump, 10th IFK International Fluid Power Conference, March 8-10, 2016, Dresden, Germany
5. R.S. Devendran, A. Vacca., 2015, A Novel Concept for a Variable Delivery External Gear Machine, 14th Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 20-22, 2015, Tampere, Finland
6. K. Nagamura, K. Ikejo, F.G. Tutulan, 2004, Design and performance of gear pumps with a non-involute tooth profile, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 218, pp. 699 – 711
7. F.L. Litvin, A. Fuentes, 2004, Gear Geometry and Applied Theory, 2nd edition, Cambridge University Press.
8. T.E. Beacham, 1946, High Pressure Gear Pumps, Proc. I. Mech. E., 154
9. C. Bonacini, 1961, Sulla Portata delle Pompe ad Ingranaggi, L'Ingegnere, Anno, Milan, Italy (Італійською)
10. A. Vacca, M. Guidetti, 2011, Modelling and experimental validation of external spur gear machines for fluid power applications, Elsevier Simulation and Modelling Practice and Theory, vol. 19, pp. 2007-2031.

11. J. Ivantysyn, M. Ivantysynova, 2003, Hydrostatic Pumps and Motors, Tech Books Int., New Delhi, India
12. N.H. Manring, S.B. Kasaragadda, 2005, The theoretical flow ripple of an external gear pump, ASME J. Dynam Sys, Meas Control, 125.
13. Klop, R. and Ivantysynova, M. 2010. Sound Intensity Measurements to Investigate Noise Generation of Hydrostatic Transmissions Proceedings of the 7th International Fluid Power Conference Aachen 2010 (7IFK), Vol. 2, 229-242
14. Cho, Y. T., and Bolton, J. S., 2004, "Acoustical Visualization of a Refrigeration Compressor by using Statistically Optimized Nearfield Acoustical Holography in Cylindrical Coordinates," NOISE-CON, 175-182.
15. Vacca A., Guidetti M., 2011, Modeling and Experimental Validation of External Spur Gear Machines for Fluid Power Applications, Elsevier Simulation Modeling Practice and Theory, 19 (2011) 2007–2031.
16. Vacca A., Dhar S., Oppenwall T., 2011, A Coupled Lumped Parameter and CFD Approach for Modeling External Gear Machines, SICFP2011 The Twelfth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 18-20, 2011, Tampere, Finland.
17. Підгаєцький М. М., Скібінський О. І. Технологія випробування та сертифікації продукції в машинобудуванні. Кіровоград : КНТУ, 2014. 144 с.
18. Матвієнко О.О. Математична модель втрат робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса типу НШ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. 2005. Вип. 16.С.235-240.
19. Підвищення подачі шестеренних насосів засобів транспорту та сільськогосподарської техніки. /Кулешков Ю. В. та ін. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 4 (36).Ч. 1. С. 197–203. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).1.197-203](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).1.197-203)
20. Кулешков Ю. В. Підвищення технічного рівня шестеренного насоса на основі нових фізичних і математичних моделей робочого процесу подачі : дис. д-ра техн. наук : 05.05.17. Харків, 2013. 442 с.

21. Кириченко А.М. Функціональний портрет шестеренного гідравлічного насосу / А.М. Кириченко, К.К. Щербина, В.А. Годорожа // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС - 2023): Матер. XIII міжнар. наук.-практ. конф. (25-26 травн., 2023р., м. Чернігів). – Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка", 2023. – Т. 1. – С. 288-289.
22. Yang Zhou, Bowen Che, Ci Yuan. The design and analysis of a high-speed circular arc gear pump journal bearing. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 10(12) P.1–11. DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814018819288>.
23. Zardin B, Natali E, Borghi M. Evaluation of the Hydro-Mechanical Efficiency of External Gear Pumps. *Energies*. 2019. Vol. 12(2468). DOI: <https://doi.org/10.3390/en12132468>.
24. Fang Guo, Zongde Fang, Experimental and theoretical study of gear dynamical transmission characteristic considering measured manufacturing errors. *Hindawi. Shock and Vibration*. 2018. P. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9645453>.
25. Gear pump cavitation reduction : пат. 7878781 B2 United States : МПК FOIC 2L/00. № 12/001,279 ; заявл. 11.12.2007 ; опубл. 01.02.2011.
26. Журило І.В. Конкурентоспроможність нової продукції промислово-виробничого призначення: теоретичні аспекти, методика прогнозування та забезпечення: Монографія. Кіровоград: ПВЦ «Мавік», 2007. 186 с.
27. Тормоса Ю. Г. Ціни та цінова політика: Навч. посібник. К.: КНЕУ, 2001. 122 с.
28. Журило І.В., Брагінець Т.П. Визначення технічного рівня (якості) і ціни реалізації нового виробу на ранніх етапах його проєктування. Проблеми і перспективи економічного розвитку в умовах модернізаційних процесів в Україні та світі: матеріали Всеук. наук.-практ. конф. (12 грудня 2023 р.). ЦНТУ, 2023. С. 49-52.
29. Кава Т.В. Збірник тез доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів “Підвищення надійності машин і обладнання”. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – 186 с.

30. Бурєнніков Ю.А., Немировський І.А., Козлов Л.Г. – Гідравліка та пневмоприводи 2013. – 276с.