МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР___
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Підвищення експлуатаційних характеристик мобільної підйомної техніки шляхом розробки модуля автоматичного позиціонування платформи»

Виконав: студент _4 курсу, групи 41з-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
_Вдовцов Олег Михайлович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник: к.т.н.,доцент Пушка О.С.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії
Освітня програма «Бакалавр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
_____ Володимир ДІДУР
«___» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Вдовцову Олегу Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Підвищення експлуатаційних характеристик мобільної підйомної техніки шляхом розробки модуля автоматичного позиціонування платформи»
керівник проекту Пушка Олександр Сергійович, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від
" 01 " травня 2026 р. № 01-06/130
2. Строк подання студентом проекту 18.05.2026 р.
3. Вихідні дані до проекту: гідравлічна система мобільного крана КС-3575А на шасі автомобіля ЗІЛ-133-ГЯ; загальна характеристика мобільної підйомної техніки.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
аналіз стану досліджуваного питання; експериментальні дослідження; питання охорони праці; техніко-економічне обґрунтування проекту.
5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; особливості експлуатації гідравлічна система мобільного крана КС 3575А на шасі автомобіля ЗІЛ-133-ГЯ; будова та принцип роботи модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крану по горизонту; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При-мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025 р.	
2.	Розділ 1. Загальний розділ	19.11.2025 р.	
3.	Розділ 2. Конструкторсько-технологічний розділ	18.12.2025 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026 р.	
5.	Розділ 4. Техніко-економічна частина	09.03.2026 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026 р.	

Студент _____ Вдовцов О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Пушка О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ 5
1.1 Загальна характеристика мобільної підйомної техніки 5
1.2 Умови роботи та експлуатаційні особливості мобільної підйомної техніки 6
1.3 Обґрунтування необхідності розробки модуля автоматичного позиціонування платформи 8
1.4 Принцип роботи модуля автоматичного позиціонування 10
1.5 Очікуваний вплив розробки на експлуатаційні характеристики техніки 11
2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ 13
2.1 Гідравлічна система мобільного крана КС 3575А на шасі автомобіля ЗІЛ 133 ГЯ 13
2.2 Модуль автоматичного позиціонування платформи мобільного крану по горизонту 19
2.3 Вибір основних елементів управління автоматичною системою позиціонування платформи 22
2.4 Розрахунок модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крану по горизонту 40
2.5 Технологічний контроль креслення 48
2.6 Аналіз технології виробництва деталі та вибір заготовки 49
2.7 Вибір типового технологічного процесу і типових схем обробки поверхонь 50
3 ОХОРОНА ПРАЦІ 61
3.1 Загальні вимоги охорони праці під час експлуатації мобільної підйомної техніки. 61
3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів 61
3.3 Вимоги безпеки до модуля автоматичного позиціонування 62
3.4 Організація безпечного виконання робіт 63
3.5 Заходи безпеки під час технічного обслуговування 64
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 66
4.1 Економічне обґрунтування розробки модуля автоматичного позиціонування платформи 66
4.2 Вихідні дані для економічного розрахунку 66
4.3 Розрахунок вартості виготовлення та впровадження модуля 68
ВИСНОВОК 71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 74

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика мобільної підйомної техніки

Мобільна підйомна техніка є важливою складовою сучасного машинно-технологічного забезпечення будівельних, монтажних, ремонтних, комунальних, складських і аварійно-відновлювальних робіт. Її основне призначення полягає у безпечному підніманні працівників, інструменту, допоміжного обладнання та матеріалів до робочої зони, розташованої на певній висоті. До мобільної підйомної техніки належать автомобільні підйомники, мобільні підйомні робочі платформи, ножичні підйомники, телескопічні та колінчасті підйомники, а також спеціальні машини для обслуговування інженерних споруд, фасадів будівель, ліній електропередач, освітлювальних опор і промислового обладнання.

Сучасні мобільні підйомні робочі платформи повинні забезпечувати не лише необхідну висоту підйому, а й достатню вантажопідйомність, стійкість, точність переміщення, плавність роботи механізмів, безпеку оператора та захист від небезпечних режимів експлуатації. Вимоги до проєктних розрахунків, критеріїв стійкості, конструкції, безпеки, перевірок і випробувань мобільних підйомних робочих платформ визначаються, зокрема, ДСТУ EN 280-1:2022, який має статус чинного національного стандарту України з датою початку дії 23.10.2023 [1]. Вимоги безпеки, заходи зниження ризиків і методи перевірки для мобільних підйомних робочих платформ також визначено в ISO 16368:2024 [4].

Особливістю мобільної підйомної техніки є те, що вона працює в умовах змінного просторового положення робочої платформи. Під час підйому, повороту, висування стріли або переміщення ножичного механізму змінюється положення центру мас машини, виникають додаткові навантаження на опорну раму, гідравлічні циліндри, шарнірні з’єднання та несучі елементи. Унаслідок цього зростає значення точного контролю положення платформи, її нахилу, навантаження та стану опорної частини машини.

Підвищення експлуатаційних характеристик мобільної підйомної техніки може здійснюватися шляхом удосконалення конструкції несучих елементів, підвищення надійності гідравлічного приводу, застосування сучасних датчиків, електронних систем керування, автоматизованих систем стабілізації та модулів автоматичного позиціонування. Одним із найбільш перспективних напрямів є розробка модуля

автоматичного позиціонування платформи, який дає змогу підвищити точність встановлення робочої зони, зменшити вплив людського фактора, скоротити час підготовки машини до роботи та підвищити рівень безпеки.

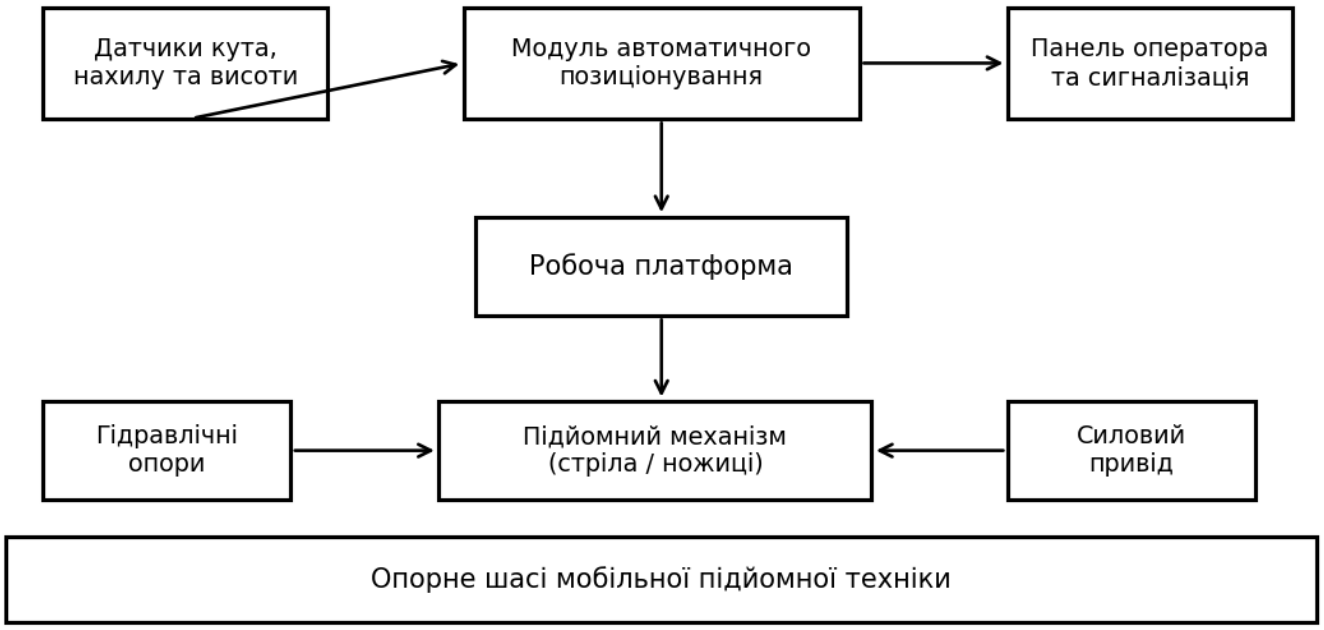


Рисунок 1.1 – Структурна схема мобільної підйомної техніки з модулем автоматичного позиціонування.

Мобільна підйомна машина у загальному вигляді складається з опорного шасі, підйомного механізму, робочої платформи, силового приводу, гідравлічних опор, системи керування, датчиків положення, засобів сигналізації та аварійного захисту. Запропонований модуль автоматичного позиціонування доцільно інтегрувати в систему керування машини таким чином, щоб він отримував сигнали від датчиків, аналізував фактичне положення платформи та формував керувальні сигнали на виконавчі механізми.

1.2 Умови роботи та експлуатаційні особливості мобільної підйомної техніки

У процесі роботи мобільна підйомна техніка зазнає дії статичних, динамічних і випадкових навантажень. Статичні навантаження утворюються власною масою машини, масою робочої платформи, працівників, інструменту та матеріалів. Динамічні навантаження виникають під час пуску, гальмування, підйому, опускання, повороту стріли, висування телескопічних секцій, переміщення платформи та роботи гідравлічних приводів. Випадкові навантаження можуть бути спричинені поривами вітру, нерівністю опорної поверхні, переміщенням працівника по платформі,

несиметричним розміщенням вантажу або різкою зміною режиму роботи.

Найбільш небезпечними режимами експлуатації є робота на значній висоті, робота на нерівному майданчику, підйом із великим боковим вильотом, перевантаження платформи, недостатнє вирівнювання опор, а також виконання робіт за несприятливих погодних умов. У таких випадках навіть незначне відхилення платформи від горизонтального положення може спричинити зниження запасу стійкості, збільшення перекидального моменту та створення аварійної ситуації.

Безпечна експлуатація мобільних підйомних робочих платформ передбачає регулярні огляди, технічне обслуговування, дотримання вимог інструкції виробника та належну підготовку персоналу. Ці питання розглядаються у ДСТУ ISO 18893:2007 та ISO 18893:2014, які стосуються принципів безпеки, огляду, технічного обслуговування та експлуатації мобільних підйомних робочих платформ [3; 5]. Для підготовки операторів мобільних підйомних платформ застосовується ISO 18878:2013, який встановлює вимоги до навчання операторів [6].

До основних експлуатаційних характеристик мобільної підйомної техніки належать:

- максимальна робоча висота;
- вантажопідйомність робочої платформи;
- максимальний виліт стріли або робочого органу;
- швидкість підйому та опускання;
- точність позиціонування платформи;
- плавність переміщення;
- запас стійкості;
- час підготовки до роботи;
- надійність гідравлічної та електронної системи;
- рівень безпеки оператора;
- зручність керування;
- ремонтопридатність і простота технічного обслуговування.

Підвищення цих характеристик можливе за рахунок впровадження автоматизованої системи контролю просторового положення платформи. Така система повинна забезпечувати вимірювання кута нахилу, висоти підйому, положення опор, стану гідравлічного приводу та величини навантаження. На основі цих даних

електронний блок керування може здійснювати автоматичну корекцію положення платформи або блокувати небезпечні рухи.

1.3 Обґрунтування необхідності розробки модуля автоматичного позиціонування платформи

Необхідність розробки модуля автоматичного позиціонування платформи пояснюється тим, що традиційне ручне керування мобільною підйомною технікою значною мірою залежить від кваліфікації, досвіду та уважності оператора. Під час виконання робіт оператор одночасно контролює положення машини, висоту підйому, кут нахилу, допустиме навантаження, стан опор, переміщення робочої платформи та безпеку працівників. За умов обмеженої видимості, шуму, вібрації, складної робочої зони або втоми оператора ймовірність помилки зростає.

Модуль автоматичного позиціонування платформи призначений для автоматизованого встановлення платформи у задане положення за висотою, кутом нахилу та просторовою орієнтацією. Його застосування дає змогу зменшити вплив людського фактора, підвищити точність виконання технологічних операцій і забезпечити додатковий контроль безпечного режиму роботи. У контексті безпечності машин доцільно враховувати загальні принципи оцінювання ризиків і зменшення ризиків, визначені ДСТУ EN ISO 12100:2016 [12].

Основними завданнями розробки модуля автоматичного позиціонування є:

- забезпечення автоматичного контролю нахилу платформи;
- підтримання платформи в допустимому робочому положенні;
- контроль стану опорної системи;
- запобігання роботі при перевищенні допустимого навантаження;
- підвищення точності позиціонування робочої зони;
- скорочення часу підготовки машини до роботи;
- підвищення продуктивності праці;
- зменшення ризику аварійного нахилу або перекидання;
- підвищення рівня безпеки оператора та працівників на платформі.

Особливо актуальною є автоматизація процесу вирівнювання платформи. Автоматичні системи вирівнювання та стабілізації широко застосовуються в мобільних машинах, оскільки вони дають змогу підвищити точність роботи, стійкість і безпеку техніки в умовах нерівної опорної поверхні [18; 19]. Такі системи можуть

використовувати інклінометри, інерційні вимірювальні модулі, датчики положення гідроциліндрів, кінцеві вимикачі, датчики тиску та електронні блоки керування.

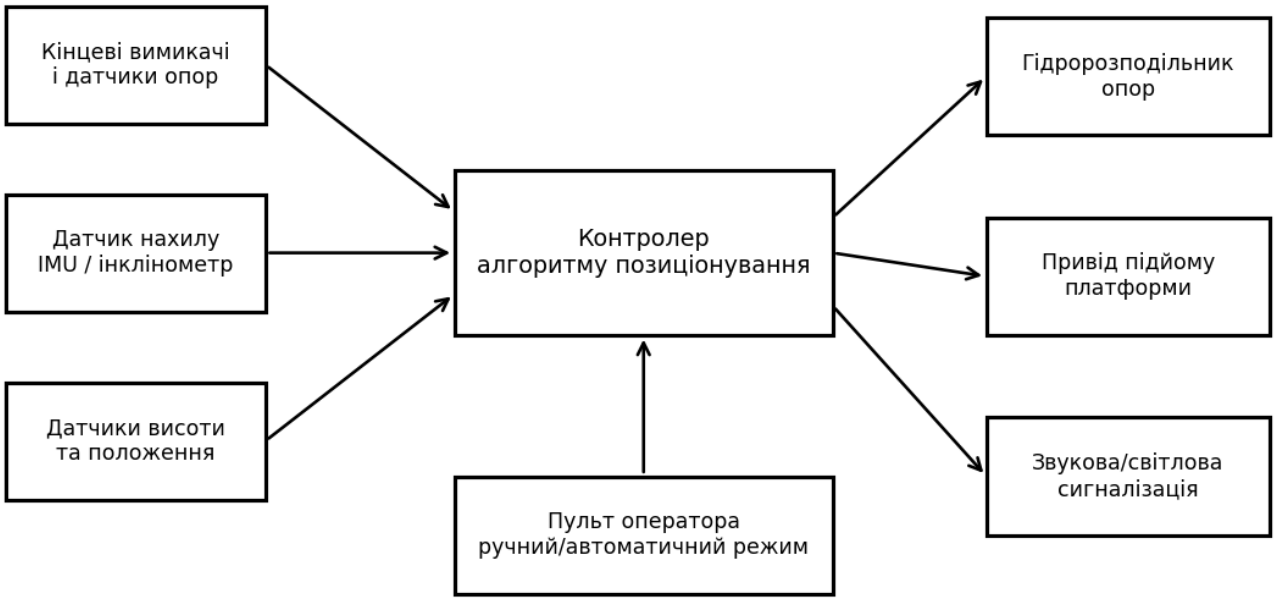


Рисунок 1.2 – Функціональна схема модуля автоматичного позиціонування платформи.

До складу модуля автоматичного позиціонування платформи доцільно включити такі елементи:

- датчик нахилу або інерційний вимірювальний модуль;
- датчики положення гідроциліндрів;
- датчики стану опор;
- датчик навантаження робочої платформи;
- електронний блок керування;
- електрогідравлічні клапани;
- панель оператора;
- звукову та світлову сигналізацію;
- аварійний вимикач;
- програмний алгоритм контролю безпечних режимів.

Модуль автоматичного позиціонування повинен працювати за принципом замкненої системи керування. Датчики передають інформацію про фактичне положення платформи, контролер порівнює її із заданими значеннями, а виконавчі механізми виконують корекцію положення. У разі виникнення небезпечного відхилення система повинна або автоматично стабілізувати платформу, або заблокувати подальший рух і подати сигнал оператору. Такий підхід узгоджується із сучасними вимогами до

захисних і ризикознижувальних заходів для мобільних підйомних робочих платформ [2; 4].

1.4 Принцип роботи модуля автоматичного позиціонування

Принцип роботи модуля автоматичного позиціонування базується на постійному вимірюванні фактичного положення платформи та формуванні керувальних сигналів для виконавчих механізмів. Після ввімкнення системи контролер виконує первинну самодіагностику, перевіряє справність датчиків, стан опор, навантаження платформи, кут нахилу шасі та положення підйомного механізму. Якщо параметри перебувають у допустимих межах, система дозволяє подальше виконання підйому.

Під час роботи контролер отримує поточні значення кута нахилу, висоти підйому, положення стріли або ножичного механізму, стану опор і навантаження. Ці дані порівнюються із заданими параметрами. Якщо відхилення перевищує допустиме значення, контролер подає сигнал на гідравлічний розподільник або електромеханічний виконавчий механізм. Після корекції положення система повторно перевіряє параметри та продовжує цикл контролю.

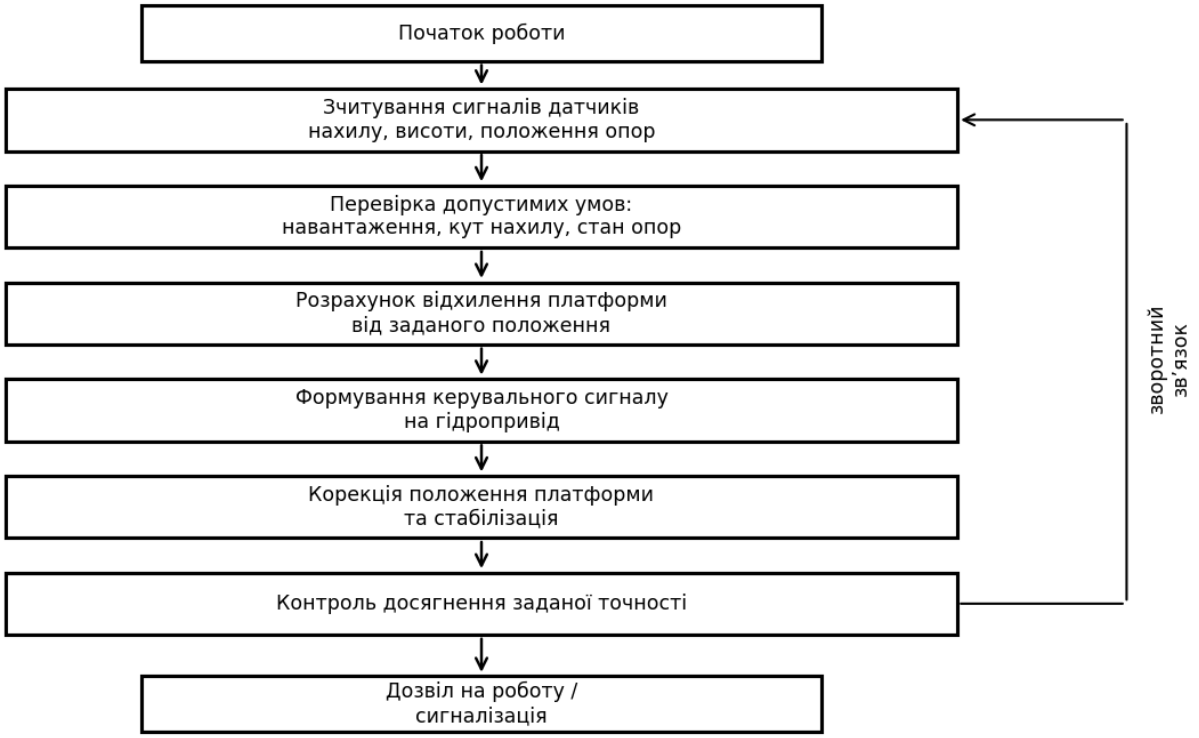


Рисунок 1.3 – Алгоритм автоматичного позиціонування робочої платформи.

Алгоритм автоматичного позиціонування можна подати у такій послідовності:

1. Увімкнення системи керування.
2. Самодіагностика електронного блока та датчиків.

3. Зчитування сигналів датчиків нахилу, висоти, положення опор і навантаження.

4. Перевірка допустимих умов роботи.

5. Визначення фактичного положення платформи.

6. Порівняння фактичного положення із заданим.

7. Розрахунок величини відхилення.

8. Формування керувального сигналу.

9. Корекція положення платформи.

10. Повторний контроль параметрів.

11. Дозвіл на роботу або подання аварійного сигналу.

Відхилення платформи за висотою можна визначити за формулою:

$$\Delta h = h_{\text{зад}} - h_{\text{ф}} \tag{1.1}$$

де Δh – відхилення за висотою, м;

$h_{\text{зад}}$ – задана висота положення платформи, м;

$h_{\text{ф}}$ – фактична висота положення платформи, м.

Кутове відхилення платформи можна визначити за формулою:

$$\Delta \alpha = \alpha_{\text{зад}} - \alpha_{\text{ф}} \tag{1.2}$$

де $\Delta \alpha$ – відхилення кута нахилу, град.;

$\alpha_{\text{зад}}$ – задане або допустиме значення кута нахилу, град.;

$\alpha_{\text{ф}}$ – фактичне значення кута нахилу, град.

Умова безпечної роботи платформи може бути записана так:

$$|\Delta \alpha| \leq \alpha_{\text{доп}} \tag{1.3}$$

де $\alpha_{\text{доп}}$ – максимально допустиме відхилення кута нахилу.

Якщо ця умова не виконується, система повинна заблокувати подальший підйом або виконати автоматичну корекцію положення платформи. Для електронних систем керування, пов’язаних із безпекою, доцільно враховувати вимоги ДСТУ EN ISO 13849-1:2016 щодо деталей систем керування, пов’язаних із безпекою, а також ДСТУ EN ISO 13850:2016 щодо функції аварійного зупинення [14; 15].

1.5 Очікуваний вплив розробки на експлуатаційні характеристики техніки

Розробка та впровадження модуля автоматичного позиціонування платформи

спрямовані на підвищення експлуатаційних характеристик мобільної підйомної техніки. Насамперед очікується підвищення точності встановлення платформи у задане положення. Це важливо під час виконання монтажних, ремонтних, сервісних і будівельних робіт, де необхідно забезпечити стабільне положення працівника відносно об’єкта обслуговування.

Впровадження модуля автоматичного позиціонування дозволяє отримати такі переваги:

- скорочення часу підготовки техніки до роботи;
- підвищення точності встановлення робочої платформи;
- зменшення кількості помилок оператора;
- підвищення стійкості машини під час роботи;
- зниження ризику перевантаження або небезпечного нахилу;
- підвищення безпеки працівників;
- покращення плавності переміщення платформи;
- зменшення динамічних навантажень на конструктивні елементи;
- підвищення ресурсу гідравлічної системи;
- покращення продуктивності виконання робіт.

Окреме значення має контроль стійкості. Під час підйому платформи на значну висоту положення центру мас машини змінюється. Якщо платформа має боковий виліт, перекидальний момент збільшується, а запас стійкості зменшується. Тому контроль кута нахилу, стану опор, навантаження та положення платформи є необхідною умовою безпечної експлуатації. Вимоги до стійкості, конструкції, безпеки, перевірок і випробувань мобільних підйомних робочих платформ регламентуються ДСТУ EN 280-1:2022 та EN 280-1:2022 [1; 7]. Дані щодо прийняття ДСТУ EN 280-1:2022 і ДСТУ EN 280-2:2022 як національних стандартів наведено також у наказі щодо внесення змін до переліку стандартів, пов’язаних із технічним регламентом безпеки машин.

Отже, розробка модуля автоматичного позиціонування платформи є актуальною та технічно обґрунтованою. Запропонований модуль забезпечує підвищення точності, стійкості, безпеки й продуктивності мобільної підйомної техніки. Його можна застосовувати як під час проєктування нових машин, так і для модернізації наявного обладнання.

2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Гідравлічна система мобільного крана КС 3575А на шасі автомобіля ЗІЛ 133 ГЯ

На сучасному етапі розвитку машинобудування та будівельної галузі важливого значення набуває підвищення швидкості й ефективності виконання виробничих операцій. До таких операцій належать навантажувально-розвантажувальні роботи, які потребують застосування надійної, мобільної та продуктивної вантажопідіймальної техніки. Найбільшого поширення для виконання цих завдань набули мобільні крани, оскільки вони поєднують можливість швидкого переміщення між об’єктами та достатні технічні характеристики для роботи з вантажами різної маси.

Водночас експлуатація мобільного крана на автомобільній платформі є досить витратною. Вартість послуг такої техніки, як правило, визначається з урахуванням часу її роботи. При цьому значну частину робочого часу займає встановлення крана на виносні опори та вирівнювання платформи відносно горизонту. У середньому цей процес може становити від 5 до 20 % загальної тривалості навантажувально-розвантажувальних робіт. Тому скорочення часу позиціонування платформи у горизонтальній площині дає змогу підвищити продуктивність використання крана та зменшити витрати на виконання вантажних операцій.

Одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є автоматизація процесу вирівнювання платформи мобільного крана. Ручне позиціонування потребує значних затрат часу, вимагає постійної уваги оператора та залежить від його досвіду. Крім того, точність встановлення крана безпосередньо впливає на безпеку виконання робіт, оскільки неправильне вирівнювання може призвести до зниження стійкості машини, перевантаження окремих опор або виникнення аварійної ситуації. Отже, застосування автоматичного модуля позиціонування платформи відносно горизонту є доцільним як з технічної, так і з економічної точки зору.

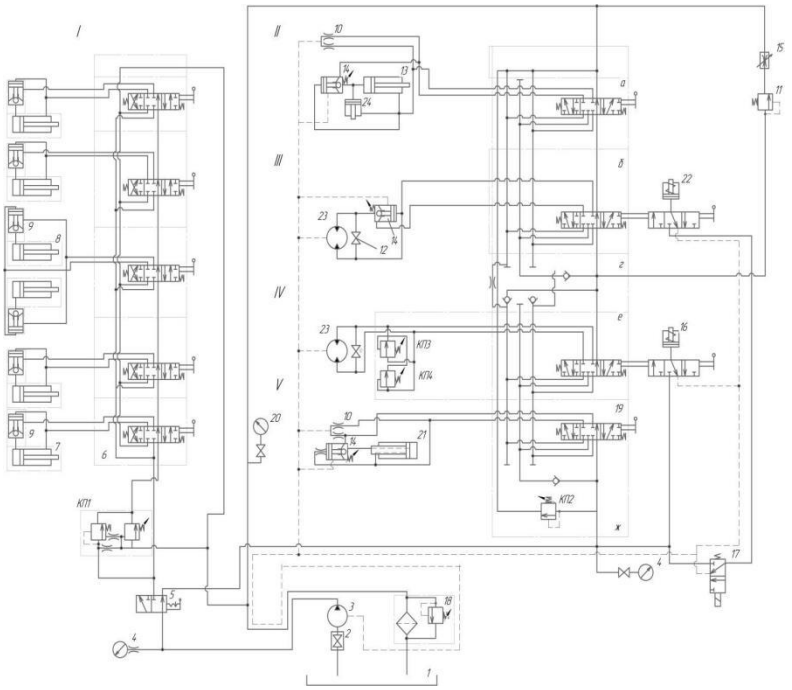
Як приклад для аналізу можна розглянути мобільний кран КС-3575А, змонтований на автомобільному шасі ЗІЛ-133ГЯ. Ця модель належить до середньотонажних автокранів і характеризується порівняно компактними габаритами, достатньою маневреністю та можливістю роботи в різних експлуатаційних умовах. Основним робочим органом крана є двосекційна телескопічна стріла, базова довжина якої становить 9,5 м. У такому положенні кранова установка залишається компактною,

що полегшує її використання на обмежених майданчиках, у міських умовах або на ділянках зі складним під'їздом.

Після висування основної секції довжина стріли збільшується до 15,5 м, що розширює можливості крана під час переміщення вантажів на більшу відстань і забезпечує більшу висоту підйому. Телескопування стріли здійснюється за допомогою гідроциліндра, що забезпечує плавність регулювання її положення та зручність керування під час виконання вантажопідіймальних операцій [1].

Робочі механізми автокрана КС-3575А приводяться в дію індивідуальним гідравлічним приводом, схема якого наведена на рисунку 2.1. Основним елементом гідравлічної системи є аксіально-поршневий насос, розташований у ходовій частині автомобільного шасі. Його робота забезпечується крутним моментом, який передається від силової установки через механічну коробку передач. Передавальні числа трансмісії підібрані таким чином, щоб забезпечувати стабільну роботу механізмів крана під значними навантаженнями та підтримувати необхідні режими роботи гідроприводу.

Таким чином, автокран КС-3575А є зручним прикладом для розгляду питання автоматизації процесу позиціонування мобільної платформи відносно горизонту. Наявність гідравлічного приводу, виносних опор і стабілізувальних елементів створює передумови для впровадження автоматизованої системи вирівнювання, яка може скоротити час підготовки крана до роботи, підвищити точність встановлення та покращити безпеку виконання навантажувально-розвантажувальних операцій.



Позначення елементів схеми:

1 – гідравлічний бак; 2 – запірний клапан; 3 – гідравлічний насос; 4, 20 – манометри; 5 – двоходовий кран; 6 – гідророзподільник; 7 – гідроциліндр Ц22А.00.0 діаметром 100 мм; 8 – гідроциліндр; 9 – гідрозамок; 10 – розвантажувальний жиклер; 11 – клапан тиску; 12 – вентиль; 13 – гідроциліндр Ц51.000 діаметром 200 мм; 14 – гальмівний клапан; 15 – регулювальний дросель; 16, 22 – гідророзмикачі гальма; 17 – гідророзподільник з електричним керуванням У4690.90.31; 18 – магістральний фільтр У.491.045Б; 19 – гідророзподільник Р25; 21 – гідроциліндр КС-3575А.63.900; 23 – гідродвигун; 24 – гідроштовхач датчика зусиль обмежувача вантажопідіймальності.

Функціональні зони схеми:

I – виносні опори; II – механізм підіймання стріли; III – вантажна лебідка; IV – механізм повороту; V – телескопічна стріла; а, б, г, е, ж – секції, призначені для суміщення робочих операцій.

Рисунок 2.1 – Схема індивідуального гідравлічного приводу мобільного крана КС-3575А на базі автомобільного шасі ЗІЛ-133ГЯ

Опис роботи гідравлічної схеми крана

Для встановлення крана на виносні опори відповідні золотники гідророзподільника переводяться у праве, відповідно до схеми, положення. У цьому режимі робоча рідина від насоса через канали гідророзподільника надходить у поршневі порожнини гідроциліндрів виносних опор. Подача рідини здійснюється через

гідрозамки 9, встановлені на гідроциліндрах, що забезпечує фіксацію положення опор і запобігає їх самовільному переміщенню під час роботи крана.

Для переведення крана у транспортне положення ті самі золотники гідророзподільника переміщують у ліве, згідно зі схемою, положення. У цьому випадку робоча рідина від насоса через відповідні канали гідророзподільника подається у штокові порожнини гідроциліндрів, унаслідок чого опори втягуються, а кран готується до переміщення.

Найбільший тиск у гідравлічній системі під час вимкнення задньої підвіски автомобіля та встановлення крана на виносні опори обмежується запобіжним клапаном КП-1. Це дає змогу захистити елементи системи від перевантаження та забезпечити безпечну роботу гідравлічного обладнання.

Для підіймання вантажу відповідний золотник переводиться у ліве, за схемою, положення. Робоча рідина від насоса через гальмівний клапан 14 надходить до гідромотора вантажної лебідки. Одночасно рідина подається до гідророзмикача 22 гальма через гідророзподільник 17, який у цьому режимі займає верхнє положення. Унаслідок цього гальмо розмикається, і вал гідромотора починає обертатися, забезпечуючи підіймання вантажу.

Оскільки вихід із гідромотора перекривається гальмівним клапаном 14, тиск у порожнині подачі робочої рідини та в лінії керування клапаном зростає. Після досягнення необхідного значення клапан відкривається, і робоча рідина з гідромотора через гідророзподільник та фільтр спрямовується на злив у масляний бак. Гальмівний клапан 14 забезпечує заданий режим швидкості опускання вантажу в усьому діапазоні навантажень. Розгальмовування під час опускання відбувається аналогічно режиму підіймання.

Вентиль 12 призначений для з’єднання напірної та зливної магістралей під час перевірки гальма вантажної лебідки, а також для аварійного опускання вантажу у разі виходу з ладу приводу вантажної лебідки.

Підіймання та опускання стріли здійснюється переміщенням золотника секції «а» гідророзподільника 19. Для підіймання стріли золотник переводиться у ліве, згідно зі схемою, положення, після чого робоча рідина від насоса через гальмівний клапан 14 надходить у поршневу порожнину гідроциліндра 13, який відповідає за зміну вильоту стріли.

Для опускання стріли золотник переводиться у праве положення. У цьому режимі робоча рідина подається в протилежну порожнину гідроциліндра зміни вильоту стріли, а також у лінію керування зворотного регульованого клапана. Після відкриття клапана рідина з поршневої порожнини спрямовується на злив у масляний бак. При цьому клапан виконує функцію гідрозамка: він запобігає самовільному втягуванню штока гідроциліндра через можливі витоки робочої рідини через гідророзподільник, а також у разі пошкодження або обриву трубопроводів підтримує безпечний режим швидкості опускання стріли в усьому діапазоні навантажень.

Висування та втягування телескопічної стріли здійснюється гідроциліндром 21, керування яким виконується секцією «ж» гідророзподільника 19. Принцип роботи цієї системи подібний до керування підійманням і опусканням стріли. Під час висування штока робоча рідина надходить у поршневу порожнину гідроциліндра через клапан 14. Під час втягування штока рідина подається у штокову порожнину, а з поршневої порожнини виходить через клапан 14 після подачі тиску в його лінію керування.

Керування гідромотором і гідророзмикачем гальма 16 виконується аналогічно до керування механізмом підіймання та опускання вантажу. Пікові тиски, які виникають у системі під час різкої зміни частоти обертання або зупинки поворотної частини, гасяться перепускними клапанами КП-3 і КП-4. Це забезпечує захист гідравлічної системи від гідроударів і підвищує довговічність її елементів.

Вентиль 12 також використовується для з’єднання напірної та зливної магістралей під час переведення поворотної частини у транспортне положення у разі несправності приводу крана.

Максимальний тиск у системі під час виконання робочих операцій золотниками гідророзподільника 19 обмежується запобіжним клапаном КП-2. Для забезпечення суміщення робочих операцій зливний потік робочої рідини через проміжну секцію «г» гідророзподільника 19 спрямовується з одних секцій у напірну магістраль інших секцій. Завдяки цьому забезпечується можливість одночасного виконання кількох робочих рухів, керованих відповідними золотниками гідророзподільника.

У разі спрацювання приладів безпеки електромагніт гідророзподільника знеструмлюється, і гідророзподільник переходить у положення, показане на схемі. При цьому лінії керування запобіжного клапана КП-2 і гідророзмикача 22 з’єднуються з масляним баком. Унаслідок цього клапан КП-2 відкривається, тиск у робочих

магістралях знижується, а гальмо вантажної лебідки замикається. Це унеможливлює продовження небезпечної робочої операції до моменту повторного надходження електричного струму на електромагніт гідророзподільника 17.

Привід датчика зусилля обмежувача вантажопідіймальності здійснюється за допомогою гідроштовхача 24. Його поршнева порожнина з'єднана з поршневою порожниною гідроциліндра 13 підіймання стріли. Таке рішення дає змогу контролювати навантаження, що діє на стрілу, і передавати відповідну інформацію до системи обмеження вантажопідіймальності.

Під час затягування гака при переведенні крана у транспортне положення двоходовий кран 11 встановлюється у нижнє, згідно зі схемою, положення. У цьому режимі за рахунок дозованого витоку робочої рідини з гідросистеми вантажної лебідки через регулювальний дросель 15 на злив максимальний тиск обмежується до 3 МПа [2].

Гідравлічні виносні опори та стабілізатори підвіски є важливими конструктивними елементами мобільного крана. Вони забезпечують стійкість машини під час роботи, зменшують вплив нерівностей майданчика та створюють передумови для точного позиціонування платформи відносно горизонту. Наявність автоматичного розподільника підвищує ефективність керування гідравлічною системою та дає можливість узгоджувати роботу окремих виконавчих механізмів.

Автомобільний кран КС-3575А дає оператору можливість суміщати кілька робочих рухів, що підвищує продуктивність виконання вантажопідіймальних операцій. Основними поєднаними рухами є:

– підіймання або опускання вантажу з одночасним обертанням поворотної платформи;

– підіймання або опускання вантажу з одночасним висуванням чи втягуванням секції стріли;

– підіймання або опускання стріли з одночасним обертанням поворотної платформи.

Під час експлуатації мобільного крана оператор може стикатися з низкою проблем, серед яких особливо важливими є неможливість безпечної роботи на значних ухилах робочого майданчика, зменшення вантажопідіймальності за таких умов, а також трудомісткість і тривалість встановлення платформи на виносні опори. Ці чинники

ускладнюють роботу, збільшують час підготовки крана до виконання операцій і можуть негативно впливати на безпеку.

Таким чином, для полегшення роботи оператора та підвищення ефективності експлуатації мобільного крана доцільно запропонувати модуль автоматичного встановлення платформи відносно горизонту. Такий модуль дасть змогу скоротити час позиціонування крана, підвищити точність вирівнювання, зменшити навантаження на оператора та покращити безпеку виконання навантажувально-розвантажувальних робіт.

2.2 Модуль автоматичного позиціонування платформи мобільного крану по горизонту

Схема модуля автоматичного позиціонування мобільної платформи, наведена на рисунку 2.2, містить такі основні елементи: датчик контролю тиску – 1; підсилювач – 2; джерело живлення – 3; панель керування – 4; контролер – 5; ртутний датчик нахилу – 6; датчик навантаження на вісь – 7; гідроциліндр Ц20А.00.0 – 8; гідрозамок – 9; гідроциліндр блокування підвіски – 10; гідронасос 210.25.16.21Б – 11; гідророзподільники з електрогідравлічним керуванням – Р1–Р6; гідророзподільник – Р7.

Після прибуття мобільної платформи до місця виконання робіт машина зупиняється на робочому майданчику та готується до встановлення на виносні опори. Далі оператор через панель керування подає сигнал на контролер для запуску процесу автоматичного вирівнювання платформи відносно горизонту. Отримавши команду, контролер починає опрацьовувати інформацію від датчиків, які контролюють положення платформи, тиск у гідравлічній системі та навантаження на вісь.

Ртутний датчик нахилу визначає фактичне відхилення платформи від горизонтального положення. Датчик навантаження на вісь дає змогу контролювати розподіл навантаження між опорами та ходовою частиною, а датчик контролю тиску фіксує параметри роботи гідравлічної системи. Сигнали від датчиків надходять до підсилювача, після чого передаються на контролер для аналізу й формування керуючих команд.

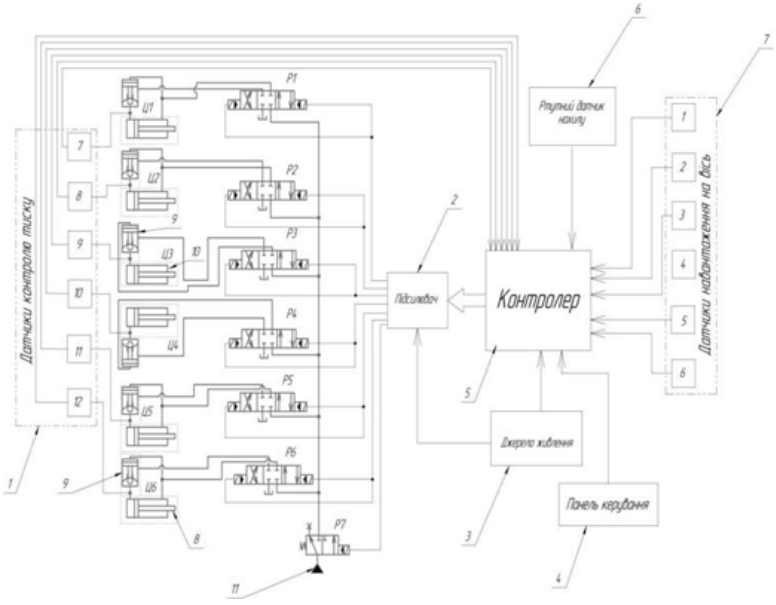
На основі отриманих даних контролер визначає, які саме виносні опори необхідно висунути або втягнути для вирівнювання платформи. Відповідні команди надходять на гідророзподільники з електрогідравлічним керуванням Р1–Р6. Через них робоча рідина від гідронасоса 210.25.16.21Б спрямовується до гідроциліндрів виносних опор.

Гідроциліндри Ц20А.00.0 здійснюють переміщення опор, змінюючи положення платформи до досягнення горизонтального рівня.

Гідрозамки забезпечують фіксацію положення гідроциліндрів після завершення переміщення та запобігають самовільному опусканню або втягуванню опор під дією навантаження. Гідроциліндр блокування підвіски використовується для стабілізації ходової частини та зменшення впливу пружних елементів підвіски на точність позиціонування платформи. Це особливо важливо під час роботи на нерівних або похилих майданчиках.

Після досягнення необхідного положення контролер порівнює показники датчика нахилу із заданим допустимим значенням. Якщо відхилення від горизонту перебуває в межах норми, система припиняє подачу керуючих сигналів на гідророзподільники, а положення платформи фіксується гідрозамками. У разі виявлення залишкового нахилу контролер продовжує коригування положення відповідних опор до повного вирівнювання платформи.

Таким чином, схема, наведена на рисунку 2.2, забезпечує автоматизоване встановлення мобільної платформи крана в горизонтальне положення. Її застосування дає змогу скоротити час підготовки крана до роботи, зменшити навантаження на оператора, підвищити точність вирівнювання та покращити безпеку виконання вантажопідіймальних операцій.



Позначення елементів блок-схеми модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана відносно горизонту:

1 – датчик контролю тиску; 2 – підсилювач; 3 – джерело живлення; 4 – панель керування; 5 – контролер; 6 – ртутний датчик нахилу; 7 – датчик навантаження на вісь; 8 – гідроциліндр Ц20А.00.0; 9 – гідрозамок; 10 – гідроциліндр блокування підвіски; 11 – гідронасос 210.25.16.21Б; Р1–Р6 – гідророзподільники з електрогідравлічним керуванням; Р7 – гідророзподільник.

Рисунок 2.2 – Блок-схема модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана відносно горизонту

Датчики навантаження передають на контролер інформацію про ступінь завантаження мобільної платформи та розподіл навантаження між її осями. Ртутний датчик нахилу фіксує кут відхилення платформи від горизонтального положення. На основі отриманих сигналів контролер аналізує фактичний стан платформи та визначає необхідні дії для її вирівнювання.

Контролер через підсилювач з’єднаний із гідравлічними трьохпозиційними чотирилінійними розподільниками, кожен із яких керує відповідним гідроциліндром, встановленим на виносній опорі. Після запуску системи контролер подає сигнал на гідророзподільник Р7. Унаслідок цього розподільник перемикається та спрямовує робочу рідину під тиском до входів гідророзподільників Р1–Р6.

Відповідно до закладеної програми керування контролер послідовно подає сигнали на розподільники Р1–Р6. Це забезпечує переміщення штоків гідроциліндрів і поступове піднімання мобільної платформи на виносних опорах. Коли датчики навантаження на вісь фіксують розвантаження осей автомобільного шасі, контролер переходить до наступного етапу – автоматичного вирівнювання платформи відносно горизонту.

Процес вирівнювання здійснюється за показниками ртутного датчика нахилу. Контролер визначає напрямок і величину відхилення платформи, після чого вмикає або вимикає відповідні гідророзподільники Р1–Р6. Завдяки цьому окремі гідроциліндри виносних опор висуваються або зупиняються, а положення платформи поступово коригується до досягнення горизонтального рівня.

Після завершення програми вирівнювання контролер за сигналами датчиків тиску перевіряє тиск в активних камерах гідроциліндрів. Це необхідно для контролю рівномірності навантаження на виносні опори та забезпечення стабільного робочого положення крана. Для повноцінного приведення платформи у робочий стан тиск у

гідроциліндрах має бути наближеним до однакових значень. Такий контроль дає змогу уникнути перевантаження окремих опор, підвищити стійкість мобільного крана та забезпечити безпечне виконання вантажопідіймальних операцій.

2.3 Вибір основних елементів управління автоматичною системою позиціонування платформи

Датчики тиску DSP-01

Цифровий перетворювач тиску DSP-01 призначений для безперервного вимірювання та перетворення значення тиску робочого середовища у стандартизований вихідний сигнал постійного струму 4–20 мА. Пристрій може застосовуватися для контролю абсолютного, надлишкового тиску або різниці тисків залежно від умов експлуатації та типу технологічної системи [20].

Перетворювач DSP-01 має герметичний металевий корпус із захистом від зовнішніх впливів, що забезпечує його надійну роботу в умовах підвищеної вологості, запиленості та вібрацій, характерних для мобільної техніки. Наявність цифрового дисплея дає змогу в режимі реального часу відображати поточне значення тиску середовища, що спрощує контроль роботи гідравлічної системи та полегшує діагностику її стану.

Додатковою перевагою перетворювача є підтримка цифрового HART-інтерфейсу. Завдяки цьому дані про тиск можуть передаватися як у вигляді аналогового сигналу 4–20 мА, так і в цифровому форматі тією самою двопровідною лінією зв’язку. Таке рішення підвищує інформативність системи контролю, спрощує інтеграцію датчика з контролером і дає можливість використовувати DSP-01 у складі автоматизованого модуля позиціонування мобільної платформи крана.

У запропонованій системі автоматичного вирівнювання платформи датчики тиску DSP-01 доцільно застосовувати для контролю тиску в активних камерах гідроциліндрів виносних опор. Отримані від них сигнали можуть використовуватися контролером для оцінювання рівномірності навантаження на опори, виявлення перевантаження окремого гідроциліндра та підтвердження стабільного робочого положення крана після завершення процесу вирівнювання. Загальний вигляд цифрового перетворювача тиску DSP-01 наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Датчик тиску DSP-01

Вимірювальні перетворювачі тиску серії DSP під час випуску з виробництва, після проведення ремонту, а також у процесі експлуатації повинні проходити повірку або калібрування. Вид метрологічного контролю залежить від сфери застосування приладу та вимог до точності вимірювання. Дотримання встановлених інтервалів повірки чи калібрування є необхідною умовою забезпечення достовірності показників тиску та надійної роботи автоматизованої системи керування [20].

Згідно з настановою з експлуатації, міжповірочний або рекомендований міжкалібрувальний інтервал становить:

– 1 рік – для перетворювачів із границями допустимої похибки від 0,1 % до 0,15 %;

– роки – для перетворювачів із границями допустимої похибки від 0,25 % до 1,5 %.

Такий підхід дає змогу враховувати клас точності конкретного перетворювача та умови його використання. Прилади з меншою допустимою похибкою потребують частішого контролю, оскільки вони застосовуються в системах, де точність вимірювання має особливо важливе значення.

Окремим виконанням у цій серії є перетворювач DSP-03, який відрізняється від моделі DSP-01 відсутністю цифрового індикатора. Такий варіант може використовуватися в системах, де візуальне зчитування показників безпосередньо на корпусі приладу не є обов’язковим, а контроль тиску здійснюється через аналоговий або цифровий сигнал, що надходить до контролера. Загальний вигляд перетворювача DSP-03 без цифрового індикатора наведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Варіант перетворювача DSP-03 без цифрового індикатора

Основні характеристики перетворювача тиску DSP-01:

– вихідний сигнал постійного струму – 4–20 мА;

– виконання – для вимірювання надлишкового, абсолютного тиску, різниці тисків або розрідження;

– діапазон вимірювання тиску – від 0 до 25 МПа залежно від замовлення;

– клас точності перетворювача – 0,25, за окремим замовленням від 1,5 до 0,1;

– споживана потужність – не більше 1,0 ВА;

– ступінь захисту корпусу – IP54;

– напруга живлення – від 12 до 36 В;

– наявність цифрового HART-інтерфейсу.

Зазначені характеристики дають змогу використовувати перетворювач DSP-01 у складі автоматизованих гідравлічних систем мобільної техніки, зокрема для контролю тиску в гідроциліндрах виносних опор. Завдяки уніфікованому сигналу 4–20 мА датчик може бути підключений до контролера, а його показники використані для аналізу стану гідросистеми, контролю навантаження на опори та забезпечення безпечного позиціонування платформи крана.

Контролер-конструктор для мікроконтролерів Atmel ATmega16

Контролер-конструктор на базі Atmel ATmega16 призначений для макетування та розроблення пристроїв, які працюють на основі 8-розрядних мікроконтролерів серії AVR фірми Atmel. Такий конструктор дає змогу швидко й з відносно невеликими витратами створити нескладний керуючий пристрій з аналоговими та цифровими входами і виходами, а також із можливістю обміну даними із зовнішніми пристроями через інтерфейс RS-232 [19].

У межах розроблення модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана такий контролер може використовуватися як основний блок керування. Він приймає сигнали від датчиків нахилу, тиску та навантаження, обробляє

їх відповідно до заданої програми і формує керуючі сигнали для електрогідравлічних розподільників. Загальний вигляд контролера-конструктора на базі Atmel ATmega16 наведено на рисунку 2.5.

Конструктивно контролер-конструктор являє собою друковану плату, на якій розміщені основні електронні компоненти, необхідні для створення та налагодження мікроконтролерних систем. До складу плати входять:

– мікроконтролер серії ATmega16 у корпусі QFP-44;

– мікросхема SEEPROM AT24C256-10SI з інтерфейсом I2C;

– рідкокристалічний модуль HY-1602H-204 на 2 рядки по 16 символів зі світлодіодним підсвічуванням;

– драйвер MAX202 і дев’ятиконтактний роз’єм DB-9 для підключення пристроїв з інтерфейсом RS-232;

– роз’єм живлення 7–12 В з діодним мостом і стабілізатором 78M05 на 5 В;

– кнопка скидання;

– інтерфейси JTAG та ISP;

– макетне поле розміром 20 × 36 монтажних отворів із кроком 2,54 мм.

Наявність макетного поля дає можливість додатково встановлювати елементи схеми, підключати датчики, виконавчі пристрої та допоміжні модулі без виготовлення окремої друкованої плати на початковому етапі розробки. Це спрощує процес налагодження системи автоматичного вирівнювання платформи та дозволяє швидко перевіряти різні варіанти схемних рішень. Загальний вигляд друкованої плати контролера-конструктора наведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.5 – Контролер-конструктор Atmel ATmega16

Живлення контролера здійснюється напругою 7–12 В, яка подається через роз’єм J4 на діодний міст D2. Після цього напруга надходить на стабілізатор 78M05 (U3), де

перетворюється до рівня 5 В, необхідного для живлення елементів схеми. Така побудова кола живлення забезпечує стабільну роботу контролера та його основних функціональних вузлів.

Для візуального контролю наявності живлення у схемі передбачено світлодіод D1 та обмежувальний резистор R1. Резистор виконує захисну функцію, обмежуючи струм, що проходить через світлодіод, а сам світлодіод слугує індикатором подачі напруги на плату. Це дає змогу оператору або розробнику швидко визначити, чи перебуває пристрій у робочому стані. Схему подачі живлення контролера наведено на рисунку 2.6.

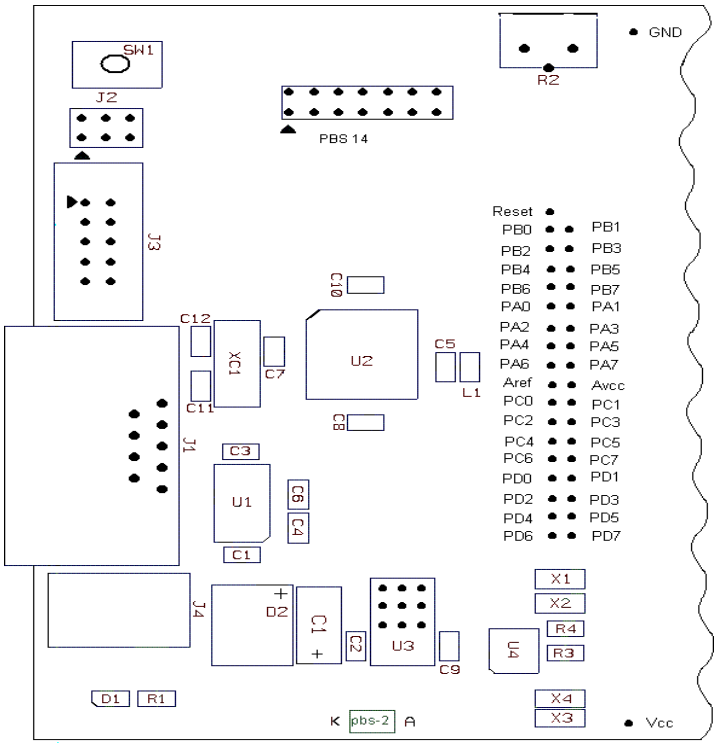


Рисунок 2.6 – Принципова схема контролера-конструктора

Максимальний вихідний струм стабілізатора становить 100 мА. Споживання струму основними компонентами макетної плати дорівнює приблизно 25 мА, струм споживання рідкокристалічного модуля – 1 мА, а струм підсвічування ЖК-модуля – близько 25 мА.

З урахуванням цих значень струм, доступний для користувацької частини схеми, становить:

– за вимкненого підсвічування індикатора – близько 75 мА;

– за ввімкненого підсвічування індикатора – близько 50 мА.

Це необхідно враховувати під час підключення додаткових датчиків, виконавчих елементів або допоміжних модулів до контролера, оскільки перевищення допустимого

струму може призвести до нестабільної роботи схеми або перевантаження стабілізатора живлення.

Датчик нахилу KY-017

Датчик нахилу KY-017 є простим модулем-перемикачем, який змінює свій стан залежно від положення в просторі. Його робота ґрунтується на перемиканні контактів за допомогою кульки ртуті, розміщеної всередині герметичної скляної колби. У разі зміни кута нахилу кулька переміщується та замикає або розмикає електричний контакт, формуючи відповідний сигнал для контролера [18].

Модуль KY-017 легко підключається до плат Arduino, контролерів на базі мікроконтролерів AVR, зокрема Atmel ATmega16, а також до інших мікроконтролерних систем. Це робить його зручним для використання у простих системах контролю положення, сигналізації нахилу або визначення зміни орієнтації рухомих елементів.

На платі датчика додатково встановлено червоний SMD-світлодіод та струмообмежувальний резистор номіналом 1 кОм. Під час замикання контактів світлодіод загоряється, що дає змогу візуально контролювати спрацювання модуля. Така індикація спрощує перевірку працездатності датчика під час налагодження системи.

У складі модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана датчик нахилу KY-017 може застосовуватися для визначення відхилення платформи від горизонтального положення. Сигнал із датчика надходить до контролера, який на його основі формує команди для електрогідравлічних розподільників і керує гідроциліндрами виносних опор. Завдяки цьому забезпечується автоматичне вирівнювання платформи та підвищується безпека роботи крана.

Модуль KY-017 може також використовуватися для контролю нахилу робота, визначення положення рухомих частин механізмів, сигналізації про зміну кута нахилу та інших завдань, де необхідно фіксувати зміну просторового положення об’єкта. Загальний вигляд датчика нахилу KY-017 наведено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Датчик нахилу KY-017

Основні технічні характеристики датчика KY-017:

– розміри – 14 × 20 мм;
– робочий струм – 30…55 мА;
– напруга живлення – 5 В.

Невеликі габаритні розміри, простота підключення та сумісність із мікроконтролерними системами дають змогу ефективно використовувати датчик KY-017 у складі модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана. Його застосування дозволяє своєчасно фіксувати відхилення платформи від горизонтального положення та передавати відповідний сигнал на контролер для подальшого керування гідравлічною системою.

Датчик навантаження на вісь DDE-08

Датчик навантаження на вісь DDE-08 призначений для роботи у складі пневматичних систем транспортних засобів. Основне його призначення полягає в отриманні інформації про тиск у пневмобалонах або пневматичній мережі транспортного засобу з подальшою передачею цих даних до електронного блока обробки або системи контролю. Як пристрої для реєстрації інформації про навантаження на вісь рекомендується використовувати онлайн-термінали систем супутникового моніторингу GPS / ГЛОНАСС виробництва компанії «Технотон» [21].

Застосування датчика DDE-08 забезпечує:

– контроль місця та часу виконання операцій навантаження і розвантаження;
– визначення маси вантажу;
– оптимізацію завантаження транспортного засобу;

– контроль роботи водія та виключення несанкціонованого перевезення вантажів;

– запобігання штрафам за перевищення допустимого навантаження на вісь.

Вихідний сигнал датчика є стабілізованим і не залежить від напруги бортової мережі транспортного засобу, що позитивно впливає на точність і надійність його роботи. Принцип вимірювання у датчику DDE-08 базується на використанні тензорезистивного елемента, завдяки чому забезпечується достатня чутливість і точність контролю навантаження.

Крім того, датчик має захист від короткого замикання, що підвищує безпечність його експлуатації. Конструкція пристрою не містить шкідливих речовин і компонентів, небезпечних для здоров’я людини та навколишнього середовища. Також у його складі відсутні дорогоцінні метали в кількостях, що підлягають спеціальному обліку чи контролю. Загальний вигляд датчика навантаження на вісь DDE-08 наведено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Датчик навантаження на вісь DDE-08

Технічні характеристики датчика навантаження на вісь DDE-08:

– напруга живлення – 8–32 В;

– тиск на вході датчика – 0–0,8 МПа;

– маса – 150 г;

– похибка вимірювання – не більше 2,5 %;

– приєднувальна різьба – М16×1,5;

– температурний діапазон роботи – від –40 до +80 °С;

– вихідний сигнал – аналоговий, з лінійною характеристикою, не залежить від напруги бортової мережі [21].

Такі параметри дають змогу використовувати датчик DDE-08 у складі системи автоматичного позиціонування мобільної платформи крана для контролю розвантаження осей під час встановлення машини на виносні опори. Завдяки широкому діапазону напруги живлення та стійкості до температурних коливань датчик придатний для експлуатації в умовах мобільної техніки.

Гідроциліндр виносних опор Ц20А.00.0

Гідроциліндр Ц20А.00.0 застосовується у складі виносних опор мобільного крана та призначений для піднімання, вирівнювання й фіксації платформи під час підготовки крана до роботи. Саме через ці гідроциліндри здійснюється передача зусилля від гідравлічної системи до опорних елементів, що забезпечує вивішування шасі та стабілізацію крана на робочому майданчику.

Основні технічні характеристики гідроциліндра Ц20А.00.0:

- діаметр поршня – 100 мм;
- діаметр штока – 50 мм;
- хід поршня – 500 мм;
- номінальний тиск – 16 МПа.

Зазначені характеристики забезпечують достатнє зусилля для встановлення мобільної платформи на виносні опори та її подальшого вирівнювання відносно горизонту. Номінальний тиск 16 МПа дає змогу ефективно використовувати гідроциліндр у складі автоматизованої системи керування, де положення кожної опори регулюється залежно від показників датчиків нахилу, навантаження та тиску.



Рисунок 2.9 – Гідроциліндр Ц20А.00.0

Гідрозамок VBPSE 3/4"

Гідрозамок VBPSE 3/4" L4 VIE виробництва компанії OESSE (Італія) є якісним гідравлічним елементом, який застосовується для фіксації положення виконавчих механізмів у гідросистемах мобільної техніки. У конструкції модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана такий гідрозамок може використовуватися для утримання гідроциліндрів виносних опор у заданому положенні після завершення процесу вирівнювання [22].

Гідрозамок належить до пристроїв односторонньої дії. Він забезпечує вільне проходження робочої рідини в одному напрямку та блокує її зворотний рух до моменту подачі керуючого тиску. Завдяки цьому запобігається самовільне переміщення штока гідроциліндра під дією навантаження, витоків у гідросистемі або зміни положення платформи під час роботи крана.

Модель VBPSE 3/4" здатна пропускати потік робочої рідини до 100 л/хв, що дозволяє використовувати її у гідросистемах із достатньо високою продуктивністю. Застосування такого елемента підвищує безпеку експлуатації мобільного крана, оскільки забезпечує надійне утримання положення опор і стабільність платформи під час вантажопідіймальних операцій.



Рисунок 2.10 – Гідрозамок VBPSE 3/4"

Основні характеристики гідрозамка VBPSE 3/4":

- виробник – Oesse;
- тип – гідрозамок;
- номінальний тиск – 35 МПа;
- номінальна витрата робочої рідини – 100 л/хв.

У загальному випадку гідрозамки поділяють на два основні типи:

– односторонні (одноклапанні) – з одним запірним елементом;

– двосторонні (двоклапанні) – з двома запірними елементами.

Основне призначення гідрозамка полягає в перекритті потоку робочої рідини та забезпеченні надійної фіксації робочого органа, наприклад гідроциліндра, гідромотора або іншого виконавчого механізму. Завдяки цьому виключається самовільний, тобто некерований, рух механізму під дією зовнішнього навантаження або внутрішніх витоків у гідросистемі. Отже, головною функцією гідрозамка є статичне утримання робочого органа у заданому положенні [22].

Разом із тим не рекомендується використовувати гідрозамки для регулювання плавності руху гідродвигунів, гідроциліндрів або для керування опусканням вантажу за допомогою лебідки. Іншими словами, вони не призначені для виконання динамічних функцій. Для таких завдань застосовують спеціальні гальмівні або врівноважувальні клапани, які забезпечують плавність руху та безпечне регулювання швидкості переміщення робочого органа [22].

Гідроциліндр МАЗ-503А

У якості одного з виконавчих елементів гідравлічної системи може застосовуватися гідроциліндр МАЗ-503А, загальний вигляд якого наведено на рисунку 2.11. Цей гідроциліндр належить до телескопічних гідроциліндрів односторонньої дії та може бути використаний у конструкціях мобільної техніки, де необхідне значне переміщення штока за відносно компактних початкових габаритів [24].

Технічні характеристики гідроциліндра МАЗ-503А-8603510:

1. тип – гідроциліндр телескопічний односторонньої дії;
2. кількість телескопічних ланок – 3;
3. робочий тиск – 16 МПа;
4. діаметри штоків – 73, 92, 111 мм;
5. міжцентрова відстань – 606 мм;
6. загальний хід – 1280 мм;
7. вантажопідйомність – 15 т.

Телескопічна конструкція такого гідроциліндра забезпечує значну довжину ходу при компактному розміщенні у складеному стані. Це є важливою перевагою для мобільних машин і підйомно-транспортного обладнання, де обмежені монтажні розміри мають суттєве значення. Використання гідроциліндра МАЗ-503А дозволяє реалізувати

значне переміщення виконавчого органа та забезпечити необхідне зусилля для виконання технологічних операцій.



Рисунок 2.11 – Гідроциліндр МАЗ-503А

Гідророзподільник Vickers DG4V. Призначення і область застосування

Гідророзподільники Eaton Vickers DG4V NG20 є якісними золотниковими гідравлічними апаратами, які застосовуються для керування потоками робочої рідини в гідравлічних системах машин і механізмів. За своїм призначенням вони можуть використовуватися як аналоги розподільників типу 1Р203АЛ, РХ20...30000, 2Р203АЛ та інших подібних гідроапаратів з умовним проходом 20 мм [23].

Ці гідророзподільники належать до золотникових чотирилінійних апаратів із двостороннім електрогідравлічним керуванням. Їх основна функція полягає у зміні напрямку потоку робочої рідини, що подається до виконавчих механізмів гідравлічної системи. Завдяки цьому забезпечується керування рухом гідроциліндрів, гідромоторів та інших елементів, які виконують робочі операції.

Перемикання положення золотника здійснюється за допомогою керуючого елемента – пілота. У трьохпозиційних гідророзподільниках з електрогідравлічним керуванням пілот забезпечує переміщення основного золотника в необхідне положення залежно від команди системи керування. Такий принцип роботи дає змогу реалізувати дистанційне та автоматизоване керування гідравлічними виконавчими органами.

Гідророзподільники Vickers DG4V широко застосовуються в машинобудуванні, металургії, легкій промисловості, дорожньо-будівельній техніці, а також у гідравлічних системах верстатів, пресів, промислових машин і різних стаціонарних установок. У складі модуля автоматичного позиціонування мобільної платформи крана такий

розподільник може використовуватися для керування подачею робочої рідини до гідроциліндрів виносних опор.

Експлуатація гідророзподільників здійснюється на мінеральних маслах з кінематичною в'язкістю від 10 до 400 мм²/с. Робоча рідина повинна мати клас чистоти не грубіший за 12-й клас згідно з ГОСТ 17216-2001. Для забезпечення необхідної чистоти рекомендується використовувати фільтрацію з номінальною тонкістю не грубішою за 25 мкм. Допускається робота гідророзподільників за температури навколишнього середовища від –40 до +50 °С [23].

Основні технічні характеристики гідророзподільника Vickers DG4V:

- тип – золотниковий;
- матеріал корпусу – сталь;
- максимальна витрата робочої рідини – 40 л/хв;
- тип розподільника – золотниковий;
- спосіб керування – електромагнітне / електрогідравлічне;
- конструктивне виконання – моноблочне;
- максимальний робочий тиск – 35 МПа.

Застосування гідророзподільника Vickers DG4V у системі автоматичного позиціонування платформи мобільного крана дає змогу забезпечити точне та швидке керування потоками робочої рідини. Це дозволяє контролеру автоматично вмикати або вимикати відповідні гідроциліндри виносних опор, коригувати положення платформи та підтримувати її горизонтальне положення під час підготовки крана до роботи.



Рисунок 2.12 – Гідророзподільник DHI-0714

Гідророзподільник DHI-0714 належить до золотникових гідроапаратів з електричним керуванням і призначений для зміни напрямку потоку робочої рідини в гідравлічній системі. Основне його призначення полягає у керуванні подачею

гідравлічного масла до виконавчих механізмів, що дає змогу забезпечити їх увімкнення, зупинку або зміну напряму руху.

Гідророзподільники серії DHI-0714 виконуються у варіанті плиткового (стикового) монтажу та відповідають стандарту CETOP 3 (ISO 3). Таке конструктивне виконання спрощує встановлення апарата в гідросистему, полегшує обслуговування та забезпечує сумісність із типовими монтажними плитами й гідравлічними блоками.

У системі автоматичного позиціонування платформи мобільного крана даний гідророзподільник може бути використаний для оперативного керування потоками робочої рідини, що подається до гідроциліндрів виносних опор. Завдяки електричному керуванню він легко інтегрується з контролером автоматичної системи, що дозволяє реалізувати точне і швидке регулювання положення платформи відносно горизонту.

Основні характеристики гідророзподільника DHI-0714:

– максимальний робочий тиск – 350 бар;
– пропускна здатність – 50 л/хв;
– тип гідророзподільника – з дискретним керуванням;
– тип керування – електричне;
– позиціонування золотника – із пружинним поверненням.

Пружинне повернення золотника забезпечує автоматичне повернення розподільника у вихідне положення після припинення дії керуючого сигналу. Це підвищує надійність роботи гідросистеми та сприяє безпечній експлуатації обладнання. Завдяки своїм технічним параметрам гідророзподільник DHI-0714 є придатним для використання у складі автоматизованих гідравлічних систем мобільної техніки.

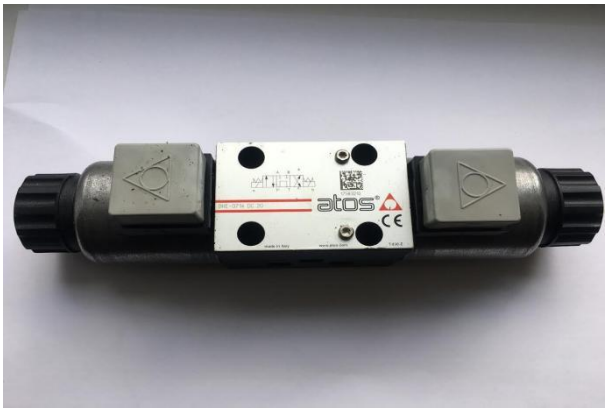


Рисунок 2.13 – Гідророзподільник DHI-0714

Гідронасос 210.25.16.21

Гідронасос 210.25.16.21 належить до нерегульованих аксіально-поршневих насосів і призначений для створення потоку робочої рідини в гідравлічній системі мобільної техніки. У складі модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана цей насос може забезпечувати подачу робочої рідини до гідророзподільників і гідроциліндрів виносних опор.

Вимоги до гідравлічної системи

Гідравлічна система машини, на якій встановлюється насос або гідромотор, повинна відповідати вимогам ГОСТ 17411, ГОСТ 13823 та ГОСТ 12.2.086 [26].

Для забезпечення безпечної та стабільної роботи гідросистема повинна бути обладнана приладами контролю температури масла в баку, а також засобами вимірювання тиску у вхідній та вихідній магістралях гідромашини. Це дає змогу своєчасно виявляти перевищення допустимих параметрів, контролювати стан робочої рідини та запобігати аварійним режимам роботи.

Запобіжний клапан гідравлічної системи необхідно налаштовувати на тиск, що не перевищує максимально допустимого тиску на вході гідромашини, зазначеного у відповідних технічних таблицях. Таке налаштування захищає насос, гідромотори, гідроциліндри та трубопроводи від перевантаження.

Крім того, гідросистема повинна виключати виникнення розрідження в робочих порожнинах гідромашини більше 0,2 кгс/см², що відповідає абсолютному тиску Рабс = 0,8 кгс/см², на будь-яких режимах роботи. Дотримання цієї умови є важливим для запобігання кавітації, зниженню ресурсу насоса та порушенню стабільності роботи гідравлічного приводу.

Технічні характеристики гідронасоса 210.25.16.21:

- робочий об’єм V_g – 112 см³/об;
- частота обертання вала:
- мінімальна n_{min} – 400 об/хв;
- номінальна $n_{\text{ном}}$ – 1200 об/хв;
- максимальна n_{max} при тиску на вході 0,08 МПа – 2000 об/хв;
- подача робочої рідини:
- мінімальна Q_{min} – 44,80 л/хв;
- номінальна $Q_{\text{ном}}$ – 134,40 л/хв;
- максимальна Q_{max} – 224,00 л/хв.

Наведені характеристики свідчать, що гідронасос 210.25.16.21 має достатню продуктивність для живлення виконавчих елементів гідравлічної системи мобільного крана. Його використання дозволяє забезпечити необхідну швидкість переміщення гідроциліндрів виносних опор, стабільну роботу розподільників і ефективне функціонування системи автоматичного вирівнювання платформи відносно горизонту.



Рисунок 2.14 – Гідронасос 210.25.16.21Б

Датчик нахилу

Одним із ключових елементів системи автоматичного позиціонування мобільної платформи є датчик нахилу, оскільки саме він забезпечує визначення відхилення платформи від горизонтального положення. Такі датчики можуть застосовуватися під час вимірювання крену автомобілів, суден, кранів, різних горизонтальних платформ, а також для визначення напрямку буріння свердловин, зокрема горизонтальних [10].

Перспективним є датчик кута нахилу, описаний у патенті РФ №2245518. Винахід належить до галузі контрольно-вимірювальної техніки та призначений для контролю кутового положення різних об’єктів у просторі. Особливістю цього технічного рішення є можливість вимірювати кут нахилу навіть під час обертання об’єкта навколо поздовжньої осі, що значно розширює сферу його використання [10].

У відомих технічних рішеннях застосовувалися датчики, що містили корпус, постійний магніт на підвісці, демпфувальну рідину та чутливий елемент, наприклад магніторезистор. При нахилі основи корпусу змінювалося положення магніту, і чутливий елемент фіксував це відхилення. Однак недоліком таких датчиків була неможливість стабільної роботи в умовах обертання об’єкта, що обмежувало їх практичне застосування [10].

Як прототип розглядають реостатний датчик кутових переміщень, який містить корпус із чутливим елементом у вигляді дротяної спіралі, симетрично розташованої

відносно горизонтальної поздовжньої осі корпусу. Спіраль пов’язана з вимірювальною схемою та джерелом живлення, а в корпус залита струмопровідна рідина, яка контактує зі спіраллю. Однак такий датчик також не забезпечує вимірювання кутів нахилу під час обертання відносно поздовжньої осі, а отже, не може повною мірою використовуватися, наприклад, під час контролю положення валів або бурових штанг [10].

Основним завданням запропонованого винаходу є створення такого датчика кута нахилу, який дозволив би виконувати вимірювання нахилу навіть тоді, коли об’єкт одночасно обертається. Досягнення цього технічного результату забезпечується тим, що дріт спіралі виконують із матеріалу з великим температурним коефіцієнтом опору, наприклад із міді або платини. Корпус датчика до половини заповнюється неелектропровідною рідиною, наприклад трансформаторним маслом, а через спіраль пропускається електричний струм, унаслідок чого вона нагрівається [10].

Принцип дії датчика полягає в такому. У разі горизонтального положення датчика теплова й електрична рівновага спіралі зберігається, а вимірювальний міст перебуває у збалансованому стані. Коли датчик нахиляється відносно горизонту, змінюються умови охолодження різних ділянок спіралі, що призводить до зміни її опору. У результаті міст розбалансовується, а величина цього розбалансу стає пропорційною куту нахилу. Важливо, що при повороті датчика навколо його поздовжньої осі величина і знак розбалансу практично не змінюються, що і забезпечує можливість роботи в умовах обертання [10].

Конструктивно датчик кута нахилу містить корпус 1, у якому розташований чутливий елемент у вигляді дротяної спіралі 3, симетричної відносно горизонтальної поздовжньої осі 2 корпусу. Спіраль з’єднана з вимірювальною схемою 4 та джерелом живлення Е. Усередині корпусу міститься рідина 5, яка заповнює його до рівня осі спіралі. Спіраль намотана на каркас, а вимірювальна схема підключена до її середньої точки. Схематичне зображення датчика кута нахилу та мостової вимірювальної схеми наведено на рисунку 2.15 [10].

Таким чином, використання такого датчика нахилу у складі модуля автоматичного позиціонування мобільної платформи є доцільним, оскільки він забезпечує точне визначення кута нахилу, має достатню чутливість і може функціонувати навіть за умов повороту або вібрації об’єкта. Це підвищує точність автоматичного вирівнювання платформи та загальну безпеку роботи мобільного крана.

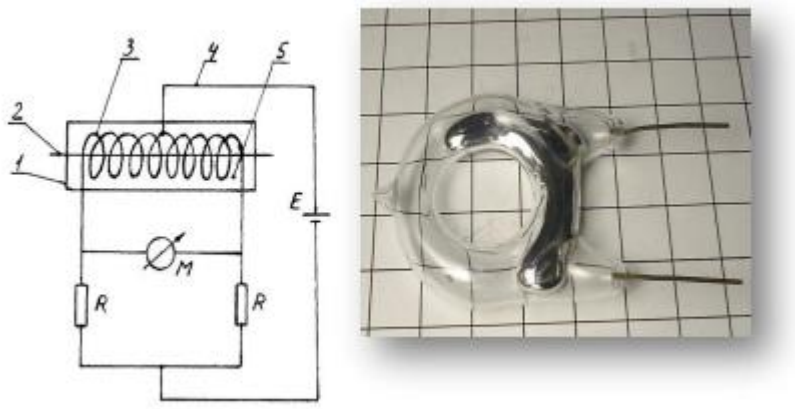


Рисунок 2.15 – Схема датчика кута нахилу та вимірювального моста

Спіраль 3 нагрівається за рахунок пропускання через неї електричного струму від джерела живлення Е. Коли поздовжня вісь 2 датчика перебуває у горизонтальному положенні, вимірювальний міст урівноважується за допомогою індикатора М, розміщеного у вимірювальній діагоналі мостової схеми.

Під час нахилу датчика відносно горизонтальної площини змінюється положення витків спіралі щодо рівня рідини. Частина витків однієї половини спіралі занурюється в рідину та інтенсивніше охолоджується, тоді як частина витків другої половини виходить із рідини й нагрівається сильніше. Унаслідок цього електричний опір першої половини спіралі зменшується, а опір другої половини, навпаки, збільшується.

Таке нерівномірне охолодження спричиняє розбалансування мостової вимірювальної схеми. Величина розбалансу є пропорційною куту нахилу датчика, а його знак відповідає напрямку цього нахилу. Важливою особливістю такої конструкції є те, що під час повороту датчика навколо його поздовжньої осі величина та знак розбалансу моста не змінюються. Це дає змогу використовувати датчик для вимірювання кута нахилу об’єктів, які можуть одночасно змінювати своє положення або обертатися [9].

Найбільш ефективні умови охолодження спіралі забезпечуються тоді, коли корпус 1 заповнений рідиною до рівня поздовжньої осі 2. У такому випадку зміна кута нахилу найпомітніше впливає на співвідношення занурених і незанурених витків спіралі, що підвищує точність формування вимірювального сигналу.

Необхідну чутливість датчика можна забезпечити шляхом добору основних конструктивних параметрів чутливого елемента. До них належать довжина та діаметр спіралі, діаметр дроту, з якого вона виготовлена, а також кількість витків. Зміна цих

параметрів дозволяє адаптувати датчик до конкретних умов експлуатації та необхідного діапазону вимірювання кутів нахилу [10].

2.4 Розрахунок модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крану по горизонту

Вихідні дані до розрахунку об’ємного гідроприводу

Гідравлічна схема, наведена на рисунку 4.1, призначена для забезпечення роботи об’ємного гідроприводу та містить основні елементи, необхідні для створення, регулювання і контролю потоку робочої рідини. До складу схеми входять: об’ємний насос 1, фільтр тонкого очищення 2, золотниковий гідророзподільник 3, об’ємний гідромотор 4, регульований дросель 5, запобіжний клапан 6, гідравлічний бак 7, а також магістральний трубопровід сумарною довжиною 8 м.

Вихідний вал гідромотора повинен забезпечувати максимальний крутний момент: $M_{д.max} = 500$ Н·м .

За максимальної частоти обертання: $n_{д.max} = 2{,}5$ об/с.

Регулювання частоти обертання вихідного вала гідромотора здійснюється за допомогою регульованого дроселя 5, який установлений послідовно у зливному трубопроводі. Таке розміщення дроселя дає змогу змінювати витрату робочої рідини, що проходить через гідромотор, і відповідно регулювати швидкість його обертання.

Запобіжний клапан 6 призначений для обмеження максимального тиску в системі та захисту елементів гідроприводу від перевантаження. Фільтр тонкого очищення 2 забезпечує очищення робочої рідини від механічних домішок, що підвищує надійність роботи насоса, гідромотора, розподільника та інших елементів системи.

Таким чином, наведені вихідні дані є основою для подальшого розрахунку параметрів об’ємного гідроприводу, зокрема визначення робочого тиску, витрати рідини, потужності насоса, діаметрів трубопроводів, втрат тиску та вибору основних гідравлічних елементів.

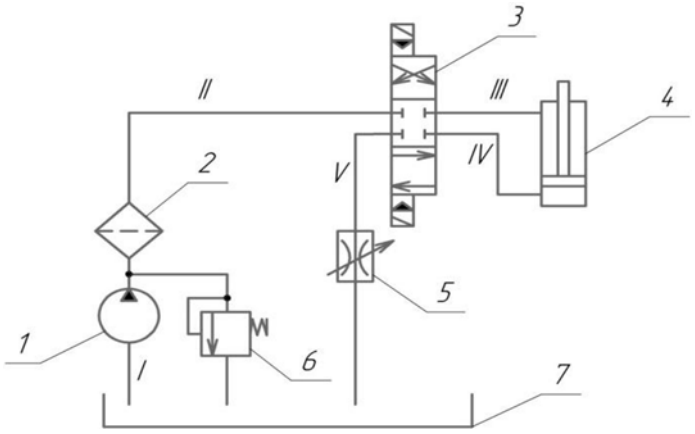


Рисунок 2.16 – Гідравлічна схема об’ємного гідроприводу

2.4.1. Визначення номінального тиску гідроприводу

Вихідна потужність гідромотора та всього гідроприводу визначається на основі заданих параметрів роботи гідродвигуна, зокрема максимального крутного моменту та частоти обертання його вихідного вала. Відповідно до прийнятих вихідних даних номінальний робочий тиск у гідравлічній системі становить: $p_{\text{н}} = 20$ МПа

Це значення використовується як базове під час подальших розрахунків основних параметрів об’ємного гідроприводу, зокрема витрати робочої рідини, потужності насоса, втрат тиску в трубопроводах, а також підбору гідроапаратури.

Подальші етапи розрахунку об’ємного гідроприводу доцільно виконувати послідовно після розгляду відповідних теоретичних положень. Такий підхід дає змогу логічно пов’язати розрахункову частину з теоретичним обґрунтуванням, забезпечити правильність вибору параметрів гідросистеми та підтвердити працездатність запропонованої схеми.

2.4.2 Орієнтовний вибір насоса

Орієнтовний вибір насоса Необхідна розрахункова подача насоса визначається з урахуванням витрати робочої рідини, потрібної для роботи гідродвигуна, а також можливих витоків у гідроапаратурі:

$$Q'_{\text{н}} = k_{\text{ут}} \cdot \sum Q_{\text{д}.max} \tag{2.1}$$

де $k_{\text{ут}} = 1{,}05$ – коефіцієнт, що враховує витоки робочої рідини в гідроапаратах;

$\sum Q_{\text{д}.max} = 0{,}00104$ м^3/с – максимальна витрата робочої рідини, необхідна для роботи гідродвигуна.

Підставляємо вихідні дані:

$$Q'_{\text{н}} = 1{,}05 \cdot 0{,}00104 = 0{,}001092 \text{ м}^3/\text{с}$$

Переведемо отримане значення у літри за хвилину:

$$Q'_{\text{н}} = 0{,}001092 \cdot 60 \cdot 1000 = 65{,}5 \text{ л/хв}$$

Отже, необхідна розрахункова подача насоса становить: $Q'_{\text{н}} = 65{,}5$ л/хв.

Згідно з даними додатку 10 попередньо обираємо аксіально-поршневий насос типу НА-10/320, який за своїми параметрами відповідає потрібній подачі та робочому тиску гідросистеми.

Для вибраного насоса: $q_{\text{н}} = 50 \cdot 10^{-6}$ м^3/об.

де $q_{\text{н}}$ – робочий об'єм насоса.

Таким чином, попередньо прийнятий насос НА-10/320 може бути використаний у розрахунковій гідравлічній системі, оскільки його робочий об'єм забезпечує можливість отримання необхідної подачі робочої рідини за відповідної частоти обертання вала насоса.

Частота обертання $n_{\text{н.ном}} = 500/3000$ об/мин

Номінальна подача $Q_{\text{н.ном}} = 107{,}2$ л/мин

Номінальний тиск $\text{p}_{\text{н.ном}} = 20$ МПа

ККД: : - загальний $\eta_{\text{н}} = 0{,}86$;

Об'ємний $\eta_{\text{н.о.}} = 0{,}93$.

Необхідна розрахункова частота обертання вала насоса:

$$n'_n = \frac{60 \cdot Q_{d.min} \cdot k_{ym}}{q_n \cdot \eta_{\text{н.о.}}} \tag{2.2}$$

$$n'_n = \frac{60 \cdot 0{,}0001602 \cdot 1{,}05}{10 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}78} = 1293{,}23 \text{ об/хв}$$

За результатами розрахунку приймаємо найближче стандартне значення синхронної частоти обертання вихідного вала електродвигуна – 1500 об/хв. Такий вибір є доцільним, оскільки це значення найбільш наближене до попередньо визначеної розрахункової частоти обертання вала насоса.

Під час роботи електродвигуна фактична частота обертання вала насоса буде дещо меншою за синхронну. Це пояснюється наявністю ковзання, характерного для асинхронних електродвигунів. З урахуванням цього дійсна частота обертання вала насоса становить приблизно 1455 об/хв.

Отримане значення є близьким до розрахункового, тому вибір електродвигуна зі стандартною синхронною частотою 1500 об/хв можна вважати обґрунтованим. Такий

режим забезпечує необхідну подачу робочої рідини насосом і відповідає умовам нормальної роботи об’ємного гідроприводу.

$$n_{\text{н}} = n_c(1 - s) \tag{2.3}$$

$$n_{\text{н}} = 1500(1 - 0{,}03) = 1440 \text{ об/хв}$$

де $s = 0{,}03$ – коефіцієнт ковзання електродвигуна, який характеризує відставання частоти обертання ротора від частоти обертання магнітного поля статора.

Далі визначають дійсну подачу насоса. Вона залежить від фактичної частоти обертання його вала, робочого об’єму насоса та об’ємного коефіцієнта корисної дії. Оскільки реальна частота обертання дещо менша за синхронну, фактична подача насоса також відрізняється від номінальної. Отримане значення використовують для подальших розрахунків гідроприводу та перевірки відповідності насоса заданим умовам роботи.

$$Q_{\text{н}} = \frac{q_{\text{н}} \cdot n_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н.о}}}{60} \tag{2.4}$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 1440 \cdot 0{,}78}{60} = 0{,}00001872 \text{ м}^3\text{/с} = 0{,}01872 \text{ л/хв}$$

2.4.3 Вибір робочої рідини

Згідно з даними додатка 12, для шестеренних насосів за температури робочої рідини в межах 40–80 °С рекомендовано використовувати рідину з кінематичною в’язкістю 25–35 мм²/с.

Таке значення в’язкості забезпечує нормальну роботу насоса, достатнє змащування його деталей, зменшення внутрішніх витоків і стабільну подачу робочої рідини в гідравлічну систему. Дотримання рекомендованого діапазону також сприяє зниженню зношування елементів насоса та підвищенню надійності роботи гідроприводу.

Згідно з даними додатка 12, для роботи гідравлічної системи обираємо індустріальну оливу И-20. Її властивості відповідають рекомендованому діапазону в’язкості для нормальної роботи насоса за робочої температури рідини.

Основні параметри робочої рідини И-20:

- кінематична в’язкість за температури 40 °С – $25 \cdot 10^{-6}$ м²/с;
- густина – 890 кг/м³;
- температура спалаху – 180 °С;
- температура застигання – –15 °С.

Вибір оливи И-20 є обґрунтованим, оскільки вона забезпечує необхідні умови змащування деталей гідросистеми, сприяє зменшенню зношування робочих поверхонь і підтримує стабільну роботу насоса та інших гідравлічних елементів. Крім того, її в'язкісні характеристики відповідають умовам експлуатації гідроприводу в заданому температурному діапазоні.

2.4.4 Вибір стандартної гідроапаратури і ємності гідробака

Вибір гідроапаратури здійснюється з урахуванням її функціонального призначення, допустимого робочого тиску, пропускної здатності та умов експлуатації гідравлічної системи. Основні елементи підбираються таким чином, щоб забезпечити надійну роботу об'ємного гідроприводу, необхідну витрату робочої рідини та захист системи від перевантажень.

Як фільтр тонкого очищення, позначений на схемі рисунка 4.1 під номером 2, приймаємо фільтр типу ФП7 20-25. Його застосування дає змогу забезпечити очищення робочої рідини від механічних домішок і підвищити довговічність гідроапаратури. Для цього фільтра характерні такі основні параметри: тонкість фільтрації – 25 мкм, номінальна пропускна здатність – 63 л/хв, номінальний тиск – 20 МПа, номінальний перепад тиску – 0,63 МПа.

Для керування напрямком потоку робочої рідини в системі як гідророзподільник 3 приймаємо трьохпозиційний золотниковий розподільник типу 20 МН. Він забезпечує перемикання потоків у відповідних магістралях і дозволяє керувати роботою виконавчого механізму. Основні характеристики цього гідророзподільника: номінальна витрата – 63 л/хв, номінальний тиск – 32 МПа, втрата тиску – 0,4 МПа, витоки робочої рідини – 0,005 л/с.

Для регулювання витрати робочої рідини та зміни швидкості роботи гідродвигуна як дросель 5 приймаємо регульований дросель типу Г 77-24. Його встановлення дає змогу плавно змінювати пропускну здатність зливної магістралі та, відповідно, регулювати частоту обертання гідромотора. Для цього дроселя приймаємо такі технічні параметри: номінальна витрата – 72 л/хв, номінальний тиск – 20 МПа, втрата тиску при повністю відкритому дроселі – 0,02 МПа.

Таким чином, вибрані елементи гідроапаратури за своїми технічними характеристиками відповідають заданим умовам роботи гідроприводу. Їх пропускна здатність, робочий тиск і допустимі втрати тиску забезпечують стабільну роботу

системи, необхідну швидкодію виконавчих органів і достатній рівень надійності під час експлуатації.

Для регулювання витрати робочої рідини приймаємо регульований дросель типу Г 77-24. Його номінальна витрата становить 72 л/хв, номінальний робочий тиск – 20 МПа, а втрата тиску при повністю відкритому дроселі – 0,02 МПа. Такі параметри дають змогу використовувати цей дросель для плавного регулювання швидкості руху виконавчого механізму без істотного зниження ефективності роботи гідросистеми.

Як запобіжний клапан, позначений на схемі рисунка 4.1 під номером 6, приймаємо клапан непрямої дії типу М-КП 20-100. Він призначений для захисту гідравлічної системи від перевищення допустимого тиску та автоматичного скидання надлишкового потоку робочої рідини в бак у разі виникнення перевантаження.

Основні характеристики запобіжного клапана М-КП 20-100:

- витрата робочої рідини – 100 л/хв;
- номінальний тиск настроювання – 10 МПа;
- максимальний тиск настроювання – 12,5 МПа;
- мінімальний тиск настроювання – 0,3 МПа;
- втрата тиску – 0,5 МПа.

Вибір такого клапана є обґрунтованим, оскільки його пропускна здатність перевищує робочу витрату системи, а діапазон настроювання дозволяє забезпечити захист гідроапаратури від аварійних режимів роботи.

Корисну ємність гідравлічного бака визначають з урахуванням продуктивності насоса за три хвилини роботи. Після розрахунку отримане значення округлюють до найближчого стандартного об’єму. Такий підхід забезпечує достатній запас робочої рідини, сприяє її охолодженню, відстоюванню механічних домішок і стабільній роботі гідроприводу:

$$V_б' = 3 \cdot Q_н \tag{2.5}$$

$$V_б' = 3 \cdot 67{,}2 = 201{,}6 \text{ л}$$

Приймаємо стандартну корисну ємність гідравлічного бака: $V_б = 200$ л

Таке значення забезпечує необхідний запас робочої рідини для стабільної роботи гідроприводу, а також створює умови для її охолодження, відстоювання домішок і зменшення піноутворення під час циркуляції в системі.

Розрахунок гідромережі

Для подальшого розрахунку магістральний трубопровід умовно поділяємо на окремі ділянки. Приймаємо такі довжини ділянок гідравлічної мережі:

- довжина I ділянки – 0,5 м;
- довжина II ділянки – 3 м;
- довжина III ділянки – 1 м;
- довжина IV ділянки – 1 м;
- довжина V ділянки – 2,5 м.

Сумарна довжина трубопроводу становить: $0{,}5 + 3 + 1 + 1 + 2{,}5 = 8$ м, що відповідає прийнятим вихідним даним для розрахунку гідравлічної схеми.

Розрахункові внутрішні діаметри окремих ділянок магістрального трубопроводу визначають з урахуванням витрати робочої рідини, допустимої швидкості її руху та призначення відповідної ділянки гідросистеми. Для напірних, зливних і всмоктувальних магістралей приймають різні допустимі швидкості потоку, оскільки умови роботи цих ділянок відрізняються.

Після визначення розрахункових діаметрів отримані значення округлюють до найближчих стандартних розмірів трубопроводів. Це необхідно для забезпечення технологічності виготовлення, зручності монтажу та відповідності елементів гідромережі наявній стандартній гідроарматурі:

$$d_1' = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot u_{\text{ср.I}}}} \tag{2.6}$$

$$d_1' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}00112}{3{,}14 \cdot 1}} = 0{,}038 \text{ м}$$

$$d_{\text{II,III}}' = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{II,III}}}{\pi \cdot u_{\text{ср.II,III}}}} \tag{2.7}$$

$$d_{\text{II,III}}' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}0001602}{3{,}14 \cdot 0{,}02}} = 0{,}10101 \text{ м}$$

$$d_{IV,V}' = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{IV,V}}{\pi \cdot u_{\text{ср.}IV,V}}} \tag{2.8}$$

$$d_{IV,V}' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}00015235}{3{,}14 \cdot 0{,}02}} = 0{,}0985 \text{ м}$$

Мінімально необхідну товщину стінки труби визначають з урахуванням внутрішнього тиску робочої рідини, діаметра трубопроводу, допустимого напруження матеріалу труби та коефіцієнта запасу міцності:

$$\delta = \frac{p_p \cdot d'_{\text{П}} \cdot n}{2 \cdot \sigma_{\text{доп}}} \quad (2.9)$$

$$\delta = \frac{3{,}2172 \cdot 10^6 \cdot 0{,}1001 \cdot 3}{2 \cdot 160 \cdot 10^6} = 0{,}00190 \text{ м} = 1{,}9 \text{ мм}$$

де p_p – розрахунковий надлишковий тиск у напірній гідролінії, який діє на внутрішню поверхню трубопроводу під час роботи гідравлічної системи.

Цей параметр є одним із основних під час визначення мінімально допустимої товщини стінки труби, оскільки саме від величини робочого тиску залежить навантаження на трубопровід. Чим більший тиск у напірній магістралі, тим більшою повинна бути товщина стінки труби для забезпечення її міцності, герметичності та безпечної експлуатації гідроприводу:

$$p_p = 1{,}2 \cdot \text{p}_\partial \quad (2.10)$$

де $n = 3$ – коефіцієнт запасу міцності, який ураховує можливі перевантаження, коливання тиску, похибки виготовлення трубопроводу та умови експлуатації гідравлічної системи.

$\sigma_{\text{доп}}$ – допустиме напруження розриву матеріалу стінки труби. Цей показник характеризує максимальне напруження, яке може витримувати матеріал трубопроводу без руйнування з урахуванням прийнятого запасу міцності.

$$p_p = 1{,}2 \cdot 2{,}681 \cdot 10^6 = 3{,}2172 \cdot 10^6 \text{ Па} = 3{,}2172 \text{ МПа}$$

Під час розрахунку товщини стінки труби коефіцієнт запасу міцності та допустиме напруження використовують для забезпечення надійності трубопроводу при роботі під тиском. Це дає змогу запобігти розриву гідролінії, втраті герметичності та аварійним ситуаціям у процесі експлуатації гідроприводу:

$$\sigma_{\text{доп}} = 0{,}4 \cdot \sigma_{\text{в}} \quad (2.11)$$

де $\sigma_{\text{в}}$ – тимчасовий опір розриву матеріалу стінки труби, тобто граничне напруження, яке матеріал може витримати до моменту руйнування.

$$\sigma_{\text{доп}} = 0{,}4 \cdot 400 = 160 \text{ МПа}$$

Для трубопроводу, виготовленого зі сталі 20, згідно з даними додатка 18 приймаємо: $\sigma_{\text{в}} = 400$ МПа

За результатами розрахунку мінімальної товщини стінки труби та відповідно до стандартного сортаменту приймаємо найближче більше значення: $\delta = 2{,}0$ мм $= 0{,}002$ м

Прийняття стандартної товщини стінки 2,0 мм забезпечує необхідний запас міцності трубопроводу, його герметичність і надійність під час роботи гідравлічної системи під тиском.

Після вибору товщини стінки визначають розрахункові зовнішні діаметри окремих ділянок магістрального трубопроводу. Вони залежать від прийнятих внутрішніх діаметрів труб і товщини стінки. Отримані значення використовують для подальшого вибору стандартних труб, з'єднувальної арматури та перевірки відповідності гідромережі умовам міцності й монтажу:

$$d'_{\text{н.I}} = d'_1 + 2\delta \tag{2.12}$$

$$d'_{\text{н.I}} = 0{,}038 + 2 \cdot 0{,}002 = 0{,}042 \text{ м}$$

$$d'_{\text{н.II,III}} = d'_{\text{II,III}} + 2\delta \tag{2.13}$$

$$d'_{\text{н.II,III}} 0{,}10101 + 2 \cdot 0{,}002 = 0{,}10501 \text{ м}$$

$$d'_{\text{н.}IV,V} = d'_{IV,V} + 2 \cdot \delta \tag{2.14}$$

$$d'_{\text{н.}IV,V} = 0{,}0985 + 2 \cdot 0{,}002 = 0{,}1025 \text{ м}$$

Згідно з даними додатка 18, за розрахунковими зовнішніми діаметрами підбираємо найближчі стандартні розміри труб для окремих ділянок магістрального трубопроводу.

Для всмоктувального трубопроводу приймаємо трубу із зовнішнім діаметром: $d_{\text{н.}I} = 42 \text{ мм} = 0{,}042 \text{ м}$

Товщина стінки труби становить: $\delta = 2 \text{ мм} = 0{,}002 \text{ м}$

Тоді внутрішній діаметр всмоктувального трубопроводу дорівнює: $d_I = 42 - 2 \cdot 2 = 38 \text{ мм} = 0{,}038 \text{ м}$

Отже, для всмоктувальної ділянки гідромережі приймаємо стандартну трубу із зовнішнім діаметром 42 мм, товщиною стінки 2 мм та внутрішнім діаметром 38 мм. Такі параметри забезпечують достатній прохідний переріз для подачі робочої рідини до насоса та зменшують імовірність виникнення надмірного гідравлічного опору у всмоктувальній магістралі.

2.5 Технологічний контроль креслення

Під час розроблення технологічного процесу виготовлення деталі одним із основних вихідних документів є її робоче креслення. Саме за кресленням визначають конструктивні особливості виробу, розміри, допуски, вимоги до точності, шорсткості та взаємного розміщення поверхонь.

Перед початком проєктування технологічного процесу інженер-технолог повинен перевірити правильність оформлення робочого креслення деталі відповідно до вимог ГОСТ 14.206-73. Креслення має містити всі необхідні дані для виготовлення якісної деталі, зокрема достатню кількість проекцій, розрізів і перерізів, які повністю розкривають її форму та конструкцію.

Після аналізу креслення вала, наведеного на рисунку 2.7, можна зробити висновок, що на ньому зазначено основні розміри, необхідні для виготовлення деталі. Разом із тим виявлено окремий недолік: не для всіх поверхонь указано параметри шорсткості, які повинні позначатися відповідно до вимог ГОСТ 2789-73.

Допуски розмірів деталі наведені згідно з вимогами ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82. Крім того, на кресленні вказано допуски форми й розміщення поверхонь, що відповідають положенням ГОСТ 24643-81. Вимоги до точності виготовлення окремих поверхонь також задані відповідно до цього стандарту [13].

Отже, робоче креслення в цілому містить необхідну інформацію для розроблення технологічного процесу виготовлення вала, однак потребує уточнення позначень шорсткості окремих поверхонь.

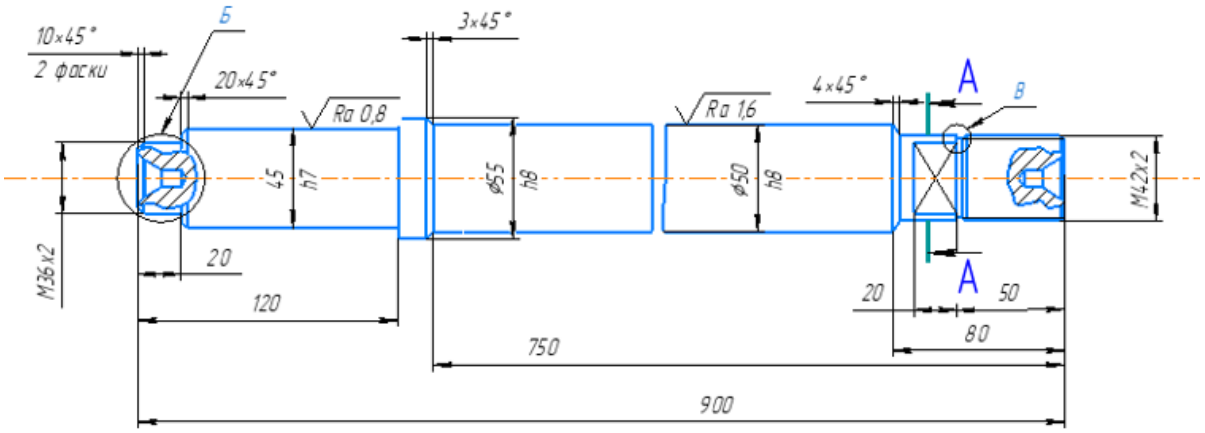


Рисунок 2.17 – Вал гідроциліндра

2.6 Аналіз технології виробництва деталі та вибір заготовки

Основу деталі доцільно виготовляти з круглого прокату зі сталі 40Х згідно з вимогами ГОСТ 1050-88. Такий матеріал широко застосовується для виготовлення відповідальних деталей машин, які працюють під дією механічних навантажень, оскільки має достатню міцність, зносостійкість і придатність до подальшої механічної та термічної обробки.

Механічні характеристики сталі 40Х за температури 20 °С мають такі значення:

– границя міцності на розтяг, або тимчасовий опір розриву, – 570 МПа;

– відносне видовження після розриву – 17 %;

– твердість – не більше 207 НВ;

– густина матеріалу – 7670 кг/м³.

Вибір сталі 40Х для виготовлення вала гідроциліндра є обґрунтованим, оскільки цей матеріал забезпечує необхідну міцність деталі, стійкість до деформацій і достатній ресурс роботи в умовах експлуатаційних навантажень. Крім того, сталь 40Х добре піддається механічній обробці, що дає змогу отримати необхідну точність розмірів і якість поверхонь відповідно до вимог робочого креслення.

2.7 Вибір типового технологічного процесу і типових схем обробки поверхонь

Операція 005 – заготівельна

На першому етапі технологічного процесу виконується заготівельна операція. Її призначення полягає в отриманні заготовки необхідної довжини з круглого прокату сталі 40Х для подальшої механічної обробки вала гідроциліндра.

Як обладнання для виконання цієї операції застосовується стрічкопильний верстат Pilous ARG 220 Plus. Цей верстат забезпечує рівномірне та точне відрізання металевого прокату, зменшує втрати матеріалу, дає змогу отримати якісний торець заготовки та підвищує продуктивність заготівельних робіт.

Зміст операції полягає у відрізанні заготовки довжиною 950 мм. Перед різанням прокат установлюють і надійно закріплюють у затискному пристрої верстата, після чого виконують відрізання відповідно до заданого розміру. Отримана заготовка надалі передається на наступні операції технологічного процесу.

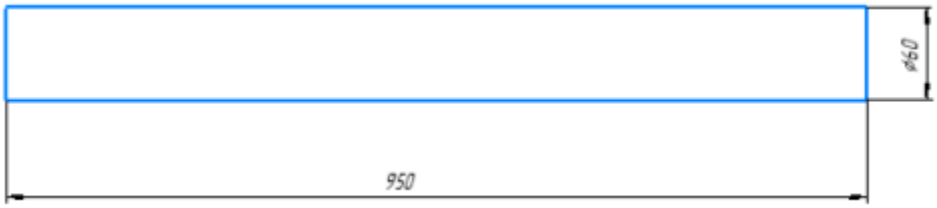


Рисунок 2.18 – Операція 005, заготівельна

Операція 010 – фрезерно-центрувальна

Після отримання заготовки виконується фрезерно-центрувальна операція. Її призначення полягає у підготовці торцевих поверхонь заготовки та формуванні

центрових отворів, які надалі використовуються для базування деталі під час токарної обробки.

Для виконання операції застосовується фрезерно-центрувальний верстат EM535M. Як різальний інструмент використовуються фреза DIN 1834 210105 0003 та центрувально-свердлильний інструмент HSS/Co5 1001010125.

Зміст операції: 10.01 – нарізання центрових отворів.

Під час виконання переходу заготовку встановлюють у пристрій верстата, надійно закріплюють, обробляють одну торцеву поверхню та виконують центровий отвір. Після цього заготовку знімають, перевертають, повторно встановлюють і закріплюють для обробки протилежного торця. Така послідовність забезпечує правильне формування центрових отворів з обох боків заготовки.

Центрові отвори необхідні для точного базування деталі під час подальших токарних операцій. Їх наявність забезпечує співвісність оброблюваних поверхонь, зменшує похибки встановлення та сприяє отриманню необхідної точності форми й розмірів вала гідроциліндра.

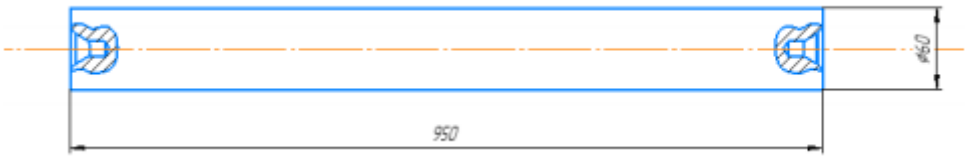


Рисунок 2.19 – Операція 010, фрезерно-центрувальна

На рисунку 2.19 показано виконання фрезерно-центрувальної операції, під час якої здійснюється підготовка торців заготовки та формування центрових отворів. Ця операція є важливою для подальшого точного базування вала під час токарної обробки.

Операція 015 – токарна

Після виконання фрезерно-центрувальної операції заготовка передається на токарну обробку. Метою цієї операції є формування основних зовнішніх циліндричних поверхонь вала гідроциліндра відповідно до розмірів, заданих на робочому кресленні.

Обладнання: токарний верстат середнього типорозміру 03 з патроном 6–12".

Різальний інструмент:

1. різець DIN 4951 301001 0010;
2. різець DIN 4952 301005 0010.

Зміст операції:

– 15.01 – точіння поверхонь діаметром 35, 50 та 55 мм.

На цьому переході виконують обробку зовнішніх циліндричних поверхонь заготовки до заданих діаметрів. Обробка забезпечує отримання необхідної форми, розмірів і підготовку поверхонь до наступних технологічних переходів.

– 15.02 – проточування фасок.

Після обробки основних діаметрів виконують проточування фасок. Це необхідно для усунення гострих крайок, полегшення подальшого складання деталі та підвищення її експлуатаційної надійності.

Під час виконання операції заготовку встановлюють, надійно закріплюють у патроні верстата, обробляють необхідні поверхні, після чого знімають, перевертають і повторно закріплюють для обробки протилежної частини. Така послідовність дозволяє виконати обробку вала з обох боків і забезпечити відповідність деталі вимогам креслення.

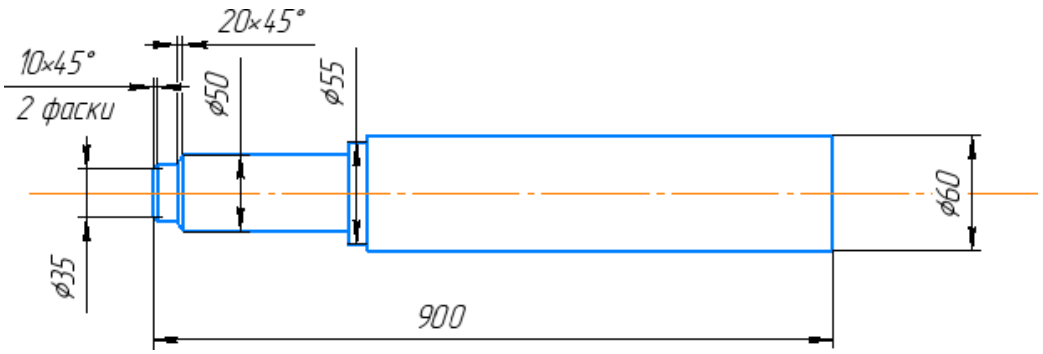


Рисунок 2.20 – Операція 015, токарна

На рисунку 2.20 наведено токарну операцію 015, під час якої виконують обробку основних циліндричних поверхонь вала гідроциліндра діаметром 35, 50 та 55 мм, а також проточування фасок. Ця операція забезпечує формування базових розмірів деталі та підготовку її до наступних переходів механічної обробки.

Операція 020 – токарна

Операція 020 є наступним етапом токарної обробки вала гідроциліндра. Її призначення полягає у формуванні додаткових циліндричних поверхонь меншого діаметра та обробці фасок відповідно до вимог робочого креслення.

Обладнання: токарний верстат середнього типорозміру 03 з патроном 6–12".

Різальний інструмент:

1. різець DIN 4951 301001 0010;
2. різець DIN 4952 301005 0010.

Зміст операції:

– 20.01 – точіння поверхонь діаметром 4 та 5 мм.

На цьому переході виконують обробку відповідних циліндричних ділянок заготовки до заданих розмірів. Точіння проводиться з урахуванням припусків, допусків і вимог до якості поверхні.

– 20.02 – проточування фасок.

Після обробки діаметрів виконують формування фасок. Це необхідно для зняття гострих крайок, полегшення складання деталі з іншими елементами гідроциліндра та зменшення ризику пошкодження ущільнень під час експлуатації.

Під час виконання операції заготовку встановлюють у патрон токарного верстата, надійно закріплюють, виконують необхідні переходи, після чого деталь знімають і передають на наступну технологічну операцію.

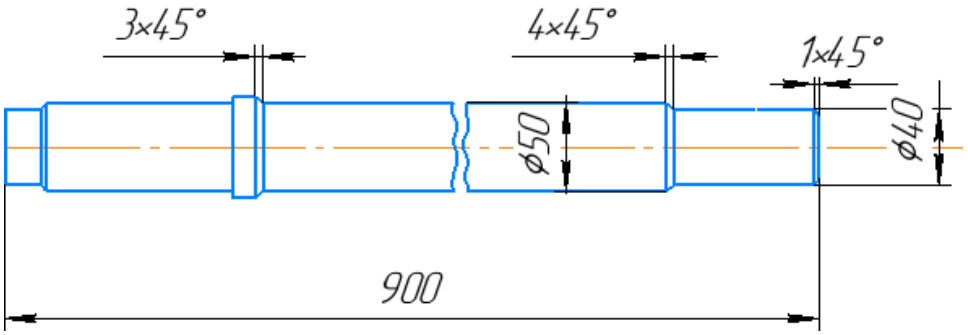


Рисунок 2.21 – Операція 020, токарна

На рисунку 2.21 показано виконання токарної операції 020, під час якої здійснюється обробка циліндричних поверхонь діаметром 4 та 5 мм, а також проточування фасок. Ця операція забезпечує підготовку окремих конструктивних елементів вала гідроциліндра до подальшої механічної обробки.

Операція 025 – токарна

Операція 025 передбачає виконання токарної обробки, пов’язаної з формуванням канавок на поверхні деталі. Канавки необхідні для забезпечення конструктивних вимог вала, встановлення спряжених елементів або виконання функціональних поверхонь відповідно до робочого креслення.

Обладнання: токарний верстат середнього типорозміру 03 з патроном 6–12".

Різальний інструмент: різець DIN 4961 301030 0010.

Зміст операції: 25.01 – нарізання канавок товщиною 4 мм.

На цьому переході заготовку встановлюють у патрон токарного верстата, надійно закріплюють і виконують прорізання канавок заданої ширини. Обробку проводять із дотриманням розмірів, зазначених на кресленні, та з урахуванням вимог до точності й якості поверхні.

Після завершення обробки деталь знімають із верстата та передають на наступну операцію технологічного процесу.

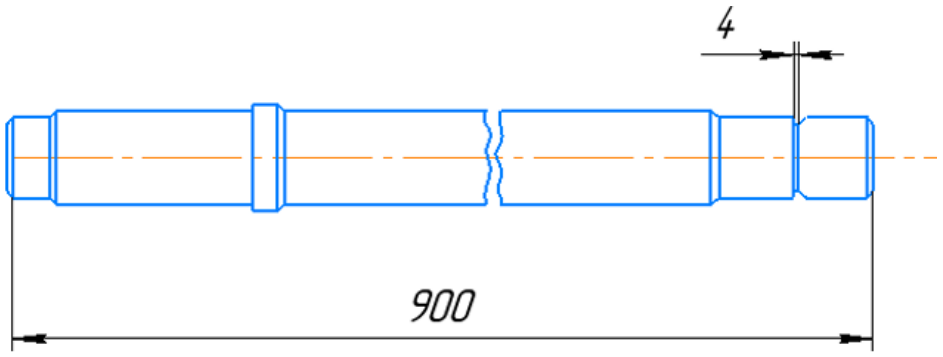


Рисунок 2.22 – Операція 025, токарна

На рисунку 2.22 наведено виконання токарної операції 025, під час якої на поверхні вала формують канавки шириною 4 мм. Ця операція необхідна для створення конструктивних елементів деталі, передбачених кресленням, а також для забезпечення правильної роботи спряжених вузлів.

Операція 030 – фрезерна

Операція 030 передбачає фрезерну обробку деталі. Її виконують з метою формування лиски, яка необхідна для забезпечення правильного встановлення деталі, зручності монтажу або фіксації під час експлуатації.

Обладнання: фрезерний верстат 61.

Різальний інструмент: фреза VHM35/38 254134 0050.

Зміст операції полягає у фрезеруванні лиски довжиною 20 мм і шириною 30 мм. Під час виконання переходу деталь установлюють на верстаті, надійно закріплюють, після чого виконують обробку плоскої поверхні відповідно до заданих розмірів. По завершенні фрезерування деталь знімають і передають на наступну стадію технологічного процесу.

Формування лиски є важливим етапом механічної обробки, оскільки ця поверхня може виконувати функцію базування, запобігати провертанню деталі або забезпечувати зручність взаємодії з іншими елементами конструкції.

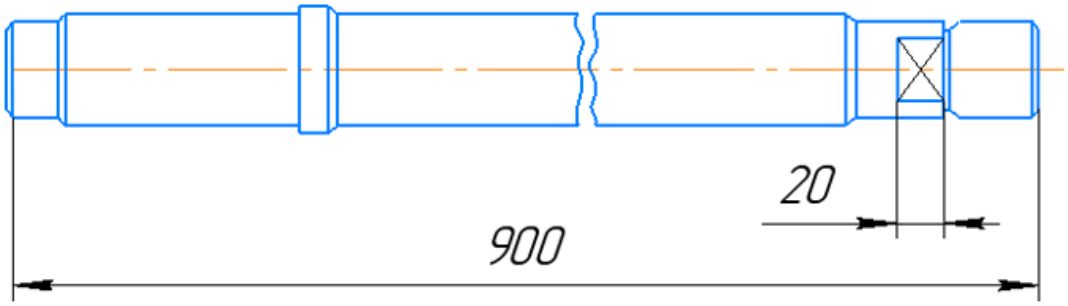


Рисунок 2.23 – Операція 030, фрезерна

Операція 035 – токарна

Операція 035 передбачає виконання токарної обробки, пов’язаної з нарізанням метричної різьби на відповідній ділянці вала гідроциліндра. Різьбова поверхня необхідна для подальшого з’єднання деталі з іншими елементами конструкції, забезпечення надійної фіксації та передавання робочих зусиль під час експлуатації.

Обладнання: токарний верстат середнього типорозміру 03 з патроном 6–12".

Різальний інструмент: різець DIN 4955 301020 0010.

Зміст операції полягає у нарізанні метричної різьби діаметром 4 мм з кроком 1,5 мм. Перед початком обробки деталь установлюють у патрон токарного верстата, надійно закріплюють і перевіряють правильність її базування. Після цього виконують нарізання різьби відповідно до заданих параметрів. За потреби деталь знімають, перевертають і повторно закріплюють для обробки протилежної або суміжної ділянки.

Після завершення операції перевіряють якість різьбової поверхні, відповідність діаметра та кроку різьби вимогам креслення, а також відсутність задирок і пошкоджень. Виконання цієї операції забезпечує готовність різьбової ділянки до подальшого складання вала гідроциліндра з іншими деталями вузла.

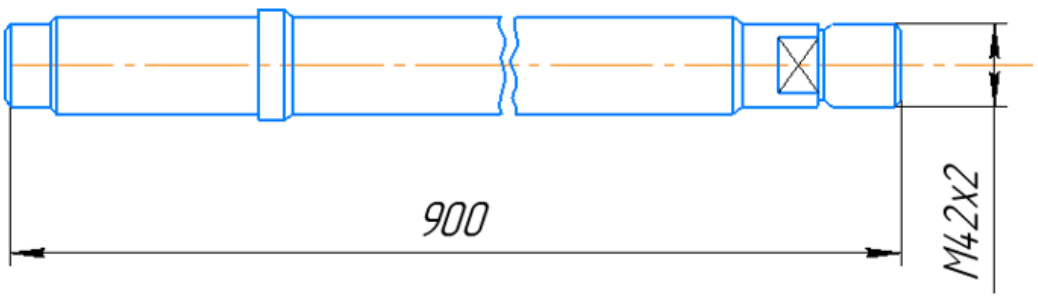


Рисунок 2.24 – Операція 035, токарна

На рисунку 2.24 наведено виконання токарної операції 035, під час якої на відповідній ділянці вала гідроциліндра нарізають метричну різьбу діаметром 4 мм з

кроком 1,5 мм. Ця різьба необхідна для подальшого з’єднання деталі з іншими елементами вузла та забезпечення її надійної фіксації.

Операція 040 – токарна

Операція 040 також належить до токарних операцій і передбачає нарізання метричної різьби на іншій ділянці деталі. Її виконання забезпечує формування різьбового елемента відповідно до вимог робочого креслення.

Обладнання: токарний верстат середнього типорозміру 03 з патроном 6–12".

Різальний інструмент: різець DIN 4945 301420 0015.

Зміст операції полягає у нарізанні метричної різьби діаметром 3 мм з кроком 1,5 мм. Перед початком обробки деталь установлюють у патрон верстата, надійно закріплюють і перевіряють правильність базування. Після цього виконують нарізання різьби із дотриманням заданих параметрів.

Після завершення операції деталь знімають із верстата та здійснюють контроль якості різьбової поверхні. Перевіряють відповідність діаметра, кроку різьби, чистоту профілю та відсутність задирок. Якісне виконання цієї операції забезпечує надійність майбутнього різьбового з’єднання та правильну роботу деталі у складі гідроциліндра.

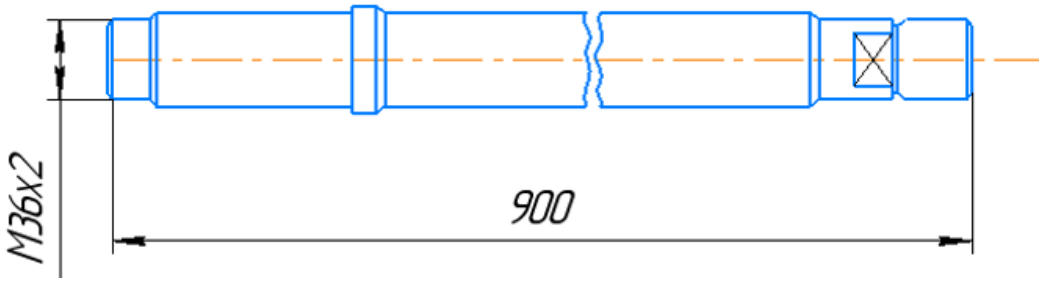


Рисунок 2.25 – Операція 040, токарна

На рисунку 2.25 показано виконання токарної операції 040, під час якої на валу гідроциліндра нарізають метричну різьбу діаметром 3 мм з кроком 1,5 мм. Ця операція забезпечує формування різьбової поверхні, необхідної для подальшого складання та фіксації деталі у вузлі.

Операція 045 – термічна

Операція 045 передбачає термічну обробку вала гідроциліндра. Її основне призначення – підвищення твердості, міцності та зносостійкості деталі після виконання основних операцій механічної обробки.

Обладнання: станок для термообробки MS 2540.

Зміст операції полягає у загартуванні деталі до твердості 50 HRC. Перед початком термічної обробки вал установлюють у робочу зону обладнання, надійно фіксують і виконують нагрівання до необхідної температури згідно з режимом обробки для сталі 40Х. Після витримки при заданій температурі деталь охолоджують у відповідному середовищі, що забезпечує утворення необхідної структури металу та досягнення заданої твердості.

Після завершення загартування деталь знімають з обладнання та контролюють твердість робочих поверхонь. Досягнення твердості 50 HRC дає змогу підвищити опір зношуванню, збільшити ресурс роботи вала та забезпечити його надійність у складі гідроциліндра.

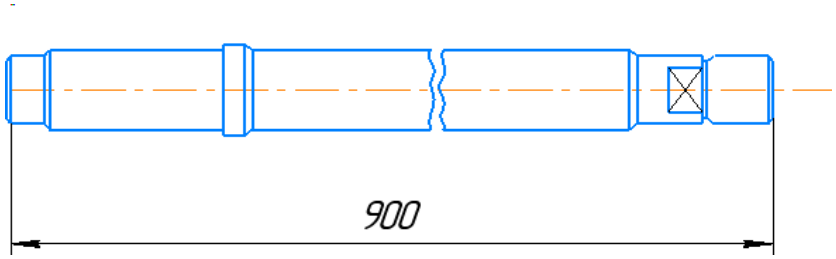


Рисунок 2.26 – Операція 045, термічна

Операція 050 – фрезерно-центрувальна

Операція 050 виконується після термічної обробки деталі й призначена для відновлення технологічних баз, а також для підготовки заготовки до подальших високоточних операцій механічної обробки. На цьому етапі забезпечується обробка торцевої поверхні та оновлення центрових отворів, що дає змогу зберегти точність установлення деталі на наступних переходах.

Обладнання: фрезерно-центрувальний верстат EM535M.

Різальний інструмент: фреза DIN 1834 210105 0003, центрувально-свердлильний інструмент HSS/Co5 1001010125.

Зміст операції:

– 50.01 – шліфування торця діаметром 90 мм.

На цьому переході виконують обробку торцевої поверхні деталі діаметром 90 мм. Така обробка необхідна для усунення можливих деформацій, що могли виникнути після термічного впливу, а також для забезпечення точності базування та належної якості поверхні.

– 50.02 – оновлення центрових отворів.

Після обробки торця виконують відновлення центрових отворів. Це дозволяє повернути їм потрібну геометрію та забезпечити точне встановлення вала під час подальшої токарної або шліфувальної обробки.

Під час виконання операції деталь установлюють на верстат, надійно закріплюють, проводять необхідні переходи, після чого знімають і передають на наступну операцію технологічного процесу.

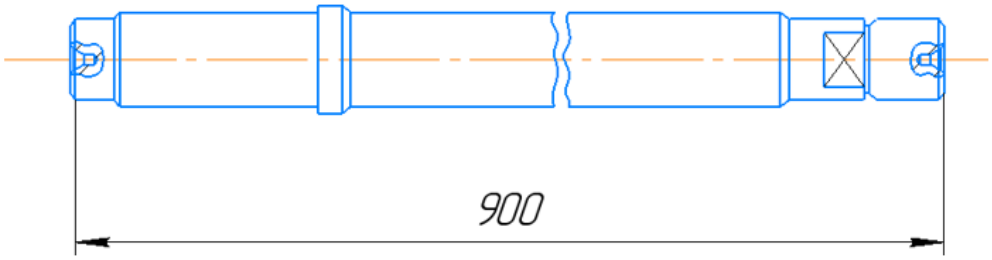


Рисунок 2.27 – Операція 050, фрезерно-центрувальна

На рисунку 2.27 наведено виконання фрезерно-центрувальної операції 050, під час якої після термічної обробки здійснюється обробка торцевої поверхні діаметром 90 мм та оновлення центрових отворів. Ця операція необхідна для відновлення технологічних баз і забезпечення точного встановлення деталі на наступних етапах обробки.

Операція 055 – шліфувальна

Операція 055 передбачає шліфування робочої поверхні вала гідроциліндра. Її основне призначення – отримання необхідної точності розміру, форми та якості поверхні після попередньої механічної й термічної обробки.

Обладнання: верстат 61.

Різальний інструмент: фреза / шліфувальний інструмент SNX1246 262555 0050.

Зміст операції полягає у шліфуванні поверхні діаметром 45 мм. Перед початком обробки деталь установлюють на верстат, надійно закріплюють і перевіряють правильність базування. Після цього виконують обробку заданої поверхні до необхідного розміру та якості.

Шліфування дозволяє зменшити шорсткість поверхні, усунути незначні відхилення форми після термічної обробки та забезпечити точність, необхідну для роботи вала у складі гідроциліндра. Особливо важливою є якість цієї поверхні, оскільки вона може контактувати з ущільнювальними елементами та впливати на герметичність і ресурс роботи вузла.

Після завершення операції деталь знімають із верстата та передають на контроль або наступну технологічну операцію.

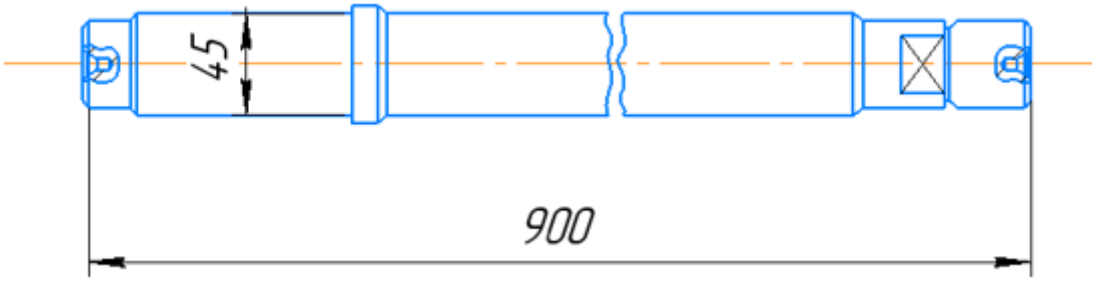


Рисунок 2.28 – Операція 055, шліфування

На рисунку 2.28 показано виконання шліфувальної операції 055, під час якої обробляється поверхня вала гідроциліндра діаметром 45 мм. Шліфування забезпечує підвищення точності розміру, зменшення шорсткості та покращення якості робочої поверхні після попередньої механічної й термічної обробки.

Операція 060 – промивка

Операція 060 є завершальною допоміжною операцією технологічного процесу. Її призначення полягає в очищенні деталі від залишків стружки, абразивного пилу, мастильно-охолоджувальної рідини та інших забруднень, що утворилися під час попередніх операцій механічної обробки.

Обладнання: промивальний стіл.

Зміст операції полягає у промиванні деталі після шліфування. Перед початком очищення вал установлюють на промивальному столі, за потреби фіксують, після чого ретельно очищують усі поверхні, канавки, різьбові ділянки та торці. Особливу увагу необхідно приділити місцям, де можуть залишатися частинки стружки або абразиву, оскільки їх наявність може негативно вплинути на подальше складання та роботу гідроциліндра.

Після промивання деталь знімають, висушують і передають на контроль якості. Виконання цієї операції забезпечує чистоту поверхонь, підвищує надійність подальшого складання та зменшує ризик пошкодження ущільнень або спряжених деталей під час експлуатації.

Таблиця 2.1 – Використаний інструмент

Інструмент	Назва	Інд.номер	Ціна, грн
Біметалічна стрічкова пила	SANDFLEX King Cob ra ™PHG™ 34	3854	342

Фреза	Din	1834 2101050003	754
Різець	Din	4951 3010010010	125
	Din	4952 3010050010	130
	Din	4951 3010010010	127
	Din	4952 3010050010	110
	Din	1834 2101050003	120
Фреза	SNX	SNX12462625550050	549
	Din	1834 2101050003	489
	SNX	SNX12462625550050	499
		Сума:	2903

Розглянуто технологічний процес виготовлення вала гідроциліндра. Під час виконання роботи проаналізовано робоче креслення деталі, визначено основні конструктивні елементи, вимоги до точності, шорсткості, допусків форми та розміщення поверхонь.

Для виготовлення деталі обґрунтовано вибір матеріалу – сталі 40Х, яка має достатню міцність, твердість і зносостійкість для роботи в умовах навантажень, характерних для гідроциліндра. Також було визначено основні механічні властивості матеріалу та його придатність до механічної й термічної обробки.

У процесі розроблення технологічного маршруту було послідовно описано основні операції виготовлення деталі: заготівельну, фрезерно-центрувальну, токарну, фрезерну, термічну, шліфувальну та промивальну. Для кожної операції підібрано відповідне обладнання, різальний інструмент і визначено зміст виконуваних переходів.

Особливу увагу приділено операціям термічної обробки та шліфування, оскільки саме вони забезпечують необхідну твердість, точність розмірів і якість робочих поверхонь вала. Це має важливе значення для подальшої надійної роботи деталі у складі гідроциліндра.

У результаті виконання розділу було сформовано послідовний технологічний процес виготовлення вала гідроциліндра, підібрано необхідне обладнання та інструмент, а також наведено їх у відповідній таблиці. Запропонований технологічний процес забезпечує виготовлення деталі з дотриманням вимог креслення, необхідної точності та експлуатаційної надійності.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні вимоги охорони праці під час експлуатації мобільної підйомної техніки

Охорона праці під час експлуатації мобільної підйомної техніки має важливе значення, оскільки робота таких машин пов’язана з підніманням працівників на висоту, використанням гідравлічних і електричних систем, переміщенням робочої платформи та можливістю виникнення небезпечних режимів. Основними завданнями охорони праці є запобігання травматизму, забезпечення безпечних умов роботи, правильна організація робочого місця та контроль технічного стану обладнання.

Загальні правові та організаційні засади охорони праці в Україні визначає Закон України «Про охорону праці» [9]. Під час експлуатації підіймального обладнання необхідно також дотримуватися НПАОП 0.00-1.80-18, який регламентує правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання [10]. Цей документ має статус чинного нормативного акта, а дата початку його дії – 10.04.2018.

Оскільки мобільна підйомна техніка використовується для виконання робіт на висоті, необхідно враховувати вимоги НПАОП 0.00-1.15-07. Ці правила встановлюють єдиний порядок організації та виконання робіт на висоті з метою забезпечення безпеки працівників [11]. У документі зазначено, що до виконання робіт на висоті допускаються особи, які пройшли відповідну підготовку та відповідають установленим вимогам.

До роботи з мобільною підйомною технікою допускаються працівники, які пройшли навчання, інструктаж з охорони праці, перевірку знань, медичний огляд і мають практичні навички керування відповідним обладнанням. Оператор повинен знати будову машини, призначення органів керування, порядок підготовки до роботи, правила дій у разі аварійної ситуації та вимоги до безпечного перебування на робочій платформі.

3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації мобільної підйомної техніки можуть виникати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- падіння працівника з висоти;
- падіння інструментів або матеріалів із платформи;
- перекидання машини через втрату стійкості;
- защемлення частин тіла рухомими елементами;

- ураження електричним струмом;
- розрив гідравлічних рукавів;
- самовільне опускання платформи;
- перевантаження робочої платформи;
- помилкове вмикання механізмів;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- робота за недостатнього освітлення;
- робота в умовах сильного вітру, опадів або ожеледиці;
- недостатня міцність або нерівність опорної поверхні.

Найбільш небезпечним фактором є втрата стійкості машини. Вона може бути спричинена перевищенням допустимого навантаження, неправильним установленням опор, роботою на слабкому ґрунті, великим боковим вильотом платформи або різкими рухами підйомного механізму. Тому перед початком роботи необхідно перевірити стан опорної поверхні, справність гідравлічних опор, положення шасі, справність датчиків нахилу та працездатність аварійних пристроїв.

Падіння працівника з висоти є одним із найсерйозніших ризиків під час експлуатації підйомної техніки. Для його запобігання робоча платформа повинна мати справне огородження, неслизьку підлогу, захисні борти та місця для кріплення засобів індивідуального захисту. Працівник повинен використовувати каску, спецодяг, захисне взуття та, за потреби, страхувальну систему.

3.3 Вимоги безпеки до модуля автоматичного позиціонування

Модуль автоматичного позиціонування платформи повинен не лише підвищувати точність керування, а й виконувати функцію додаткового засобу безпеки. Його завдання полягає у контролі фактичного положення платформи, виявленні небезпечних відхилень і запобіганні діям, які можуть спричинити аварійну ситуацію.

До основних вимог безпеки модуля належать:

- контроль кута нахилу платформи;
- контроль положення опор;
- контроль допустимого навантаження;
- блокування руху при несправності датчиків;
- блокування підйому при неправильному встановленні опор;
- наявність аварійного вимикача;

– можливість переходу в ручний режим керування;

– світлова та звукова сигналізація про небезпечний режим;

– захист електронного блока від пилу, вологи та механічних пошкоджень;

– захист електричних кіл від короткого замикання;

– плавне керування гідравлічними виконавчими механізмами.

Електрична частина модуля повинна відповідати загальним вимогам до електрообладнання машин. Для цього доцільно враховувати положення ДСТУ EN 60204-1:2019, який стосується електрообладнання машин [13]. Система аварійного зупинення повинна відповідати принципам, визначеним ДСТУ EN ISO 13850:2016 [15]. Деталі систем керування, пов’язані з безпекою, доцільно проєктувати з урахуванням ДСТУ EN ISO 13849-1:2016 [14].

Автоматичний модуль не повинен повністю замінювати оператора. Його призначення – допомагати оператору, попереджати небезпечні режими, зменшувати ризик помилки та забезпечувати додатковий контроль. У разі відмови електронного блока повинна бути передбачена можливість безпечного опускання платформи в ручному або аварійному режимі.

3.4 Організація безпечного виконання робіт

Перед початком роботи оператор повинен провести зовнішній огляд машини. Перевіряють стан шасі, підйомного механізму, робочої платформи, огороджень, гідравлічних рукавів, електричних кабелів, органів керування, аварійного вимикача, датчиків і сигнальних пристроїв. Особливу увагу слід приділяти справності опорної системи, оскільки неправильне встановлення машини є однією з основних причин втрати стійкості.

Майданчик для роботи повинен бути рівним, достатньо міцним, очищеним від сторонніх предметів і захищеним від доступу сторонніх осіб. Забороняється встановлювати мобільну підйомну техніку на слабкому ґрунті, біля краю котлованів, на нестійких настилах або на поверхні з ухилом, який перевищує допустиме значення.

Під час виконання робіт оператор і працівники на платформі повинні дотримуватися таких вимог:

– не перевищувати допустиму вантажопідйомність платформи;

– не використовувати платформу як вантажопідіймальний кран, якщо це не передбачено конструкцією;

– не встановлювати на платформі драбини, підставки або інші додаткові опори;

– не виконувати роботи при несправній сигналізації;

– не залишати підняту платформу без нагляду;

– не працювати під час сильного вітру, грози, ожеледиці або поганої видимості;

– не перебувати під піднятою платформою;

– використовувати засоби індивідуального захисту.

Після завершення роботи платформу необхідно опустити в транспортне положення, вимкнути привід, перевірити відсутність пошкоджень, очистити робочу зону та зробити відповідний запис у журналі огляду технічного стану обладнання.

3.5 Заходи безпеки під час технічного обслуговування

Технічне обслуговування мобільної підйомної техніки та модуля автоматичного позиціонування повинно виконуватися лише після повної зупинки машини, вимкнення живлення та фіксації платформи у безпечному положенні. Забороняється проводити ремонт електричних з’єднань, регулювання датчиків або заміну гідравлічних елементів під час роботи системи.

Під час технічного обслуговування необхідно перевіряти:

– надійність кріплення датчиків;

– цілісність електричних кабелів;

– герметичність гідравлічних з’єднань;

– правильність калібрування датчика нахилу;

– працездатність аварійного вимикача;

– справність світлової та звукової сигналізації;

– відповідність показників системи фактичному положенню платформи;

– відсутність механічних пошкоджень корпусу електронного блока.

Періодичність оглядів і технічного обслуговування повинна встановлюватися відповідно до інструкції виробника та вимог нормативних документів. Питання огляду, технічного обслуговування та експлуатації мобільних підйомних робочих платформ регламентуються ДСТУ ISO 18893:2007 та ISO 18893:2014 [3; 5].

Розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які виникають під час експлуатації мобільної підйомної техніки з модулем автоматичного позиціонування

платформи. Встановлено, що найбільш небезпечними є падіння працівника з висоти, перекидання машини, перевантаження платформи, несправність гідравлічної системи, ураження електричним струмом і помилкові дії оператора.

Запропонований модуль автоматичного позиціонування підвищує рівень безпеки, оскільки забезпечує контроль нахилу, положення платформи, стану опор і допустимих режимів роботи. Для безпечної експлуатації необхідно дотримуватися вимог чинного законодавства України, правил охорони праці під час виконання робіт на висоті, правил експлуатації підіймального обладнання та стандартів щодо мобільних підйомних робочих платформ [1; 4; 9; 10; 11].

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічне обґрунтування розробки модуля автоматичного позиціонування платформи

Техніко-економічна оцінка розробки виконується з метою визначення доцільності впровадження модуля автоматичного позиціонування платформи мобільного крана. Запропонована система призначена для автоматичного вирівнювання платформи відносно горизонту, контролю положення виносних опор, тиску в гідравлічній системі та навантаження на осі машини. У наданих матеріалах зазначено, що впровадження такого модуля дає змогу скоротити час підготовки техніки до роботи, підвищити точність позиціонування, зменшити кількість помилок оператора, покращити стійкість машини та підвищити безпеку виконання вантажопідіймальних операцій .

Економічний ефект від використання модуля автоматичного позиціонування формується за рахунок:

- скорочення часу встановлення крана на виносні опори;
- зменшення простоїв під час підготовки до роботи;
- підвищення продуктивності виконання вантажопідіймальних операцій;
- зниження навантаження на оператора;
- зменшення ризику аварійних ситуацій через неправильне вирівнювання платформи;
- зменшення витрат на усунення наслідків помилок керування;
- підвищення ресурсу гідравлічних і конструктивних елементів завдяки більш плавному й точному керуванню.

У конструктивно-технологічному розділі для реалізації автоматичного позиціонування передбачено використання контролера, датчиків тиску, датчика нахилу, датчика навантаження на вісь, електрогідравлічних розподільників, джерела живлення, панелі керування та виконавчих гідравлічних елементів. Контролер приймає сигнали від датчиків нахилу, тиску та навантаження, обробляє їх за заданою програмою і формує керуючі сигнали для електрогідравлічних розподільників .

4.2 Вихідні дані для економічного розрахунку

Для виконання розрахунку приймаємо, що модуль автоматичного позиціонування встановлюється на мобільний кран типу КС-3575А або аналогічну мобільну підйомну техніку з гідравлічними виносними опорами. Основний економічний результат очікується

за рахунок скорочення часу встановлення крана на опори та вирівнювання платформи.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для економічного розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Середній час ручного встановлення платформи, год	t_1	0,30
Середній час автоматичного встановлення платформи, год	t_2	0,13
Економія часу на одному встановленні, год	Δt	0,17
Кількість робочих днів на рік	D	240
Середня кількість встановлень крана за день	n	2
Річна кількість встановлень	N	480
Вартість 1 машино-години роботи крана, грн/год	$C_{\text{мг}}$	1200
Додаткові річні витрати на обслуговування модуля, грн	$C_{\text{обсл}}$	3312

Річна кількість встановлень крана визначається за формулою:

$$N = D \cdot n \tag{4.1}$$

де D – кількість робочих днів на рік;

n – кількість встановлень крана за день.

$$N = 240 \cdot 2 = 480 \text{ встановлень}$$

Економія часу на одному встановленні:

$$\Delta t = t_1 - t_2 \tag{4.2}$$

$$\Delta t = 0{,}30 - 0{,}13 = 0{,}17 \text{ год}$$

Річна економія робочого часу:

$$\mathrm{T}_{\text{ек}} = N \cdot \Delta t \tag{4.3}$$

$$\mathrm{T}_{\text{ек}} = 480 \cdot 0{,}17 = 81{,}6 \text{ год}$$

Отже, завдяки автоматизації процесу встановлення платформи річна економія часу становить 81,6 машино-години.

4.3 Розрахунок вартості виготовлення та впровадження модуля

Вартість виготовлення модуля автоматичного позиціонування складається з витрат на придбання комплектуючих, монтажних матеріалів, оплату праці під час складання, програмування й налагодження, а також накладних витрат.

Загальна вартість комплектуючих визначається за формулою:

$$C_к = \sum_{i=1}^{m} C_i \cdot q_i \quad (4.4)$$

де C_i – ціна одиниці комплектуючого елемента, грн;

q_i – кількість елементів, шт.;

m – кількість найменувань комплектуючих.

Таблиця 4.2 – Орієнтовна вартість комплектуючих модуля автоматичного позиціонування

№	Найменування елемента	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Датчик тиску DSP-01	4	2400	9600
2	Контролер на базі Atmel ATmega16	1	3500	3500
3	Датчик нахилу KY-017 / інклінометр	1	500	500
4	Датчик навантаження на вісь DDE-08	2	2200	4400
5	Електрогідравлічні розподільники	6	3200	19200
6	Підсилювачі та релейні модулі	1 компл.	2800	2800
7	Панель керування	1	2400	2400
8	Джерело живлення	1	1500	1500
9	Кабелі, роз’єми, захисний корпус	1 компл.	3500	3500
10	Кріпильні та монтажні матеріали	1 компл.	4000	4000
	Разом			51400

Вартість комплектуючих становить: $C_к = 51400$ грн.

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо у розмірі 5 % від вартості комплектуючих:

$$C_{тз} = 0{,}05 \cdot C_к \quad (4.5)$$

$$С_{тз} = 0{,}05 \cdot 51400 = 2570 \text{ грн}$$

Витрати на оплату праці під час монтажу визначаються за формулою:

$$С_{зп.м} = Т_{м} \cdot С_{г.м} \quad (4.6)$$

де $Т_{м}$ – трудомісткість монтажу, год;

$С_{г.м}$ – годинна тарифна ставка монтажника, грн/год.

Приймаємо трудомісткість монтажу $T_{м} = 24$ год, годинну тарифну ставку $C_{г.м} = 120$ грн/год.

$$С_{зп.м} = 24 \cdot 120 = 2880 \text{ грн}$$

Витрати на програмування та налагодження:

$$С_{зп.п} = Т_{п} \cdot С_{г.п} \quad (4.7)$$

де $Т_{п}$ – трудомісткість програмування й налагодження, год;

$С_{г.п}$ – годинна ставка спеціаліста, грн/год.

Приймаємо $Т_{п} = 12$ год, $С_{г.п} = 150$ грн/год.

$$С_{зп.п} = 12 \cdot 150 = 1800 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальні заходи приймаємо у розмірі 22 % від заробітної плати:

$$С_{соц} = 0{,}22 \cdot С_{зп} \quad (4.8)$$

$$С_{соц} = 0{,}22 \cdot 4680 = 1029{,}6 \approx 1030 \text{ грн}$$

Накладні витрати приймаємо у розмірі 20 % від основної заробітної плати:

$$С_{н} = 0{,}20 \cdot С_{зп} \quad (4.9)$$

$$С_{н} = 0{,}20 \cdot 4680 = 936 \text{ грн}$$

Резерв на непередбачені витрати приймаємо у розмірі 10 % від суми основних витрат:

$$С_{р} = 0{,}10 \cdot (С_{к} + С_{тз} + С_{зп} + С_{соц} + С_{н}) \quad (4.10)$$

$$С_{р} = 0{,}10(51400 + 2570 + 4680 + 1030 + 936) = 6061{,}6 \approx 6062 \text{ грн}$$

Загальна вартість виготовлення та впровадження модуля:

$$С_{заг} = С_{к} + С_{тз} + С_{зп} + С_{соц} + С_{н} + С_{р} \quad (4.11)$$

$$С_{заг} = 51400 + 2570 + 4680 + 1030 + 936 + 6062 = 66678 \text{ грн}$$

Таблиця 4.3 – Кошторис витрат на виготовлення та впровадження модуля

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Вартість комплектуючих	51400
2	Транспортно-заготівельні витрати	2570
3	Заробітна плата за монтаж і налагодження	4680
4	Відрахування на соціальні заходи	1030
5	Накладні витрати	936
6	Резерв непередбачених витрат	6062
	Загальна вартість модуля	66678

Отже, орієнтовна вартість виготовлення та впровадження модуля автоматичного позиціонування платформи становить 66678 грн.

ВИСНОВОК

У дипломній роботі розглянуто питання підвищення експлуатаційних характеристик мобільної підйомної техніки шляхом розробки модуля автоматичного позиціонування платформи. Актуальність теми зумовлена тим, що мобільна підйомна техніка широко використовується під час будівельних, монтажних, ремонтних, комунальних і навантажувально-розвантажувальних робіт, а її ефективність значною мірою залежить від точності встановлення платформи, стійкості машини, швидкості підготовки до роботи та безпеки оператора.

У першому розділі було проаналізовано загальні особливості мобільної підйомної техніки, її основні експлуатаційні характеристики та умови роботи. Встановлено, що до найважливіших характеристик такої техніки належать робоча висота, вантажопідйомність, виліт робочого органу, швидкість підйому й опускання, точність позиціонування платформи, запас стійкості, надійність гідравлічної та електронної системи, а також рівень безпеки оператора. Показано, що підвищення цих характеристик можливе завдяки впровадженню автоматизованої системи контролю просторового положення платформи, яка забезпечує вимірювання кута нахилу, висоти підйому, положення опор, стану гідравлічного приводу та величини навантаження .

У роботі обґрунтовано необхідність застосування модуля автоматичного позиціонування платформи, оскільки традиційне ручне встановлення мобільної підйомної техніки значною мірою залежить від досвіду та уважності оператора. Під час експлуатації оператор одночасно контролює положення машини, кут нахилу, стан опор, навантаження, висоту підйому та безпеку виконання робіт. За таких умов зростає ймовірність помилок, особливо під час роботи на нерівних або похилих майданчиках. Запропонований модуль дозволяє скоротити час позиціонування крана, підвищити точність вирівнювання, зменшити навантаження на оператора та покращити безпеку навантажувально-розвантажувальних робіт .

У конструкторсько-технологічному розділі розглянуто гідравлічну систему мобільного крана КС-3575А на шасі автомобіля ЗІЛ-133ГЯ. Встановлено, що наявність гідравлічного приводу, виносних опор і стабілізувальних елементів створює необхідні передумови для впровадження автоматизованої системи вирівнювання платформи. Запропонований модуль автоматичного позиціонування містить датчик контролю тиску, підсилювач, джерело живлення, панель керування, контролер, датчик нахилу,

датчик навантаження на вісь, гідроциліндри, гідрозамки, гідроциліндр блокування підвіски, гідронасос і гідророзподільники з електрогідравлічним керуванням .

Принцип роботи розробленого модуля полягає в автоматичному зчитуванні сигналів від датчиків, аналізі фактичного положення платформи та формуванні керуючих команд для гідророзподільників. Після прибуття мобільної платформи до місця виконання робіт оператор подає команду на запуск автоматичного вирівнювання, після чого контролер обробляє інформацію про нахил платформи, тиск у гідросистемі та навантаження на вісь. На основі цих даних система визначає, які виносні опори необхідно висунути або втягнути для досягнення горизонтального положення платформи.

Особливе значення у роботі модуля мають гідрозамки та гідроциліндр блокування підвіски. Гідрозамки фіксують положення гідроциліндрів після завершення переміщення та запобігають самовільному опусканню або втягуванню опор під дією навантаження. Гідроциліндр блокування підвіски забезпечує стабілізацію ходової частини та зменшує вплив пружних елементів підвіски на точність позиціонування платформи. Після досягнення необхідного положення контролер порівнює показники датчика нахилу із заданим допустимим значенням і, якщо відхилення перебуває в межах норми, припиняє подачу керуючих сигналів, а положення платформи фіксується гідрозамками .

У розділі охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникати під час експлуатації мобільної підйомної техніки з модулем автоматичного позиціонування. До найбільш небезпечних факторів належать падіння працівника з висоти, перекидання машини, перевантаження платформи, несправність гідравлічної системи, ураження електричним струмом і помилкові дії оператора. Запропонований модуль підвищує рівень безпеки, оскільки забезпечує контроль нахилу, положення платформи, стану опор і допустимих режимів роботи .

У техніко-економічній частині було виконано розрахунок доцільності впровадження модуля автоматичного позиціонування платформи. Встановлено, що орієнтовна вартість виготовлення та впровадження модуля становить 66678 грн.

Таким чином, у дипломній роботі доведено, що впровадження модуля автоматичного позиціонування платформи є ефективним напрямом удосконалення мобільної підйомної техніки. Запропонована розробка забезпечує скорочення часу підготовки крана до роботи, підвищення точності вирівнювання платформи, зменшення

навантаження на оператора, підвищення стійкості машини та покращення безпеки виконання вантажопідіймальних операцій. Отримані технічні й економічні результати підтверджують доцільність практичного застосування модуля як під час модернізації наявної мобільної підйомної техніки, так і під час проєктування нових машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 280-1:2022. Мобільні підйомні робочі платформи. Частина 1. Проєктні розрахунки. Критерії стійкості. Конструкція. Безпека. Перевірки та випробування (EN 280-1:2022, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

2. ДСТУ EN 280-2:2022. Мобільні підйомні робочі платформи. Частина 2. Додаткові вимоги щодо безпеки вантажопідіймальних пристроїв на висувній підйомній конструкції та робочій платформі (EN 280-2:2022, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

3. ДСТУ ISO 18893:2007. Підйомники робочих платформ мобільні. Вимоги безпеки, огляди, технічне обслуговування і експлуатація (ISO 18893:2004, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 2007.

4. ISO 16368:2024. Mobile elevating work platforms – Design, calculations, safety requirements and test methods. Geneva : International Organization for Standardization, 2024.

5. ISO 18893:2014. Mobile elevating work platforms – Safety principles, inspection, maintenance and operation. Geneva : International Organization for Standardization, 2014.

6. ISO 18878:2013. Mobile elevating work platforms – Operator training. Geneva : International Organization for Standardization, 2013.

7. EN 280-1:2022. Mobile elevating work platforms – Part 1: Design calculations – Stability criteria – Construction – Safety – Examinations and tests. Brussels : European Committee for Standardization, 2022.

8. EN 280-2:2022. Mobile elevating work platforms – Part 2: Additional safety requirements for lifting appliances on the extending lifting structure and work platform. Brussels : European Committee for Standardization, 2022.

9. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 49. Ст. 668.

10. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання : наказ Міністерства соціальної політики України від 19.01.2018 № 62.

11. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті : наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 27.03.2007 № 62.

12. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проєктування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків (EN ISO 12100:2010, IDT ; ISO 12100:2010, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

13. Dynamic Characteristics for Leveling System of Mobile Elevating Work Platforms. International Journal of Electrical and Computer Engineering. 2013. Vol. 3, No. 1. P. 83–90.

14. Automatic hydraulic leveling system : Patent US5159989A. United States Patent and Trademark Office. Publ. 03.11.1992.

15. Підйомно-транспортні машини : підручник / за заг. ред. В. Ф. Яковенка. Київ : Либідь, 2019. 352 с.

16. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навч. посіб. / О. М. Герасименко, В. І. Кравчук, С. П. Бондар. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 312 с.

17. Машини для земляних, дорожніх і вантажопідіймальних робіт : навч. посіб. / М. І. Черновол, В. В. Аулін, С. В. Лисенко. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 284 с.

18. Системи автоматичного керування технічними об’єктами : навч. посіб. / В. П. Лисенко, А. О. Ладанюк, Р. М. Рудницький. Київ : НУБіП України, 2021. 268 с.

19. Будова і експлуатація вантажопідіймальних машин : навч. посіб. / І. М. Кузьменко, О. В. Савченко. Харків : ХНАДУ, 2017. 240 с.