

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ЦЕБРІЙ Вероніка Олексіївна

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ
ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ ПІДСИЛЮВАЧЕМ/ AUTOMATED CONTROL
SYSTEM OF THE ELECTRO-HYDRAULIC AMPLIFIER**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Випускна кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконала: студент групи АКІТ-41
В. О. Цебрій

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
"___" _____ 20__ р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2023

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

А. І. Сегін

"___"._____ 2022р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ЦЕБРІЙ Вероніці Олексіївні

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Система автоматизованого управління електрогідравлічним підсилювачем/
Automated control system of the electro-hydraulic amplifier
керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А. І.

затверджено наказом по університету від « 08 » грудня 2022 р. № 491

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

15 травня 2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Характеристика паливного насосу високого тиску дизельного двигуна.
2. Задані технічні характеристики електрогідравлічного підсилювача потужності.
3. Вимоги до системи автоматичного управління електрогідравлічного підсилювача потужності
4. Вимоги до параметрів автоматичного регулювання

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Обґунтувати систему автоматичного регулювання електрогідравлічним підсилювачем потужності.
2. Розробити структуру та провести розрахунок параметрів системи автоматизованого управління електрогідравлічним підсилювачем потужності.
3. Дослідити розроблену систему автоматизованого управління та при необхідності здійснити корекцію її динамічних властивостей.
4. Описати заходи по охороні праці.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Конструкція електрогідравлічного підсилювача потужності типу «сопло-магніторідинна заслінка».

2. Загальна структура системи управління положенням рейки ПНВТ дизельного двигуна автомобіля.

3. Функціональна схема системи автоматичного регулювання електрогідравлічним підсилювачем потужності.

4. Електрична схема і логарифмічна характеристика коригуючого пристрою.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А. І.		
2	Сегін А. І.		
3	Сегін А. І.		
4	Сапожник Г. В.		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис роботи паливного насосу високого тиску та конструкції електрогідравлічного підсилювача	21.10.2022р. – 20.11.2023р.	виконано
2	Вибір структури, аналіз та розрахунок параметрів елементів системи автоматизованого управління	21.11.2022р. – 31.12.2022р.	виконано
3	Побудова, аналіз та розрахунок параметрів передавальної функції системи автоматичного регулювання електрогідравлічним підсилювачем потужності	1.01.2023р. – 31.03.2020р.	виконано
4	Охорона праці	1.04.2023р. – 30.04.2023р	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2023р. – 15.05.2023	виконано

Студент

Керівник роботи

Цебрій В.О.

Сегін А. І.

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 64 сторінках та містить 15 рисунків, 4 таблиці, 31 джерело за переліком посилань.

Мета роботи розробка системи автоматичного управління роботою електрогідравлічного підсилювача типу "сопло-магніторідина" заслінка паливоподачі дизельного двигуна автомобіля.

Методи дослідження. При виконанні дипломного проекту використано методи теорії автоматичного управління, математичного та комп'ютерного моделювання, системного аналізу.

Результати роботи: розроблено систему автоматизованого управління електрогідропідсилювача типу "сопло-магніторідина" заслінка паливоподачі дизельного двигуна автомобіля, який відрізняється простотою конструкції, надійністю в роботі та швидкодією, а також забезпечує щільне прилягання магніто-рідинної заслінки до сопла за рахунок своєї еластичної структури.

Рекомендації по використанню результатів роботи: розроблена система автоматизованого управління може використовуватись для контролю та керуванням роботи електрогідропідсилювача типу "сопло-магніторідина" заслінка в системі паливоподачі дизельного двигуна автомобіля та інших аналогічних об'єктах.

Можливі напрямки розвитку: розроблена система автоматизованого управління може бути адаптована для будь-яких типів та марок дизельних двигунів, що використовуються в автомобільному транспорті та інших промислових, транспортних чи інших об'єктах.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ, ПЕРЕДАВАЛЬНА ФУНКЦІЯ.

ABSTRACT

The work is made on 64 pages and contains 15 figures, 4 tables, 31 sources according to the list of references.

Purpose the work development of an automatic control system of an electro-hydraulic amplifier of the "nozzle-magnetofluid" type fuel supply valve of a diesel engine of a car.

Research methods. During the implementation of the diploma project, the methods of automatic control theory, mathematical and computer modeling, and system analysis were used.

The results of the work: a system of automated control of the electro-hydraulic booster of the type "nozzle-magnetofluid" fuel supply valve of a diesel engine of a car was developed, which is characterized by a simple design, reliability in operation and speed of operation, and also ensures a tight fit of the magneto-fluid valve to the nozzle due to its elastic structure.

Recommendations for using the results of the work: the developed automated control system can be used to control the electro-hydraulic booster of the "nozzle-magnetofluid" type fuel supply valve of a diesel engine of a car and other similar objects.

Possible directions of development: the developed automated control system can be adapted for any types and brands of diesel engines used in road transport and other industrial, transport or other objects.

Keywords: ELECTROHYDRAULIC POWER AMPLIFIER, AUTOMATED CONTROL SYSTEM, TRANSMISSION FUNCTION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ОПИС РОБОТИ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ ТА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПІДСИЛЮВАЧА	9
1.1 Регулятор частоти обертання колінчастого валу	9
1.2 Опис конструкції електрогідрравлічного підсилювача.....	12
1.3 Схеми управління електрогідрравлічним підсилювачем потужності...	14
2 ВИБІР СТРУКТУРИ, АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ.....	17
2.1 Порівняльний аналіз сучасних систем автоматичного регулювання..	17
2.2 Структура та розрахунок параметрів системи автоматизованого управління електрогідропідсилювачем.....	19
2.3 Вибір та розрахунок передавальної функції мікроконтролера.....	20
2.4 Вибір та розрахунок передавальної функції датчика переміщень.....	23
2.5 Вибір гідроциліндра та розрахунок його передавальної функції.....	24
2.6 Вибір електрогідропідсилювача "сопло-магніторідинна заслінка" та розрахунок її передавальної функції.....	27
3 ПОБУДОВА, АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ ПІДСИЛЮВАЧЕМ ПОТУЖНОСТІ.....	28
3.1 Аналіз способів розв'язання задач синтезу дискретних САР.....	28
3.2 Розрахунок передавальної функції системи автоматичного регулювання.....	29

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Цебрій В.О.			Система автоматизованого управління електрогідрравлічним підсилювачем	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сегін А.І.					6	73
Консульт.		Сапожнік Г.В.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

3.3 Побудова логарифмічної амплітудно-частотної та фазо-частотної характеристик системи та їх аналіз.....	34
3.4 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої системи.....	36
3.5 Синтез коригувальних ланок.....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	44
4.1 Характеристика приміщення.....	44
4.2 Метеорологічне забезпечення.....	45
4.3. Розрахунок освітлення.....	48
4.4. Забезпечення засобів захисту від вібрації.....	50
4.5. Забезпечення засобів захисту від вібрації.....	51
4.5 Електробезпека.....	51
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ВИОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
ДОДАТКИ.....	65

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час багато промислових систем автоматичного управління мають у своїй структурі елементи, принцип дії яких засновані на використанні основних законів гідравліки [1–8].

Центральним вузлом різних гідравлічних систем є гідравлічні підсилювачі, що виконують посилення сигналів і управління гідравлічними виконавчими механізмами [9–11].

Гідравлічний підсилювач являє собою слідкуючий силовий гідропривід, за допомогою якого веденій ланці (виконавчому двигуну) передаються рухи, узгоджені з певною точністю з переміщенням входу (органу управління) при необхідному підсиленні вихідної потужності (зусилля або моменту), яка одержується шляхом використання енергії рідини, що подається [8].

Електрогідравлічні підсилювачі потужності (ЕГПП) в електрогідравлічних системах автоматичного регулювання за допомогою мікропроцесора виконують функції сполучної ланки між електронним керуючим пристроєм і виконавчим гідравлічним механізмом. В даний час найбільшого поширення в гідроприводі набули три схеми ЕГПП: золотниковий, струминна трубка, сопло-заслінка [13].

У золотниковому ЕГПП силовий потік енергії розподіляється золотником на два напрямки [10]. Управління здійснюється двома електромагнітами з напругою U_1 і U_2 , або одним реверсивним магнітоелектричним соленоїдом. В даний час золотникові ЕГУМ практично не використовуються, але сам принцип розподілу силового потоку енергії за допомогою золотника в гідропідсилювачах зайняв домінуюче становище.

ЕГПП зі струминною трубкою [10] розподіляє силовий потік енергії шляхом радіального переміщення струминної трубки електромагнітами з напругою U_1 та U_2 . Перевагою є низька ймовірність засмічення гідравлічного тракту, оскільки прохідні перерізи значно перевищують подібні величини в інших підсилювачів.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ЕГПП «сопло–заслінка» [14] базується на перерозподілі силового потоку енергії між навантаженням і дренажними гідравлічними опорами сопло–заслінка, керованими електромагнітами з напругою U1 і U2.

З безлічі різноманітних підсилювачів одним з найпростіших і надійних є електрогідропідсилювач типу «сопло-магніторідина заслінка». Існує багато модифікацій виконавчих пристроїв типу сопло–заслінка, які в різних галузях машинобудування відрізняються не тільки технічними параметрами та призначенням, але також конструктивними формами та способами виконання.

У цій роботі проводиться дослідження ЕГП типу «сопло-магніторідина заслінка» через порівняно простоту виготовлення конструкції та регулювання, високої чутливості, швидкодії та значного ресурсу роботи в широкому діапазоні тиску та температур [14], та реалізується система автоматизованого управління цим ЕГПП.

Електрогідравлічний підсилювач типу «сопло–магніторідка заслінка» може застосовуватися як пристрій, що перетворює керуючий сигнал в пропорційний йому потік рідини і посилює його за потужністю для управління виконавчими механізмами.

Електрогідропідсилювач типу "сопло-магніторідина заслінка" можна застосовувати в системах автоматичного управління різного призначення, в найрізноманітніших галузях промисловості, на залізничному та автомобільному транспорті в авіації, зв'язку та будівництві.

Метою роботи є розробка системи автоматичного управління електрогідропідсилювача типу "сопло–магніторідина" заслінка паливоподачі дизельного двигуна автомобіля за допомогою, який відрізняється простотою конструкції, надійністю в роботі та швидкодією, а також забезпечує щільне прилягання магніторідинної заслінки до сопла за рахунок своєї еластичної структури. До нього можна підводити рідину з великим тиском подачі. У пристрої сопло-заслінка відсутні тертьові пари, що забезпечує його високу чутливість.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Проаналізувати типи та конструкції електрогідропідсилювачів.
2. Здійснити порівняльний аналіз сучасних систем автоматичного регулювання.
3. Обрати та обґрунтувати систему автоматичного регулювання електрогідрравлічним підсилювачем потужності.
4. Розробити структуру та провести розрахунок параметрів системи автоматизованого управління електрогідрравлічним підсилювачем потужності.
5. Дослідити розроблену систему автоматизованого управління та при необхідності здійснити корекцію її динамічних властивостей.
6. Описати заходи по охороні праці.

Об'єктом дослідження є система паливоподачі дизельного двигуна автомобіля з використанням електрогідрравлічного підсилювача потужності.

Предметом дослідження є системи автоматичного управління паливоподачі дизельного двигуна автомобіля за допомогою електрогідропідсилювача типу "сопло-магніторідинна заслінка".

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні системи автоматизованого управління електрогідрравлічним підсилювачем потужності типу "сопло-магніторідинна заслінка" в системі паливоподачі дизельного двигуна автомобіля.

Публікації.

Сегін А.І., Цебрій В. О., Когут І.Р. Система автоматичного регулювання роботи електрогідрравлічного підсилювача / Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ -2023), Тернопіль, 2023. – С. 72–77.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. ОПИС РОБОТИ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ ТА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

1.1 Регулятор частоти обертання колінчастого валу

Нормальна робота дизельного двигуна відбувається в певних межах частоти обертання колінчастого валу. При занадто малій частоті обертання двигун працює нестійко і може легко заглухнути, при занадто високій двигун може піти "врознос", і тоді з'явиться небезпека його руйнування [4].

Для кожного дизельного двигуна існує своя оптимальна частота обертання колінчастого валу, при якій він працює з найбільшою економічністю та мінімальним димленням. Щоб підтримувати цю частоту обертання при змінних навантаженнях двигуна під час руху автомобіля, регулятор повинен забезпечувати відповідну подачу палива, впливаючи на паливний насос високого тиску.

На сучасних автомобільних дизельних двигунах встановлюють здебільшого всережимні регулятори відцентрового типу.

Основним елементом регулятора є вантажі, закріплені на державці, що приводиться в дію зубчатою передачею від кулачкового валу насоса. При обертанні державки вантажі під впливом відцентрових сил розходяться і тиснуть на муфту, яка через систему важелів впливає на зубчасті рейки повороту плунжерів нагнітальних секцій. Працює регулятор наступним чином. При натисканні на важіль управління регулятором через пружину та проміжний важіль передається зусилля на рейки повороту плунжерів, які переміщують їх у бік збільшення подачі. Частота обертання колінчастого валу двигуна зростає до тих пір, поки відцентрові сили вантажів не врівноважать силу натягу пружини і не встановиться заданий швидкісний режим.

Кожному положенню важеля управління відповідає певна частота обертання колінчастого валу. Якщо навантаження на двигун при заданому

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

положенні важеля управління буде падати, то частота обертання колінчастого валу збільшується, і зростають відцентрові сили вантажів регулятора. Вони стають більше зусилля натягу пружини і переміщують рейки в сторону зменшення подачі – в результаті відновлюється частота обертання валу, задана важелем управління. При збільшенні навантаження частота обертання колінчастого валу двигуна і відцентрові сили вантажів падають, що викликає під дією щодо збільшеного зусилля пружини переміщення рейок в сторону збільшення подачі. Таким чином, підтримується заданий режим швидкості при зміні навантаження. Щоб змінити частоту обертання валу двигуна, необхідно натиснути на педаль управління подачею палива, через систему тяг і важелів.

Оскільки метою дипломного проекту є модернізація системи управління паливоподачею дизельного двигуна, то встановимо на двигун електрогідравлічний регулятор, що впливає на рейки паливного насосу високого тиску (ПНВТ).

1.2 Опис конструкції електрогідравлічного підсилювача

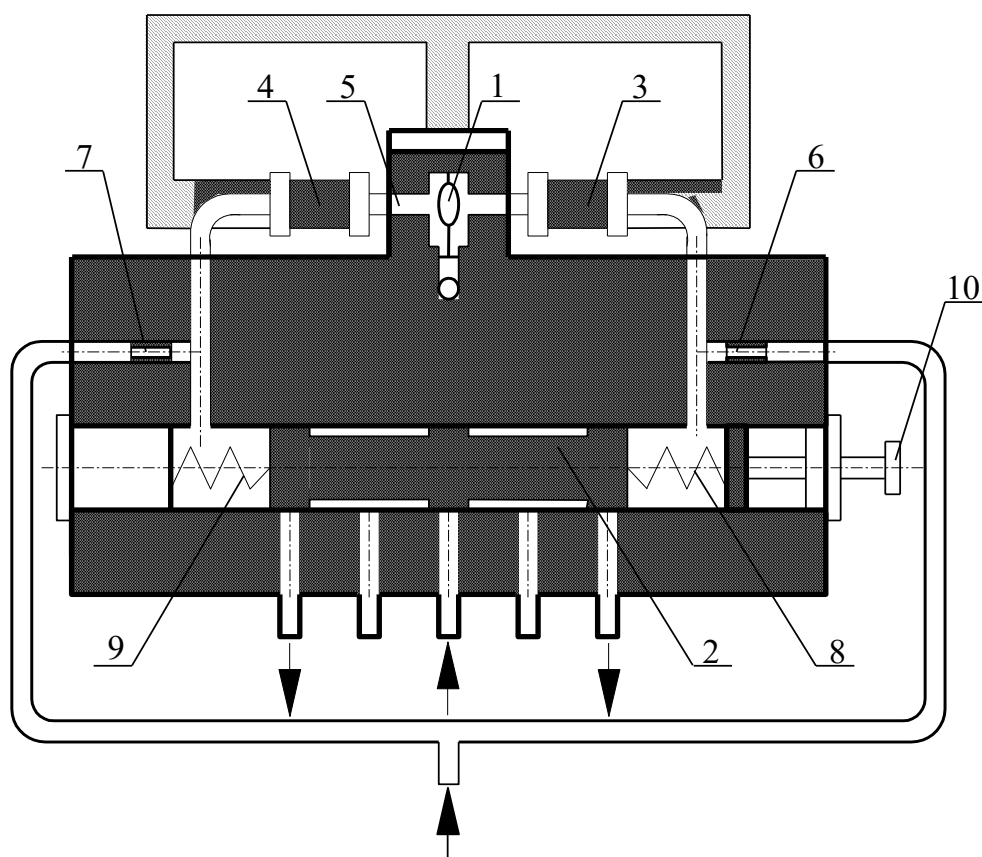
Гідропідсилювач – перетворювач типу «сопло – магніторідинна заслінка» разом з керуючим золотником складає гідравлічний виконавчий пристрій з дросельним регулюванням [3].

Схема електрогідропідсилювача – перетворювача типу «сопло–магніторідинна заслінка» представлена на рисунку 1.1.

Золотник являє собою гідравлічне виконавче пристрій з дросельним регулюванням другого каскаду посилення. Вхідними змінними другого каскаду буде розміщено керуючий золотник, а вихідними – витрата через дросельні вихідні щілини золотника.

Стабільність і лінійність характеристик забезпечуються не тільки значенням тиску харчування, але й окремими геометричними формами робочих органів гідропідсилювача.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



1 – заслінка; 2 – золотник; 3, 4 – катушки; 5 – сопло; 6,7 – дроселі;
8,9 – синхронізуючі пружини; 10 – регулювальний гвинт

Рисунок 1.1 – Конструкція електрогідравлічного підсилювача потужності типу «сопло – магніторідинна заслінка»

Електрогідропідсилювач складається з двох каскадів посилення перший каскад посилення, складається з витратної камери, двох сопел 5 і заслінки 1, виконаної у вигляді тонкостінної оболонки з еластичної маслостійкої резини, наповненої магнітною рідиною. Другий каскад включає золотник 2 з синхронізуючими пружинами 8, 9, які при відсутності керуючого сигналу утримують золотник в нейтральному положенні.

Електрогідропідсилювач містить постійні дроселі 6, 7 для зниження тиску в соплах. Для регулювання центрального положення золотника використовується регулювальний гвинт 10. Для управління заслонкою

						ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
							13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

використовуються катушки індуктивності з Ш образним магнітопроводом, які підключаються до джерела керуючої напруги.

Потік робочої рідини подається в електрогідропідсилювач потужності через два канали. В один канал в підсилювач подається керуючий потік робочої рідини до елемента "сопло–магніторідинна заслінка" через постійні дроселі 6 і 7.

При подачі на одну з катушок індуктивності керуючої напруги виникає електромагнітне поле, яке діє на магніторідинну заслінку, яка, притягуючись до торцевої частини сопла, змінює саме робочий зазор між заслінкою і соплом. В результаті цього ефекту виникає перепад тиску у міждросельних камерах і на торцях золотника, що призводить до його переміщення відносно центрального положення. Золотник переміщується, відкриває канал, з якого виробляє тиск навантаження і направляє його в один із двох вихідних каналів. Розхід робочої рідини в підсилювачі постійний, рідина виходить з електрогідропідсилювача потужності через зливні канали на керований золотниковий двигун.

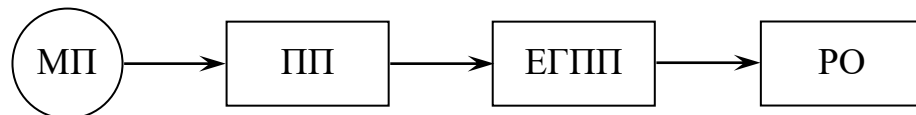
1.3 Схеми управління електрогідравлічним підсилювачем потужності

Електрогідравлічний підсилювач потужності типу "сопло–магніторідинна заслінка" може застосовуватися практично у всіх сферах застосування гідропідсилювачів, де потрібен підсилювач потужності. Величезний коефіцієнт посилення при малих розмірах даного підсилювача дозволяє застосовувати його в тих сферах, де раніше неможливо було застосовувати підсилювальну гідротехніку через її досить великі розміри.

Високий ступінь автоматизації дозволяє застосовувати електрогідравлічний підсилювач потужності типу "сопло–магніторідинна заслінка" в будь–яких системах автоматики і легко вбудовувати його у вже існуючі системи.

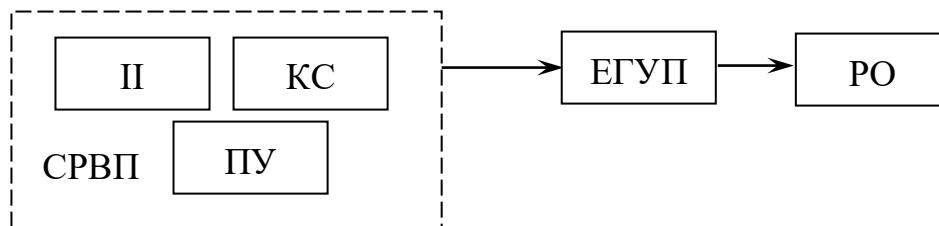
					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Декілька способів задання вхідного впливу дозволяє вибрати оптимальний спосіб управління – управління аналоговим сигналом (рисунок 1.2), управління від цифрового джерела (ЕОМ, мікроконтролер, цифрова САР більш високого рівня – рисунок 1.3) або навіть без зовнішнього управління – слідуванням і генерацією впливу завантаженої в мікроконтролер програми.



МП – мікропроцесор; УУ – аналоговий пристрій управління; ЕГУМ – електрогідравлічний підсилювач потужності; РО – регульований орган

Рисунок 1.2 – Застосування ЕГПП, керованої аналоговим сигналом



СРВП – система регулювання вищого порядку; ІБ – інтерфейсний блок ЕОМ; КС – керуюча схема; ПУ – програма управління; ЕГУП – електрогідравлічний підсилювач потужності; РО – регульований орган

Рисунок 1.3 – Застосування ЕГПП, керованого цифровим сигналом

Електрогідравлічний підсилювач (ЕГП) є основним приладом електрогідравлічних систем стеження (ЕГСС), який і визначає основні характеристики цих систем. ЕГП застосовується у різних галузях військової та цивільної техніки (в авіації, в ракетно-космічній техніці, в автомобіле- та тракторо-будуванні, у станкобудуванні, в електроенергетиці та в інших галузях). ЕГП науковий прилад, що представляє собою поєднання високоточної

гідромеханіки, електротехніки та електроніки. У світовій техніці практичного застосування отримали три типи ЕГП. ЕГП (СЗ) – ЕГП "сопло–заслінка" (патент 1945 р.), ЕГП (СТ) – ЕГП "струменева трубка" (патент 1928 р.) і "ЕГУ (ЦЗ) – ЕГП з циліндричним золотником". На ринку переважно представлений ЕГП (СЗ). Пропонується використання цього виду ЕГП, з магніторідинною заслінкою. На другому каскаді ЕГП застосовується золотник. Використання магніторідинної заслінки зменшує ЕГП від ряду недоліків ЕГП зі звичайною заслінкою.

Споживчий ринок ЕГП охоплює майже всі галузі техніки та всі континенти. Загальна кількість ЕГП різних типорозмірів, що виготовляються різними фірмами становить кілька сотень тисяч штук при ринковій ціні від 2500 \$ до 10000 \$. Експансія електрогідравліки в усі нові галузі спостерігалася раніше і спостерігається в даний час, що дозволяє очікувати подальшого розширення ринку. Для оцінки ємності національного ринку становить 20 000 штук на рік.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2 ВИБІР СТРУКТУРИ, АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1 Порівняльний аналіз сучасних систем автоматичного регулювання

Залежно від характеру зміни керуючого впливу системи автоматичного регулювання (САР) можуть бути поділені на наступні три основні класи: автоматичної стабілізації, програмного регулювання та стежать системи.

У системах автоматичної стабілізації, або власне в системах автоматичного регулювання, керуючі впливу являють собою задані постійні величини.

У системах програмного регулювання задають впливу є відомими функціями часу (змінюються за програмою);

У стежать системах задають впливу є заздалегідь невідомі функції часу.

Пряме та непряме регулювання САР. Будь-яка система автоматичного регулювання складається з об'єкта регулювання та регулятора. Регулятор має чутливий елемент, який вимірює відхилення регульованої величини від закону зміни. Чутливий елемент впливає на регулюючий орган, що змінює параметр таким чином, щоб значення регульованої величини стало одно заданому. У найпростіших регуляторах чутливий елемент безпосередньо здійснює переміщення регулюючого органу. Такі системи автоматичного регулювання, де чутливий елемент впливає безпосередньо на зміну положення регулюючого органу, називаються системами прямого регулювання, а регулятори – регуляторами прямої дії. У цих регуляторах енергія, необхідна для зміни положення регулюючого органу, надходить безпосередньо від чутливого елемента.

У системах непрямого регулювання для переміщення регулюючого органу використовуються допоміжні пристрої, які працюють від додаткового джерела енергії. При цьому чутливий елемент впливає на керуючий орган

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

допоміжного пристрою, а допоміжний пристрій здійснює переміщення регулюючого органу.

Системи непрямого регулювання необхідно застосовувати в тих випадках, коли потужність чутливого елемента недостатня для переміщення регулюючого органу і необхідно мати високу чутливість вимірювального елемента.

Одноконтурні та багатоконтурні САР. Сучасні системи автоматичного регулювання, крім головних зворотних зв'язків, часто мають місцеві зворотні зв'язки або паралельні коригувальні пристрої. Системи автоматичного регулювання з однією регульованою величиною, що мають лише одну головну зворотний зв'язок і не мають місцевих зворотних зв'язків (системи з одним контуром регулювання), називають одноконтурними. У цих системах вплив, прикладений до будь-якої точки системи, може обійти систему і повернутися в початкову точку, слідуючи тільки одним шляхом обходу.

Системи автоматичного регулювання, які крім одного контуру головного зворотного зв'язку мають ще головні зворотні зв'язки або місцеві зворотні зв'язки, називають багатоконтурними. У багатоконтурних системах вплив, прикладений до будь-якої точки, може обійти систему і повернутися в цю точку, слідуючи по декількох різних шляхах обходу.

Системи незв'язаного та пов'язаного автоматичного регулювання. Системи з кількома регульованими величинами поділити на системи непов'язаного і пов'язаного регулювання. Системами незв'язаного регулювання називають такі, в яких регулятори, призначені для регулювання різних величин, не пов'язані один з одним і можуть взаємодіяти через загальний об'єкт регулювання. Системи незв'язаного регулювання можна поділити на залежні та незалежні.

У залежних системах незв'язаного регулювання зміну однієї з регульованих величин впливають зміни інших. Тому в таких системах процеси регулювання різних регульованих параметрів не можна розглядати ізольовано один від одного.

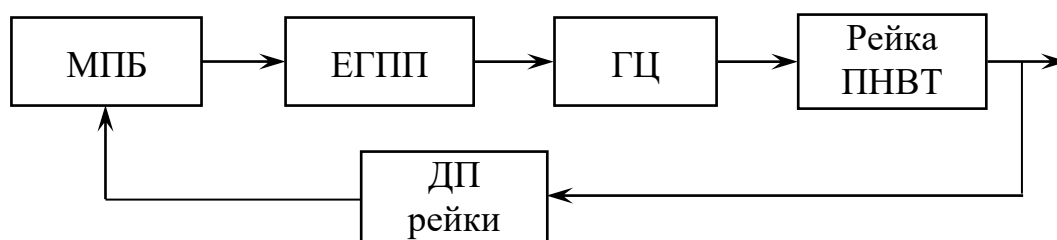
					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Прикладом залежної системи незв'язаного регулювання є літак з автопілотом, який має самостійні канали управління кермами. Припустимо, літак відхилився від заданого курсу. При цьому автопілот викличе відхилення керма повороту. При поверненні до заданого курсу кутові швидкості обох несучих поверхонь літака, а отже, і діючі на них підйомні сили будуть неоднаковими. Це викликає крен літака. Автопілот відхиляє елерони. В результаті відхилення керма повороту та елеронів лобовий опір літака зростає. Літак починає втрачати висоту і його поздовжня вісь відхилиться від горизонталі. При цьому автопілот відхиляє кермо висоти. Таким чином, процеси регулювання трьох регульованих величин – курсу, бічного крену і тангажу не можна вважати незалежними один від одного, незважаючи на наявність самостійних каналів управління.

У незалежних системах незв'язаного регулювання зміна кожної з регульованих величин залежить від зміни інших. Тому процеси регулювання різних величин можна розглядати окремо один від одного.

2.2 Структура та розрахунок параметрів системи автоматизованого управління електрогідропідсилювачем

Загальна структура системи управління ПНВТ дизельного двигуна автомобіля показана на рисунку 2.1.



МПБ – мікропроцес ний блок; ЕГПП – електрогідропідсилювач – перетворювач; ГЦ – гідроциліндр; Рейка ПНВТ – рейка паливного насоса високого тиску; ДП – датчик переміщення рейки.

Рисунок 2.1 – Загальна структура системи управління положенням рейки ПНВТ дизельного двигуна автомобіля

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Електронний регулятор керує електрогідравлічний виконавчим приводом, який включає в себе двокаскадний підсилювач типу "сопло – магніто–рідинна заслінка". Заслінка наводиться в рух при подачі на одну з котушок індуктивності електричного сигналу, що подається з блоку управління через цифро–аналоговий перетворювач. ЕГУП приводить у рух гідроциліндр, шток якого пов'язаний з рейками ПНВТ та зі зворотною пружиною. Зворотний зв'язок забезпечує датчик положення рейки ПНВТ. Живлення підсилювача, можливо, забезпечити автономним живленням від шестерного насоса, у вигляді робочої рідини в системі застосовується масло АМГ–10.

Мікропроцесор обчислює різницю між заздалегідь заданим (запрограмованим) значенням напруги і згенерованим значенням датчика та видає електричний сигнал неузгодженості. Для управління пристроями у цій системі встановлений процесор АТ89С51.

Електрогідропідсилювач–перетворювач типу "сопло – магніторідинна заслінка, регулює подачу тиску в гідросистему і зміни напрямку потоку рідини та реверсування руху поршня гідроциліндра;

Гідроциліндр, що здійснює перетворення сили тиску в переміщення поршня.

Датчик переміщення (ДП) контролює величину переміщення поршня гідроциліндра.

2.3 Вибір та розрахунок передавальної функції мікроконтролера

Мікропроцесор у системі повинен виконувати функцію обробки сигналу, що надходить з датчика, і видавати відповідне значення на генерування керуючого сигналу. Тобто з датчика системи надходить сигнал на мікропроцесор, мікропроцесор «оцінює» ситуацію і через електронний перетворювач подає імпульс на ліву чи праву котушку. Ті, у свою чергу,

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

виробляють електромагнітне поле, внаслідок чого заслінка переміщається вправо або вліво, на певну відстань.

У системі, що розробляється, буде встановлений мікроконтролер AT89C51 в силу наявності у нього всіх необхідних компонентів і достатньої продуктивності роботи, з порівняно невеликою вартістю.

AT89C51 – це високопродуктивний, 8–бітний мікроконтролер із низьким споживанням енергії. AT89C51 має 4 Кб внутрішньої Flash пам'яті, 128 байт оперативної пам'яті, 5 векторну 2 рівневу систему переривань, годинник реального часу та працює на частоті до 24МГц.

Програма обслуговування модуля записується в енергонезалежну пам'ять програм процесора об'ємом. Модуль має внутрішню 8–бітну шину даних, до якої приєднані 8-канальний, 12-розрядний АЦП (аналогово цифровий перетворювач) AD7859 з часом перетворення 5 мкс і 10–розрядний 4-канальний ЦАП AD7805.

Запуск АЦП здійснюється або з переривання від внутрішнього таймера, або негативним зовнішнім імпульсом. Цифровий вихід АЦП у цій конструкції працює у 8 – бітному режимі, отже читання показань проводиться у 2 етапи. АЦП працює з внутрішньою опорною напругою. Діапазон перетворення напруги 0 – 2,5 В. Кожен вихід АЦП повинен бути захищений від перенапруги. Цю функцію виконують діоди, підключені до аналогової землі та джерела живлення. Звернення до ЦАП (цифровий аналоговий перетворювач) відбувається в 3 етапи. Спочатку в два етапи внутрішньої 8 – бітної шині записується 10 – бітне слово даних у внутрішній регістр каналу. Два молодших біти слова даних відображаються на адресному просторі. ЦАП працює з внутрішньою напругою і має діапазон вихідних сигналів 0 – 2,5В.

Можливості даного пристрою дозволяють вирішувати такі завдання з автоматизації вимірювань, контролю та управління, яких не потрібна висока продуктивність. Середня швидкість вимірювання за секунду 300 – 400 вимірювань за секунду. Така продуктивність цілком достатня на вирішення

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

кола завдань.

Таблиця 2.1 – Характеристики мікроконтролера AT89C51

Параметр	Значення
Номінальна потужність споживання	750 мВт
Напруга живлення	15 В
Частота тактових імпульсів	2,5 МГц
Кількість тактових входів	2
Час пересилки в регістр–пам'ять	4 мкс
Час пересилки в пам'ять–пам'ять	20 мкс
Разрядність адрес	16
Разрядність даних	12
Внутрішній буфер	128 байт
Об'єм пам'яті програм процесора	4 Кбайт
Такт квантування	2 мкс

Таблиця 2.2 – Характеристики АЦП AD7859 і ЦАП AD7805

Параметр	Характеристики АЦП AD7859	Характеристики ЦАП AD7805
1	2	3
Кількість розрядів	12	10
Максимальна швидкодія	5 мкс	4 мкс
Струм живлення	30 мА	0,1 мА
Напруга живлення	15 В	5–15 В
Напруга вихідних сигналів	0–2,5 В	0–2,5 В
Частота тактових імпульсів	153,6 кГц	153,6 кГц
Період дискретизації	$6,5 \cdot 10^{-6}$ 1/Гц	$6,5 \cdot 10^{-6}$ 1/Гц
Кількість тактових входів	2	2
Кількість робочих каналів	8	4

При розрахунку лінійної частини системи будемо вважати передавальну функцію мікропроцесора рівній одиниці:

$$W_{\text{МПБ}}(p) = 1. \quad (2.1)$$

2.4 Вибір та розрахунок передавальної функції датчика переміщень

В якості ланки зворотного зв'язку виступає датчик переміщення рейки. Існують оптикоелектронні та резистивні датчики, які не мають достатньої точності, похибки вимірювань резистивного датчика можуть бути викликані, зокрема, жорсткими температурними умовами роботи. Оптикоелектронні датчики позбавлені таких недоліків, їх показання не залежать від зміни температури та вібраційних навантажень. Абсолютний оптикоелектронний датчик лінійних переміщень ДЛП–120Ц–005 призначений для безперервного перетворення значень координати уніфікований електричний сигнал у системах контролю та управління. Датчик ДЛП–120Ц–005 вимірює лінійні переміщення і перетворює їх у пропорційний електричний сигнал.

Технічні характеристики датчика:

- діапазон зміни вихідного сигналу постійного струму, (мА) 0÷5;
- основна похибка, % від діапазону вимірювання 1,0;
- пульсація вихідного струму (%) 0,2;
- постійна часу, трохи більше (сек) 0,2;
- потужність, не більше (Вт) 10.

Датчик лінійних переміщень ДЛП–120Ц–005 має передатну функцію виду:

$$W_{\text{дн}}(p) = \frac{k_{\text{дн}}}{T_{\text{д}}p + 1} \quad (2.2)$$

де $k_{\text{дн}}$ – коефіцієнт передачі датчика $k_{\text{дн}}=0,05$;

$T_{\text{д}}$ – постійна часу датчика, $T_{\text{д}}=0,06(\text{с})$.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Отримаємо передавальну функцію у вигляді:

$$W_{on}(p) = \frac{0,05}{0,06p + 1} \quad (2.3)$$

2.5 Вибір гідроциліндра та розрахунок його передавальної функції

Гідроциліндри є найпростішими гідродвигунами, які застосовуються як виконавчі механізми гідроприводів різних і механізмів з поступальним рухом вихідної ланки. За принципом дії і конструкції гідроциліндри дуже різноманітні, і застосування того чи іншого типу гідроциліндра диктується конкретними умовами роботи, призначенням і конструкцією тієї машини, в якій він використовується.

У гідроциліндрах односторонньої дії рух вихідної ланки під дією потоку робочої рідини здійснюється тільки в одному напрямку. Рух у зворотному напрямку відбувається під дією зовнішніх сил, наприклад під дією ваги вантажу, що піднімається, або пружини.

У гідроциліндрах двосторонньої дії рух вихідної ланки в обох напрямках здійснюється під дією потоку робочої рідини. Оскільки для регулювання тиску необхідний рух штока гідроциліндра в обидві сторони, вибираємо гідроциліндр двосторонньої дії.

Технічні параметри гідроциліндра:

- робочий тиск, p (МПа) 1,5;
- діаметр поршня гідроциліндра, D (мм) 40;
- діаметр штока, d (мм) 12;
- маса штока, m (кг) 1,3;
- переміщення штока, (мм) 100;
- швидкість вихідного штока (м/с) 5;
- механічний КПД, η 0,7;
- об'ємний КПД, 0,55.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

В якості робочої рідини в гідроциліндрі застосовується мінеральне масло АМГ–10 ГОСТ 6794–53, так як воно володіє досить великими температурними спалахами і займанням, низькою температурою застигання, достатньою в'язкістю. Його стисканням можна знехтувати.

Характеристики мінеральної олії АМГ–10 ГОСТ 6794–53:

- густина, (кг/м³) 850;
- об'ємний модуль пружності, (Н/см²) 16·10⁴;
- температура спалахування, (°К) 365–390;
- температура загорання, (°К) 500;
- температура застигання, (°К) –70;
- коефіцієнт в'язкого тертя, (м²/с) 54;
- робоча температура, (°С) –40...+60.

Якщо врахувати, що в гідроциліндрі є тільки пружина, що центрує поршень і можна знехтувати стисканням рідини, то прямохідний гідроциліндр має передавальну функцію виду:

$$W_{гг} = \left(\frac{k_{гц}}{T_{гц}^2 P^2 + T_{пр} P + 1} \right), \quad (2.4)$$

где $k_{гц}$ – коефіцієнт передачі гідроциліндра;

$T_{гц}$ – постійна часу гідроциліндру, с;

$T_{пр}$ – друга постійна часу с;

Коефіцієнт передачі гідроциліндра $k_{гц}$ визначається із співвідношення потужностей:

$$k_{гц} = \frac{\bar{N}_{вх}}{\bar{N}_{вих}}, \quad (2.5)$$

де $\bar{N}_{вх}$ – відхилення вхідної потужності, кВт;

$\bar{N}_{вих}$ – відхилення вихідної потужності, кВт.

Вихідна потужність визначається за формулою:

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$N_{вих} = P \cdot \eta = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07 \text{ (кВт)}, \quad (2.6)$$

де P – номінальна потужність гідроциліндра, кВт;

η – механічний ККД гідроциліндра.

Коефіцієнт передачі гідроциліндра прийме вигляд:

$$k_{зц} = \frac{0,1}{0,07} = 1,4 \quad (2.7)$$

Постійна часу гідроциліндра визначається зі співвідношення:

$$T_{зц} = \frac{r_D \cdot m}{(S^2 + r_D \cdot f)} \quad (2.8)$$

где m – маса штока, (кг);

S – площа поршня гідроциліндра, (м²);

r_D – коефіцієнт, що характеризує перетоки рідини;

f – коефіцієнт в'язкого тертя (для АМГ – 10 $f = 5,2$ сСт).

Площу поршня можна знайти зі співвідношення:

$$S = \pi \cdot R^2, \quad (2.9)$$

$$\text{де } R = \frac{D}{2} = \frac{70}{2} = 35 \text{ мм} = 0,035 \text{ м} \text{ – радіус поршня гідроциліндра}; \quad (2.10)$$

$$\text{Тоді } S = 3,14 \cdot 0,035^2 = 0,00122 \text{ (м}^2\text{)}$$

Коефіцієнт r_D визначається через об'ємний ККД:

$$r_D = (1 - \eta_V) \cdot \frac{V_{max}}{P_H} \quad (2.11)$$

где η_V – об'ємний ККД;

V_{max} – максимальний об'єм рідини в гідроциліндрі, м³;

P_H – перепад тисків в полостях гідроциліндра, МПа.

Перепад тисків визначається із співвідношення:

$$P_H = \frac{F}{S}, \quad (2.12)$$

где F – усилие при выдвигаемом штоке, Н

$$P_H = \frac{7100}{0,0154} = 0,46 \text{ (МПа)} \quad (2.13)$$

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Тоді:

$$r_{\partial} = (1 - 0,55) \cdot \frac{0,0031}{0,46} = 0,003 \left(\frac{M^6}{H} \right),$$

$$T_{гц} = \frac{0,003 \cdot 7,6}{(0,0154^2 + 0,003 \cdot 5,2)} = 2,1(\text{с}),$$

Тоді передавальна функція гідравлічної системи запишеться у вигляді:

$$W_{гс} = \frac{1,4}{(2,1p^2 + 0,07p + 1)p} \quad (2.14)$$

2.6 Вибір електрогідропідсилювача "сопло – магніторідинна заслінка" та розрахунок її передавальної функції

У системі використовується електрогідро–підсилювач – перетворювач "сопло – магніторідинна заслінка".

Передавальна функція електрогідропідсилювача–перетворювача типу "сопло – магніторідинна заслінка" має вигляд:

$$W_{egn}(p) = \frac{0,004}{0,02p^2 + 0,203p + 2,56} \quad (2.15)$$

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3 ПОБУДОВА, АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ ПІДСИЛЮВАЧЕМ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Аналіз способів розв'язання задач синтезу дискретних САР

В даний час найбільшого поширення набули два способи вирішення задач синтезу дискретних САР. Перший спосіб базується на застосуванні білінійного перетворення та побудові бажаних логарифмічних амплітудних і фазових характеристик щодо псевдочастоти з послідуочим знаходженням програм корекції. Згідно другого способу, спочатку визначають положення полюсів і нулів характеристичного рівняння замкнутої САР, а вже по них будують бажані форми кореневих годографів з подальшим знаходженням умов їх взаємної компенсації. Крім того, можна обчислити типи та параметри зворотних зв'язків за станом системи та її вихідним сигналом у вигляді динамічних ланок. Теоретичною основою другого способу є векторно–матричний апарат, що дозволяє вирішувати задачу синтезу, як при повному, так і неповному вимірі фазових координат. При цьому необхідно виконати перевірку керованості та спостережуваності.

Перший спосіб зазвичай застосовують при синтезі послідовних і паралельних коригувальних пристроїв, а другий – при синтезі пристроїв паралельної корекції. Можливе поєднання обох способів; тоді вибір векторно–матричного рівняння бажаної САР здійснюють за допомогою білінійного перетворення з подальшим вибором нулів і полюсів замкнутої системи, а програму корекції визначають у вигляді зворотних зв'язків. Ця задача вирішується досить просто лише за наявності одних полюсів. Якщо в характеристичному рівнянні входять нулі, то процедура синтезу ускладнюється.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Постановка задачі синтезу даної системи за своєю формою не відрізняється від синтезу лінійних безперервних систем. У процесі її вирішення також необхідно знайти таку структуру і параметри системи, при яких забезпечувалося б отримання заданих технічними умовами запасів стійкості, показників якості та характеристик точності.

Синтез, що базується на побудові бажаної логарифмічної амплітудної і фазової характеристик полягає в наступному:

- для забезпечення заданої точності будують низькочастотну частину бажаної ЛАЧХ;
- за допомогою номограм Солодовнікова згідно показниками якості σ_m і t_p визначають частоту зрізу, через яку проводять ЛАЧХ з нахилом -20 дБ/дек;
- високочастотну частину бажаної ЛАЧХ вибирають аналогічно ЛАЧХ незмінної частини;
- за точками зламу обчислюють бажану ЛФЧХ та визначають запаси стійкості по фазі та по модулю.

Згідно технічного завдання, необхідно розробити систему із заданими, показниками якості та характеристик точності:

- перерегулювання $\sigma \leq 30 - 40 \%$;
- час перехідного процесу $t_p \leq 10$ с;
- коливальність $M \leq 2$;
- запас стійкості по фазі понад 70° ;
- запас стійкості за амплітудою понад 40 дБ.

3.2 Розрахунок передавальної функції системи автоматичного регулювання.

Структурну схему з урахуванням передавальних функцій отриманих раніше представлена на рисунку 3.1.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

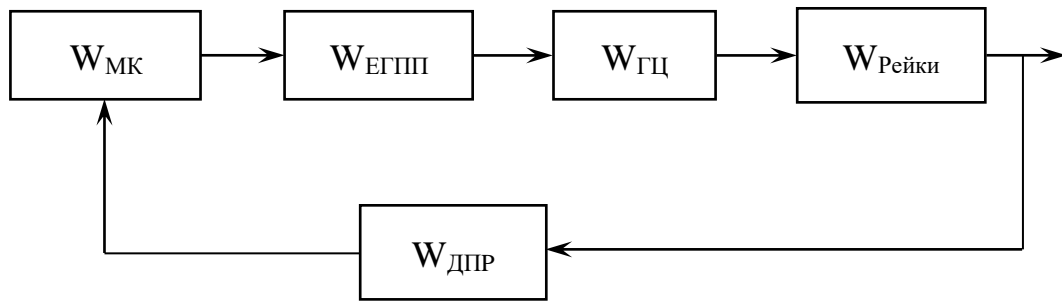


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи автоматичного регулювання електрогідравлічним підсилювачем потужності

Передавальна функція мікропроцесора має вигляд:

$$W_{\text{МК}}(p) = 1.$$

Передатна функція електрогідропідсилювача типу "сопло–магніторідинна заслінка" має вигляд:

$$W_{\text{ЕГПП}}(p) = \frac{0,004}{0,02p^2 + 0,203p + 2,56}.$$

Передатна функція гідроциліндра можна подати у вигляді:

$$W_{\text{ГЦ}}(p) = \frac{1,4}{(2,1p^2 + 0,07p + 1)}.$$

Передатна функція датчика переміщення описується виразом:

$$W_{\text{ДПР}}(p) = \frac{0,05}{0,06p + 1}.$$

Виділимо в структурній схемі системи управління електрогідропідсилювача (рисунок 3.1) змінну та незмінну частини. Змінну

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

частину складають мікропроцесор, АЦП і ЦАП. Незмінна частина складається з гідроциліндра $W_{зц}$, електрогідропідсилювача сопло– магніторідинна заслінка $W_{енн}$ і датчика переміщення $W_{дн}$.

Передавальна функція замкнутої системи на основі (2.2; 2.4; 2.8; 2.14; 2.15) буде мати вигляд:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{мн}(p) \cdot W_{эзг}(p) \cdot W_{зц}(p)}{1 + W_{мн}(p) \cdot W_{эзг}(p) \cdot W_{зц}(p) \cdot W_{дн}(p)} \quad (3.1)$$

$$W_{зам}(p) = \frac{1400}{12600 p^6 + 338310 p^5 + 3761563 p^4 + 27165710 p^3 + 2679000 p^2 + 1280000 p + 1400}$$

Передавальна функція розімкнутої системи буде мати вигляд:

$$W_{роз}(p) = W_{мн}(p) \cdot W_{эзг}(p) \cdot W_{зц}(p) \cdot W_{дн}(p) \quad (3.2)$$

$$W_{роз}(p) = \frac{1400}{(20 p^2 + 203 p + 2560) \cdot (210 p^2 + 7 p + 100) p \cdot (3 p + 50)}$$

Для оцінки стійкості системи управління за критерієм Найквіста, розглянемо розімкнуту систему. Як відомо, для того, щоб система була стійкою в замкнутому стані, необхідно і достатньо, щоб крива АФЧХ розімкнутої системи при зміні частоти ω від 0 до ∞ не охоплювала точку $(-1, j0)$.

Замінімо в передавальній функції розімкнутої системи p на $j\omega$.

$$W_{роз}(j\omega) = \frac{5266188200 \omega^3 - 3750600000 \omega - 17640000 \omega^5}{(400 \omega^4 - 61191 \omega^2 + 6553600) \cdot (44100 \omega^4 - 41951 \omega^2 + 10000) \cdot \omega \cdot (2500 + 9 \omega^2)} + j \frac{-47363400 \omega^4 + 3803199400 \omega^2 + 1790000000}{(400 \omega^4 - 61191 \omega^2 + 6553600) \cdot (44100 \omega^4 - 41951 \omega^2 + 10000) \cdot \omega \cdot (2500 + 9 \omega^2)}$$

Знайдемо уявну та дійсну частини:

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$U(\omega) = \operatorname{Re}(W_{\text{раз}}(\omega i)) = -1400 \frac{-3761563\omega^2 + 2679000 + 12600\omega^4}{(400\omega^4 - 61191\omega^2 + 6553600)(44100\omega^4 - 41951\omega^2 + 10000) \cdot (2500 + 9\omega^2)} \quad (3.3)$$

$$V(\omega) = \operatorname{Im}(W_{\text{раз}}(\omega i)) = \frac{-473634000\omega^4 + 3803199400\omega^2 - 1792000000}{(400\omega^4 - 61191\omega^2 + 6553600)(44100\omega^4 - 41951\omega^2 + 10000) \cdot (2500 + 9\omega^2)} \quad (3.4)$$

Тоді графік АФЧХ буде мати вигляд представлений на рисунку 3.2.

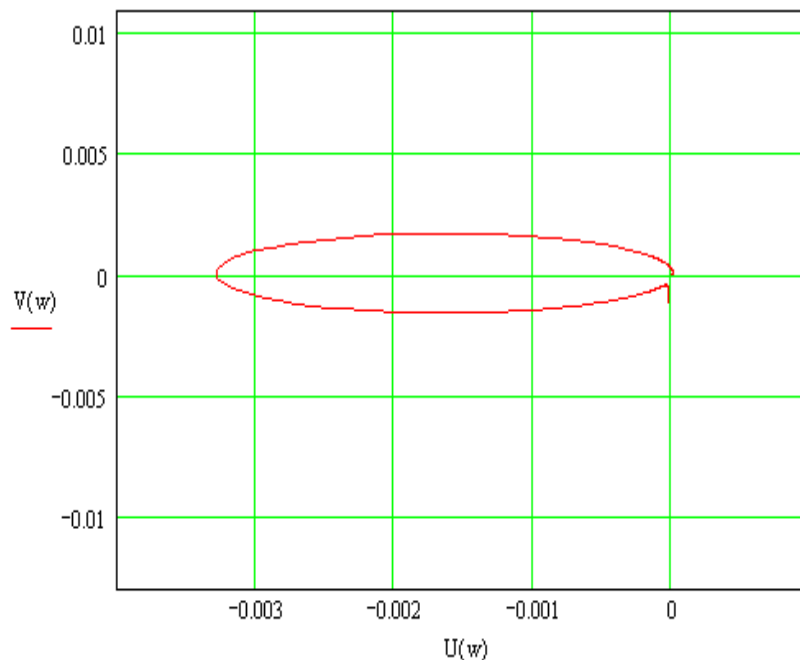


Рисунок 3.2 – Графік АФЧХ розімкнутої системи.

Умова стійкості Найквіста виконується (крива не охоплює точку $(-1, j0)$), відповідно, система стійка.

Для наочного відображення властивостей даної системи регулювання побудовано перехідний процес, скориставшись зворотнім перетворенням Лапласа передавальної функції замкнутої системи.

$$h(t) = \frac{W_{\text{зам}}}{p} = 1 + 6,088 \cdot 10^{-9} \exp(-16,67 \cdot t) - 2,336 \cdot 10^{-8} \exp(-5,075 \cdot t) \cdot \cos(10,11 \cdot t) - 3,7 \cdot 10^{-8} \cdot \exp(-5,075 \cdot t) \cdot \sin(10,11 \cdot t) + 2,286 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(-1,661 \cdot 10^{-2} \cdot t) \times \\ \times \cos(0,68 \cdot t) - 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(-1,6 \cdot 10^{-2} \cdot t) \cdot \sin(0,68 \cdot t) - 1 \cdot \exp(-1,094 \cdot 10^{-4} \cdot t)$$

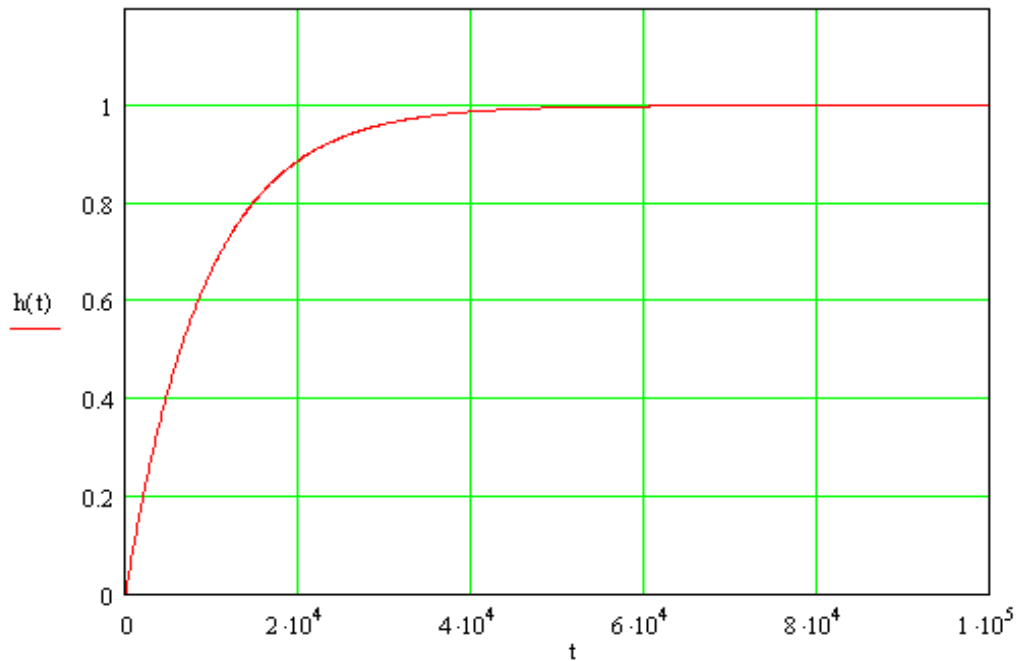


Рисунок 3.3 – Перехідний процес нескоректованої системи.

З графіку перехідного процесу (рисунок 3.3) визначимо показники якості системи управління:

Час регулювання (час устанавлення перехідного процесу) – час, за який система встановлюється в установлене значення з деякою долею похибки. Зазвичай ця похибка складає 5% (пятипроцентна трубка). Приблизно час регулювання складає $2,9 \cdot 10^4$ (с). $t_p = 2,9 \cdot 10^4$

б) Перерегулювання системи в процентах – максимальне відхилення контрольованого параметра від значення, що встановлюється.

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% . \quad (3.5)$$

З характеру перехідного процесу можна судити про стійкість системи: характеристика стійка монотонно зростаюча.

3.3 Побудова логарифмічної амплітудно–частотної та фазо–частотної характеристик системи та їх аналіз

Дослідження системи необхідно проводити за граничною схемою, це пояснюється тим, що період тактових імпульсів роботи МП рівна 0,2мс, і є багато менше постійної часу об'єкта управління (0,06–1,5 с).

Логарифмічна амплітудно–частотна характеристика (ЛАЧХ) та логарифмічна фазо–частотна характеристика (ЛФЧХ) визначаються за передавальною функцією розімкнутої системи наступним чином:

$$L(\omega) = 20 \lg \left(|W_p(\omega)| \right) \quad (3.6)$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \left(\frac{V(\omega)}{U(\omega)} \right) \quad (3.7)$$

де $U(\omega)$, $V(\omega)$ – дійсна та уявна частини передавальної функції.

Для знайдених раніше виразів маємо ЛАЧХ та ЛФЧХ, представлені на рисунках 3.4 та 3.5 відповідно.

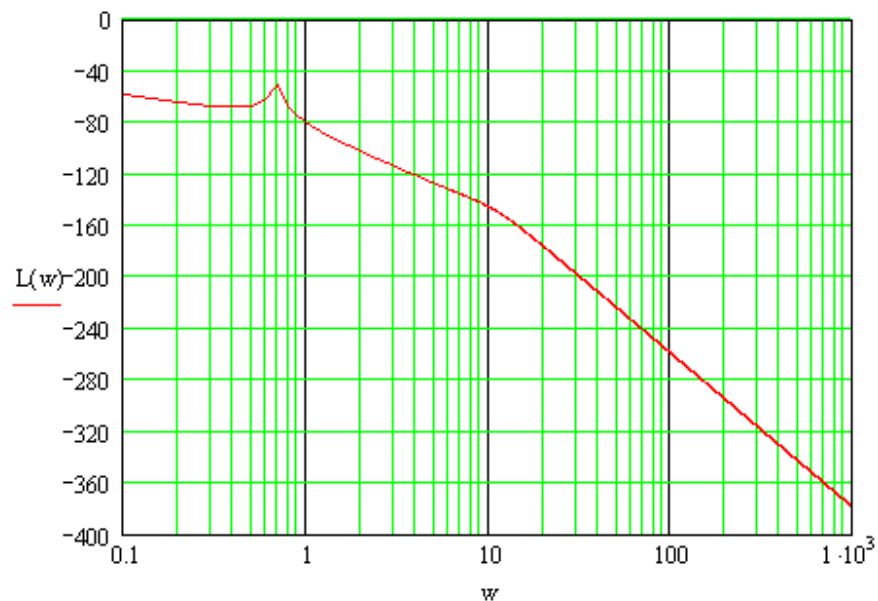


Рисунок 3.4 – Графік ЛАЧХ системи управління

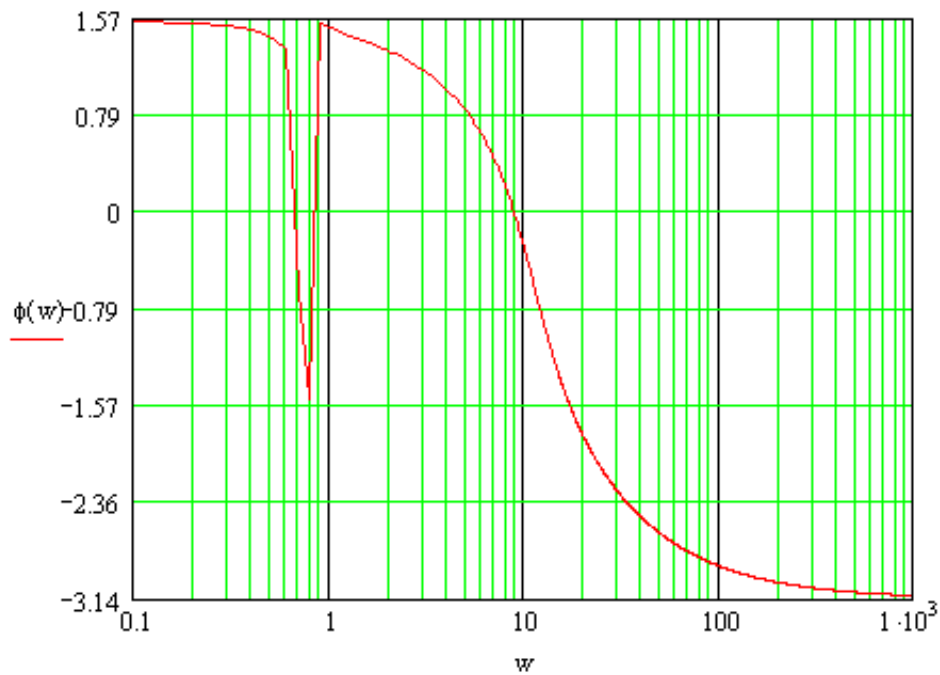


Рисунок 3.5 – Графік ЛФЧХ системи управління

За побудованими характеристиками визначимо запаси по фазі та амплітуді. Запас по амплітуді визначається в такий спосіб. Знаходиться частота коли він ЛФЧХ вперше перетинає пряму зі значенням -180° , у цій частоті проводиться вертикальна пряма до перетину з ЛАЧХ. Відстань від цієї точки перетину до осі становить запас стійкості амплітуди в децибелах. У нашому випадку він становить 1. Крім цього можна зробити висновок про стійкість системи. ЛАЧХ у цій точці перетину має бути нижче осі. Якщо вона вище, то система нестійка, перетинає вісь у цій точці – межі стійкості.

Запас стійкості по фазі оцінюється в такий спосіб. Визначається частота, при якій ЛАЧХ перетинає вісь абсцис (0 децибел). За цієї частоти проводиться вертикальна пряма вниз до перетину з ЛФЧХ. Відстань від точки перетину до прямої -180° складатиме запас по фазі в градусах. У нашому випадку ЛАЧХ не перетинає вісь 0, отже запас по фазі становить 360° .

Оскільки час перехідного процесу є надто великим і не відповідає необхідному, то системі потрібна корекція.

3.4 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої системи.

Бажаною є асимптотична ЛАЧХ розімкнутої системи, що має бажані (потрібні) статичні та динамічні властивості. Бажана ЛАЧХ будується на підставі вимог до системи, відображених у технічному завданні, при цьому рекомендується, щоб характеристика не скоригованої системи та бажана характеристика скоригованої системи збігалися один з одним у більш широкому діапазоні частот. В іншому випадку реалізація коригувальних пристроїв різко ускладнюється.

Побудова середньочастотної асимптоти ЖЛАЧХ починають з вибору частки зрізу. По номограмі Солодовнікова (рисунок 3.6) і бажаному перерегулюванню, коливання ($M = 1,1$) і часу регулювання ($t_p = 10c$) визначаємо частоту зрізу:

$$\omega_{cp} = \frac{3,5 \pi}{10} = 1,1 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (3.8)$$

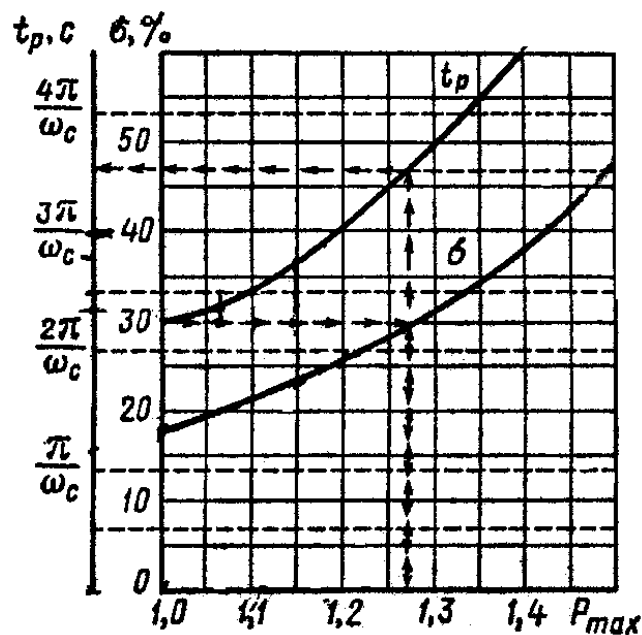


Рисунок 3.6 – Номограма Солодовнікова.

Середньочастотна асимптота бажаної ЛАЧХ (БЛЧХ) проводиться через точку $\omega_{сер}$ із нахилом -20 дБ/дек, який забезпечує необхідний запас по фазі.

Протяжність h середньочастотної асимптоти встановлюється виходячи з необхідного запасу стійкості. З цих міркувань вибирається її поєднання з низькочастотною асимптотою.

Показник коливання h характеризує схильність системи до коливань. Чим більший M , тим менший запас стійкості системи.

$$h = \frac{M + 1}{M - 1} = \frac{1,1 + 1}{1,1 - 1} = 21 \quad (3.9)$$

Межі середньочастотної асимптоти[^]

$$\omega_{кр} = \frac{\omega_{сер}}{\sqrt{h}} = \frac{1,1}{\sqrt{21}} = 0,24c^{-1}, \quad (3.10)$$

$$\omega_{кр} = \omega_{сер} \cdot \sqrt{h} = 5,041c^{-1}, \quad (3.11)$$

Використовуючи отримані дані, побудуємо бажану характеристику (рисунок 3.7), що забезпечує необхідні показники якості системи. Через частоту зрізу проводиться середньочастотна асимптота з нахилом -20 дб/дек, високочастотна частина системи мало впливає на стійкість, тому її добудуємо еквідистантно до високочастотної частини ЛАЧХ незмінної частини системи.

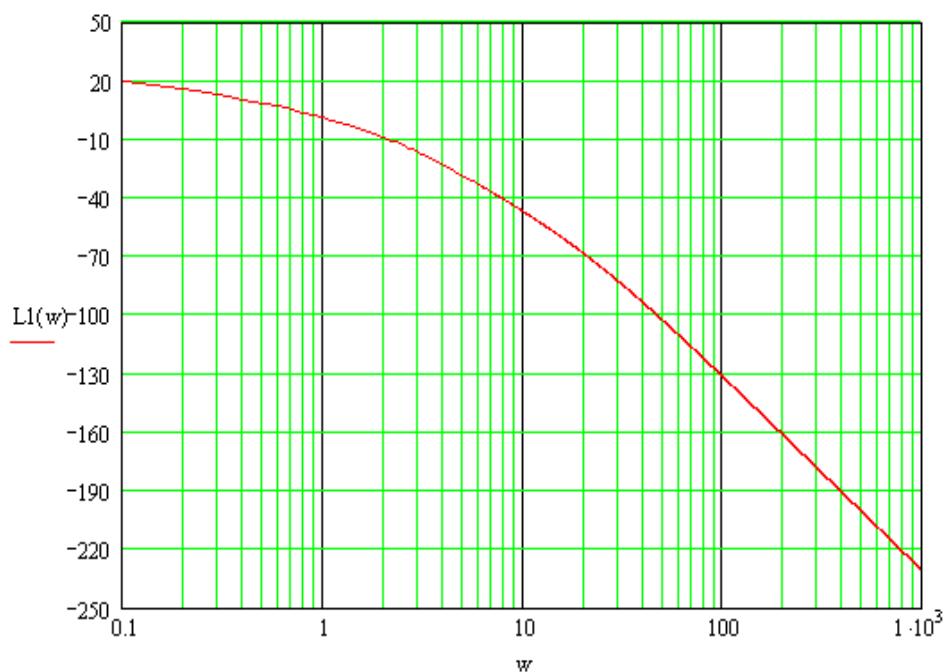


Рисунок 3.7 – Бажана ЛАЧХ розімкнутої системи

Передавальна функція БЛАЧХ:

$$W(p)_ж = \frac{2,757(10p + 1)^2}{(0,02p^2 + 0,203p + 2,56) \cdot (2,1p^2 + 0,07p + 1) \cdot (0,06p + 1) \cdot (0,5p + 1)^2 p} \cdot (3.12)$$

За отриманою передавальною функцією визначається логарифмічна фазова характеристика (ЛФЧХ) скоригованої системи.

Визначення запасів стійкості проводиться наступним чином: у точці перетину графіка ЛФЧХ з віссю $\pm 180^\circ$ відновлюється перпендикуляр до перетину з віссю абсцис (рисунок 2.8). Від осі абсцис до бажаної ЛАЧХ визначається запас стійкості по амплітуді, у разі він дорівнює 70дБ. Запас по фазі визначається за прямою, що проходить через частоту зрізу від осі ± 180 до графіка ЛФЧХ. Він дорівнює $\Delta\varphi = 170^\circ$, що задовольняє технічне завдання.

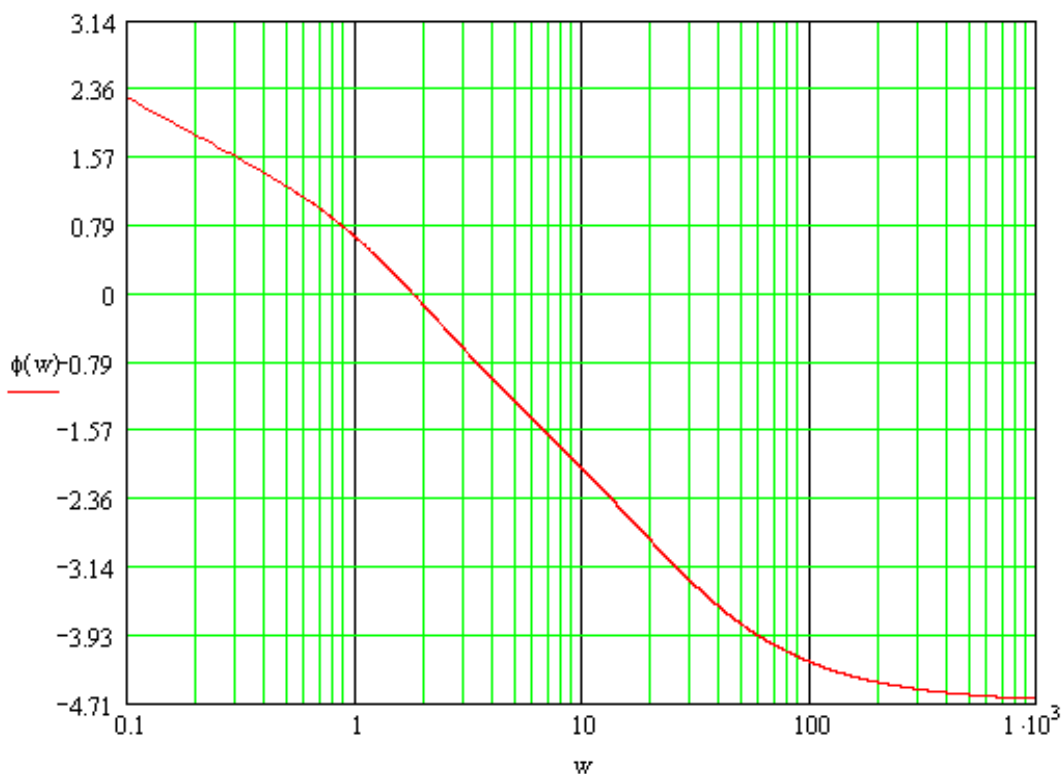


Рисунок 3.8 – Бажана ЛФЧХ скоригованої системи

3.5 Синтез коригувальних ланок.

Корекція динамічних властивостей САУ здійснюється для виконання вимог щодо точності, стійкості та якості перехідних процесів.

З точки зору вимог до точності корекція може знадобитися для збільшення порядку астатизму або коефіцієнта передачі системи при збереженні стійкості та певної якості перехідного процесу.

Корекція застосовується як засіб забезпечення стійкості, а також підвищення якості перехідного процесу.

Здійснюється корекція введенням у систему коригувальних ланок з особливо підбраною функцією передавання. Принципово коригувальні ланки можуть включатися або послідовно з основними ланками САУ, або паралельно їм, також існують комбіновані способи включення. Відповідно, за способом включення в систему коригуючі ланки діляться на послідовні та паралельні.

При включенні в систему послідовного коригуючого пристрою (КП) передавальна функція розімкнутої скоригованої системи набуває вигляду:

$$W_{\text{ж}}(p) = W_{\text{нч}}(p) \cdot W_{\text{к}}(p), \quad (3.13)$$

$$W_{\text{к}}(p) = \frac{W_{\text{ж}}(p)}{W_{\text{нч}}(p)}, \quad (3.14)$$

де $W_{\text{к}}(p)$ – передавальна функція коригуючого пристрою.

Підставивши у вираз (3.14) значення передавальної функції незміненої частини системи і передавальної функції бажаної характеристики отримаємо:

$$W_{\text{к}} = \frac{10^4(10p + 1)^2}{(0,477p + 1)^2}. \quad (3.15)$$

На рисунку 3.9 представлена схема і логарифмічна характеристика коригуючого пристрою.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

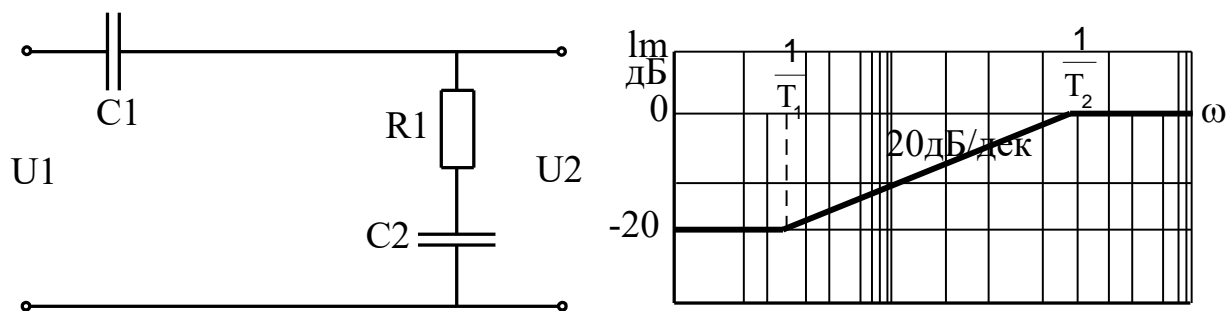


Рисунок 3.9 – Електрична схема і логарифмічна характеристика коригуючого пристрою

$$W_k(p) = L0 \frac{T1p + 1}{T2p + 1} \quad (3.16)$$

$$L0 = \frac{1}{1 + \frac{C2}{C1}} = 1 \quad (3.17)$$

$$T1 = R1 \cdot C2 = 1, \quad (3.18)$$

$$T2 = \frac{1}{1 + \frac{C2}{C1}} \cdot T1 = 0.21, \quad (3.19)$$

Задамо значення: $R1=1000$ (Ом), тоді

$$C2 = \frac{T1}{R1} = \frac{10}{1000} = 1000 \text{ (мкФ)} \quad (3.20)$$

$$C1 = \frac{C2}{\frac{T1}{0,21} - 1} = \frac{0,001}{47,62} = 21 \text{ (мкФ)}. \quad (3.21)$$

Так як для корекції необхідний нахил +40 дб/дек, то необхідно ввімкнення даної схеми двічі.

Крім того, необхідно врахувати підйом коригуючої ЛАЧХ вгору на 80 дб, що здійснюється введенням підсилювача з коефіцієнтом посилення 104, який може бути реалізований на операційному підсилювачі. Тобто остаточно схему

коригуючого послідовного пристрою можна подати у вигляді, представленому на рисунку 3.10.

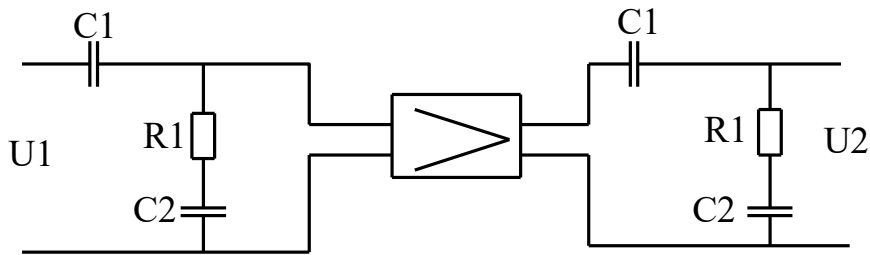


Рисунок 3.10 – Послідовний корегуючий пристрій

Послідовні коригувальні ланки найбільш зручні в електричних САУ, особливо постійного струму. У цьому випадку послідовні коригуючі ланки здійснюються у вигляді пасивних чотирьохполюсників, передавальні функції яких можна просто і плавно змінювати в дуже широких межах, обмежених лише досить вільними умовами фізичної реалізації. До переваг послідовної корекції можна віднести:

- прискорення перехідного процесу;
- зниження помилки, що встановилася;
- простота включення елементів корекції;

До недоліків можна віднести:

- Збільшення чутливості до перешкод;
- Необхідність узгодження опору коригувальних елементів з вхідним та вихідним опором елементів системи, до яких вони підключаються;
- Зниження величини основного сигналу – збільшення помилки.

Аналіз стійкості скоригованої системи. Стійкість скоригованої системи визначимо за перехідним процесом. Як відомо нестійкі системи мають розхідний перехідний процес, стійкі – загасаючий.

Одним із способів побудови перехідного процесу є представлення передавальної функції замкнутої системи у вигляді функції, отриманої шляхом зворотного перетворення Лапласа.

Передавальна функція замкнутої системи:

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$W_3(p) = \frac{W(p)_n}{1 + W(p)_p} \quad (3.22)$$

где $W_n(p)$ – передавальна функція прямої ланки;

$W_p(p)$ – передавальна функція розімкнутої системи.

З врахуванням корегуючої ланки, отримаємо:

$$W_3(p) = \frac{W(p)_k W(p)_n}{1 + W(p)_k W(p)_p} \quad (3.23)$$

де $W_k(p)$ – передавальна функція корегуючої ланки

Передавальні функції прямої ланки і розімкнутої системи:

$$W_n(p) = \frac{0,0056}{(0,02p^2 + 0,203p + 2,56) \cdot (2,1p^2 + 0,07p + 1)p} \quad (3.24)$$

$$W_p(p) = \frac{0,00028}{(0,02p^2 + 0,203p + 2,56) \cdot (2,1p^2 + 0,07p + 1) \cdot (0,06p + 1)p} \quad (3.25)$$

Підставляючи (42), (43), (34) в (41), маємо:

$$W_3(p) = \frac{2,206(3p + 50) \cdot (10p + 1)^2}{1,147 \cdot 10^{-3} \cdot p^8 + 3,561 \cdot 10^{-2} p^7 + 4,767 \cdot 10^{-1} \cdot p^6 + 4,044 \cdot p^5 + 12,12 \cdot p^4 + 13,05 \cdot p^3 + 557,4p^2 + 115p + 5,515}$$

Здійснюючи зворотне перетворення Лапласа від отриманого виразу для одиничного ступінчастого впливу, отримаємо:

$$h(t) = 0,9352 - 1,160 \cdot 10^{-2} e^{-22,54t} + 1,441 \cdot 10^{-2} e^{-21,41t} - 0,1909 e^{-3,543t} - 0,7470 e^{-0,3019t} \cos(1,286t) - 0,6645 e^{-0,3019t} \sin(1,286t) \quad (3.26)$$

За отриманою формулою будується графік перехідного процесу, поданий на малюнку 3.11.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

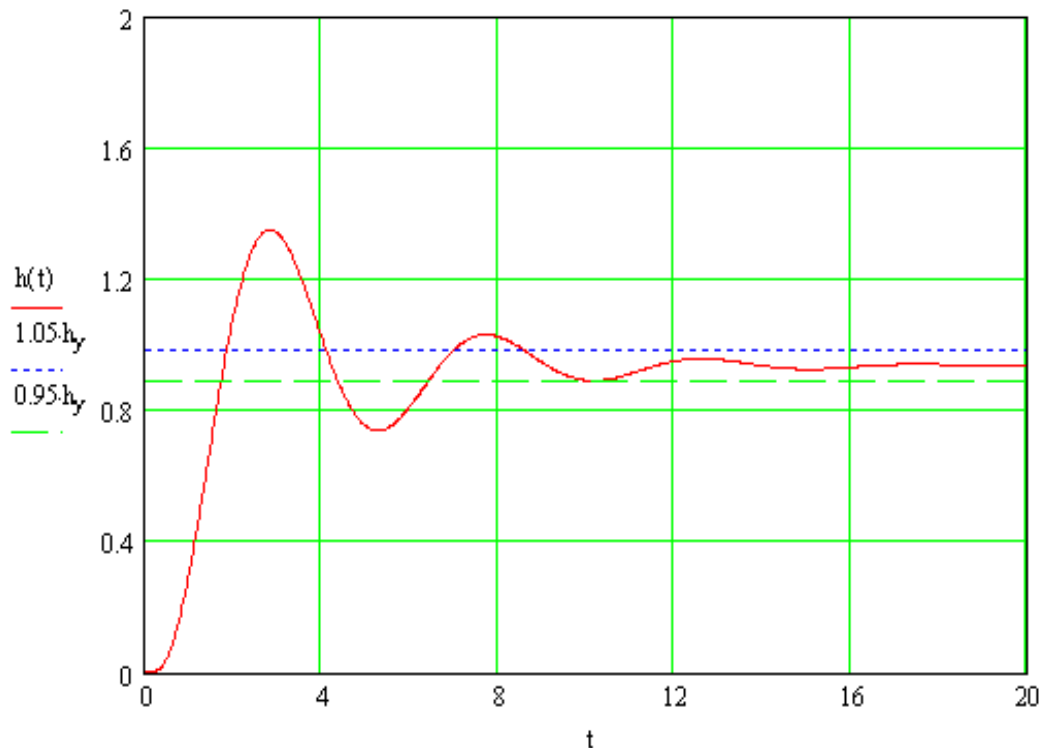


Рисунок 3.11 – Перехідний процес скоригованої системи

Як видно з графіка, час перехідного процесу $t_p = 8,61$ с, перерегулювання $\sigma = 36,5\%$, що відповідає технічному завданню.

Розроблена система була синтезована відповідно до вимог технічного завдання. Було застосовано спосіб корекції, що призводить систему до заданих показників якості. Оцінка показників стійкості скоригованої системи показала, що розроблена САУ має запас стійкості по фазі 170° , тоді як задовільним вважається запас по фазі не менше $30 \div 60^\circ$. Аналіз запасу стійкості за амплітудою показав, що система має запас стійкості за амплітудою, яка дорівнює 70дБ.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці являє собою систему законодавчих актів і відповідних їм соціально–економічних, технічних, гігієнічних та організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці. З охороною праці пов'язані питання безпеки праці, попередження травматизму та професійних захворювань і отруєнь, пожеж та вибухів на виробництві. Відступ від нормального режиму роботи та порушення вимог техніки безпеки можуть призвести до погіршення здоров'я працюючих.

Обслуговуючи електрогідравлічний підсилювач на працівника, впливають небезпечні і шкідливі чинники. У даному розділі дипломного проекту розглянуто та обґрунтовано вибір принципів, методів та засобів захисту або зменшення впливу їх на працівника.

Промислові підприємства оснащуються новітньою технікою, основу закладено принципи охорони праці. Безпечні конструкції машин і механізмів, різне електрообладнання покликані забезпечити здоров'я та безпеку умови праці та персоналу. З широким розвитком нової техніки виникла необхідність приведення відповідно до конструкції виробів, їх виробництва та виконуваними функції з трудовими характеристиками людини. Ці питання поєднує наука ергономіка. Ергономіка – прикладна наука, яка вивчає людину та її діяльність в умовах сучасного виробництва з метою оптимізації знарядь, умов і процесів праці.

4.1 Характеристика приміщення

Промислове приміщення, в якому встановлена система автоматичного регулювання з електрогідропідсилювачем, за характером навколишнього середовища відноситься до класу сухих приміщень.

Створюваний тиск на виході ЕГП з МЖС може подаватися на форсунки,

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

поршні, гідравлічні циліндри верстатів та інші виконавчі пристрої.

У виробничому приміщенні є велике виділення пилу, тому стіни і стелі споруджені з малотеплопровідних матеріалів, що не затримують осадження пилу, а прибирання приміщень проводиться за допомогою пилососів або гідрозмиву. Підлоги в приміщенні теплі, еластичні, рівні та неслизькі, не пропускають ґрунтові води та шкідливі гази. Так як робоче місце обслуговується стоячи, то підлоги зроблені теплопровідними. Крім того, в приміщенні є шкідливі та агресивні речовини, тому підлога виготовлена з матеріалів, стійких щодо хімічної дії цих речовин (з метлахської плитки). Для відведення пролитих на підлогу агресивних та шкідливих рідин передбачаються стоки у промислову каналізацію. У приміщенні є пристрої опалення та вентиляції.

4.2 Метеорологічне забезпечення

"Метеорологічне забезпечення у сфері безпеки праці". Під метеорологічними умовами (мікрокліматом) розуміють кілька факторів, що впливають на людину: температуру, вологість і швидкість руху повітря, а також теплове випромінювання. Ці чинники окремо чи сукупно впливають на організм людини, визначаючи його самопочуття.

Оптимальні та допустимі метеорологічні умови для робочих зон приміщення, який враховує: пору року, тяжкість виконуваних робіт та надлишок явного тепла.

Тепловий режим, що дотримується в приміщенні, відповідає оптимальним нормам, як для холодної, так і для теплої пори року. Це здійснюється за рахунок наявних у приміщенні батарей водяного опалення та кондиціонерів. Підтримка на заданому рівні температури, вологості та рухливості повітря – здійснюється постійною вентиляцією приміщення, в якому експлуатується пристрій, що розробляється.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Електрогідравлічний підсилювач не містить джерел теплоти, які можуть суттєво вплинути на температуру повітря в приміщенні, де він експлуатується. Тому особливих заходів до ЕГП з МЖС із захисту від теплового випромінювання, такі як екранування, усунення джерела тепловиділень, заходи індивідуального захисту, не потрібні.

4.3. Розрахунок освітлення

Природне і штучне освітлення". Зір є найважливішим джерелом інформації, що надходить до мозку людини із зовнішнього середовища. Недостатнє освітлення викликає передчасну втому, притупляє увагу працюючого, знижує продуктивність праці, погіршує якісні показники і може виявитися причиною нещасного випадку.

Природне освітлення позитивно впливає не тільки на зір, але також тонізує організм людини в цілому і надає сприятливий психологічний вплив. У зв'язку з цим у приміщенні відповідно до санітарних норм і правил є природне освітлення, яке здійснюється комбінованим світлом – через світлові прорізи в покриттях і стінах, через прозорі огороження покриттів і стін.

У приміщенні використовується два види освітлення – природне і штучне.

Нормування природного та штучного освітлення здійснюється СНіП 23–05–95 залежно від характеру зорової роботи. Працюючи з аналізованої установкою необхідним є розрізнення об'єктів розміром 0,5...1 мм (фіксація показань вимірювальних приладів), що відповідає розряду зорової роботи 4г.

Розрахунок системи освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку, який виражається ставленням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп. Його величина залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення,

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

фарбування стін і стелі, що характеризується коефіцієнтами відбиття стін і стелі.

Загальний світловий потік визначається:

$$F_{\text{общ}} = \frac{E_H \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta}, \quad (4.1)$$

де $E_H = 300$ лк – нормована освітленість;

S – освітлювана площа, м²;

$k = 1,5$ – коефіцієнт запасу, що враховує забруднення світильників;

$z = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Площа приміщення:

$$S = L_D \cdot L_{\text{Ш}}, \quad (4.2)$$

де $L_D = 4,5$ м – довжина приміщення;

$L_{\text{Ш}} = 4$ м – ширина приміщення.

Коефіцієнт використання, (виражається ставленням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в частках одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін (P_c) і стелі (P_p)), значення коефіцієнтів P_c та P_p визначимо за таблицею залежностей коефіцієнтів відбиття від характеру поверхні: $P_c = 30\%$, $P_p = 50\%$. Значення η визначимо за таблицею коефіцієнтів використання різних світильників. Розрахункова довжина підвіски світильника:

$$H_P = H - H_C - H_R, \quad (4.3)$$

де $H = 2,5$ м – висота приміщення;

$H_R = 0,8$ м – висота від підлоги до рівня робочої поверхні;

$H_C = 0,2 \cdot (H - H_R) = 0,2 \cdot (2,5 - 0,8) = 0,34$ м – відстань від світильника до стелі

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Тоді:

$$H_p = 2,5 - 0,34 - 0,8 = 1,36 \text{ (м)}$$

Індекс приміщення:

$$i = \frac{L_D \cdot L_{III}}{H_p \cdot (L_D + L_{III})} = \frac{4,5 \cdot 4}{1,36 \cdot (4,5 + 4)} = 1,55 \quad (4.4)$$

Тоді $\eta = 28 \%$. Загальний світловий потік:

$$F_{заг} = \frac{300 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,28} = 31821 \text{ (Лм)}$$

Для приміщення вибираються люмінесцентні лампи ЛБ40 (білого світла) потужністю 40 Вт.

Світловий потік однієї лампи ЛБ40 становить $F_1 = 3000$ Лм, отже, для отримання світлового потоку $F_{заг} = 21978$ Лм необхідно N ламп, число яких визначається:

$$N = \frac{F_{ОБЩ}}{F_1} = \frac{31821}{3000} = 10,6. \quad (4.5)$$

Для приміщення вибираються люмінесцентні лампи ЛБ40 (білого світла) потужністю 40 Вт.

Світловий потік однієї лампи ЛБ40 становить $F_1 = 3000$ Лм, отже, для отримання світлового потоку $F_{общ} = 21978$ Лм необхідно N ламп, число яких визначається:

$$N = \frac{F_{ОБЩ}}{F_1} = \frac{31821}{3000} = 10,6(61) \quad (4.6)$$

Вибираємо $N=11$ ламп ЛБ40. Електрична потужність усієї освітлювальної системи:

$$P_{заг} = P_1 \cdot N = 40 \cdot 11 = 440 \text{ (Вт)}, \quad (4.7)$$

де $P_1 = 40$ Вт – потужність однієї лампи.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

При виборі освітлювальних пристроїв використовуємо світильники типу ОД. Кожен світильник комплектується двома лампами. Розміщуються світильники двома рядами, чотири в кожному ряду.

Розрахунок місцевого світлового потоку не проводиться, тому що в даному випадку рекомендується система загального освітлення, щоб уникнути відбитої відблисків від поверхні столу та екрана монітора.

Для нормального сприйняття зображення на екрані контраст зі стінами має становити відношення 3:1 відповідно. Освітленість екрану E_0 становить чотириста люкс, тоді освітленість фону $E_{ф.в}$ становить сто люкс. Для забезпечення такої освітленості стіни освітленість горизонтальної поверхні повинна бути:

$$E_z = \frac{E_{ф.в}}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{100}{0,6019} = 166,14 \text{ Лк}, \quad (4.8)$$

де $\alpha \approx 30$ кут, у напрямку якого поширюється сила світла джерела.

Загальний світловий потік:

$$F_{заг1} = \frac{E_z \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta} = \frac{166,14 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,28} = 17622 \text{ (Лм)} \quad (4.9)$$

Для отримання такого світлового потоку потрібна наступна кількість ламп:

$$N_1 = \frac{F_{заг1}}{F_1} = \frac{17622}{3000} = 5,87, \quad (4.10)$$

Вибираємо $N_1 = 6$ ламп. Отже, необхідно включати:

$$N - N_1 = 11 - 6 = 5 \text{ ламп.} \quad (4.11)$$

Для забезпечення нормальних умов роботи оператора відповідно до нормативних вимог необхідно використовувати 5 ламп зазначеної потужності для освітлення робочого приміщення.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4.4. Забезпечення засобів захисту від шуму

"Гігієнічні вимоги до організації технологічних процесів виробничого обладнання та робочого інструменту" СНіП–11–12–77. Шум визначають як сукупність аперіодич–них звуків різної інтенсивності та частоти. Інтенсивний шум на виробництві робить на людину шкідливий фізіологічний вплив, який полягає в притупленні слуху, порушенні ритму серцевої діяльності, уповільненні психологічних реакцій, ослабленні пам'яті та уваги, збільшенні числа помилок при виконанні роботи.

Електрогідравлічний підсилювач не є джерелом шуму, на відміну від електродвигуна, насоса та іншого виробничого обладнання. Для захисту від шуму згідно СНіП–11–12–77 передбачені наступні будівельно–акустичні заходи: звукопоглинаючі конструкції та екрани, звукоізоляція огорожувальних конструкцій, звукопоглинаючі облицювання в газоповітряних трактах вентиляційних систем з механічним спонуканням та систем кондиціонування повітря.

Нормовані параметри шуму визначені ССБТ Шум. Загальні вимоги безпеки» та СНіП 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на робочих місцях, у приміщеннях житлових, громадських будівель та на території житлової забудови». Допустимі рівні звукового тиску на робочому місці у виробничому приміщенні вказані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормування шуму

Робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійне робоче місце і робоча зона у виробничих приміщеннях і на території підприємства	110	99	92	86	83	80	78	76	74

Як індивідуальні засоби захисту від шуму рекомендується використовувати спеціальні навушники, вкладиші у вушну раковину, протишумні каски, захисна дія яких заснована на ізоляції звуку.

4.5. Забезпечення засобів захисту від вібрації.

"Санітарні норми проектування промислових підприємств" СН 245–71. Вібрації – це коливання твердих тіл – частин апаратів, машин, устаткування, споруд, що сприймаються організмом людини як струс. Вібрації несприятливо впливають на організм людини: вони можуть бути причиною функціональних розладів нервової та серцево–судинних систем, а також опорно–рухового апарату.

Відповідно до СН 245–71 нормування рівня вібрації передбачено для обмеження загальної вібрації, що передається на робочі місця у виробничих приміщеннях через підлогу, робочий майданчик, і вібрацій, що передаються на руки працюючого від ручного електро–і пневмоінструменту.

Електрогідравлічний підсилювач не є джерелом вібрації, на відміну електродвигуна, насоса та іншого виробничого обладнання. В якості заходу захисту від вібрації передбачена віброізоляція, що представляє собою пружні елементи (пружинні амортизатори), розміщені між електродвигуном, насосом і основою.

Як індивідуальний захист від вібрації рекомендується носити рукавички і взуття на повстяній або товстій гумовій підшві.

4.6 Електробезпека

"Електробезпека терміни та визначення" ГОСТ 12.1.009–76. Електробезпека – система організаційних та технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики (ГОСТ 12.1.009–76).

Дія електричного струму на організм людини і тварини проявляється у складних та своєрідних формах. Проходячи через організм, електричний струм має хімічну, теплову та біологічну дії.

На результат ураження організму електричним струмом впливає ряд факторів: сила струму, опір тіла людини, частота і рід струму, шлях струму, тривалість дії, а також індивідуальні особливості людського організму.

Можна виділити такі зразкові порогові значення сили струму:

- Відчутний струм (до 2 мА) – викликає при проходженні через організм відчутні подразнення;
- Невідпускає струм (10 ... 25 мА) – викликає при проходженні струму непереборні судомні скорочення м'язів руки, в якій затиснутий провідник;
- Фібриляційний струм (понад 65 мА) – викликає при проходженні через організм фібриляцію серця.

ГОСТ 12.1.038–82 встановлює гранично–допустимі рівні напружень дотиків і струмів, що протікають через тіло людини, призначені для проектування способів захисту та засобів захисту людей при взаємодії з електроустановками виробничого та побутового призначення постійного та змінного струму з частотою 50 Гц таблиця 10.

Таблиця 4.2 – Нормативні величини струмів.

Тип струму	Гранично–допустимі рівні струму (мА) при заданому часі протікання (с)						
	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Змінний, 50 Гц	650	500	250	165	125	100	85
Постійний	650	500	400	350	300	250	240

За величину електричного струму, небезпечного життя людини,

приймається струм 40 мА.

Існує три способи захисту від ураження електричним струмом. Занулення – з'єднання всіх металевих корпусів та конструкцій із заземленою нейтраллю трансформатора через нульовий провід або спеціальний захисний провідник. Завдяки цьому всяке замикання на корпус перетворюється на коротке замикання і аварійна ділянка відключається запобіжником або автоматом. Застосування лише одного занулення в даній установці не забезпечує повного захисту, тому що у разі обриву нульового дроту та замикання фази на корпус зберігається можливість ураження електричним струмом.

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки поразки людини струмом у разі дотику до корпусу електроустановки та інших нетоковедущим частинам.

Захисне відключення – швидкодіючий відключення аварійного частка або мережі в цілому при виникненні замикання на корпус або безпосередньо на землю, а також при дотику до частин, що знаходяться під напруженням. Захисне відключення вимагає постійного контролю за підтримкою працездатності пристрою захисного відключення, що дуже важко, а також при відмові пристрою захисного відключення електроустановка залишається без будь-якого захисту.

Для живлення установки використовується чотирипровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В з частотою 50 Гц. За технологічними вимогами така мережа краща, тому що вона дозволяє використовувати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Чотирипровідна мережа із заземленою нейтраллю живить як силове навантаження (електродвигун, насос), включену між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і джерело напруги ЕГП з МЖС, що підключається між фазним і нульовим проводами, тобто на напругу 220 В. Крім того за умовами безпеки у випадку

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

дотику до фазного проводу така мережа безпечніша.

З метою ліквідації небезпечного ураження електричним струмом при порушенні ізоляції та появі на корпусах обладнання небезпечної напруги використовується захисне занулення. Фізична сутність занулення полягає в тому, що, завдяки навмисно виконаному з нульового захисного провідника металевому зв'язку корпусів обладнання з глухозаземленою нейтраллю джерела живлення, будь-яке замикання на корпус перетворюється на однофазне коротке замикання.

При зануленні мають бути виконані такі умови:

$$I_{K3} \geq k \cdot I_{ном}, \quad (67)$$

де k – коефіцієнт кратності номінального струму плавкою вставки запобіжника, $k = 3$;

$I_{ном}$ – номінальний струм плавкою вставки запобіжника, А.

Номінальним струмом плавкою вставки називається струм значення, якого вказано безпосередньо на вставці заводом–виробником у вигляді набивання. Номінальний струм $I_{ном} = 60$ А. Значення I_{K3} залежить від фазної напруги мережі опору ланцюга, у тому числі від повного опору трансформатора Z_T , фазного провідника Z_ϕ , нульового захисного провідника Z_{H3} , зовнішнього індуктивного опору петлі «фазний провід – нульовий захисний провід» (петлі «фаза–нуль») ХП, активного опору заземлень нейтралі обмоток трансформатора R_0 .

Вираз для I_{K3} матиме вигляд:

$$I_{K3} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_{II}}, \quad (4.12)$$

де $Z_{II} = Z_\phi + Z_{H3} + X_n$ – комплексний повний опір петлі «фаза–нуль».

Питомий опір фазного проводу:

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$R_{\phi} = \rho \frac{L_{\phi}}{S_{\phi}} \quad (4.13)$$

Для фазного проводу: $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, $L_{\phi} = 300 \text{ м}$, $S_{\phi} = 25 \text{ мм}^2$.

Звідси опір фазного проводу:

$$R_{\phi} = 0,028 \cdot \frac{300}{25} = 0,336(\text{Ом}).$$

Питомий опір нульового проводу:

$$R_{НЗ} = \rho \frac{L}{S} \quad (4.14)$$

Для нульового проводу: $\rho = 0,058 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, $L = 300 \text{ м}$, $S = 50 \text{ мм}^2$.

Тоді питомий опір нульового проводу:

$$R_{НЗ} = 0,058 \cdot \frac{300}{50} = 0,348(\text{Ом}).$$

Значення X_{ϕ} и $X_{НЗ}$ малі, ними можна знехтувати. Значення X_{Π} можна визначити за формулою:

$$X_{\Pi} = 0,145 \lg \frac{d_{cp}}{k d_{\phi}}, \quad (4.15)$$

де k – коефіцієнт кратності зовнішнього індуктивного опору петлі «фаза–нуль», $k = 0,3894$;

d_{cp} – відстань між провідниками, м;

d_{ϕ} – геометричний діаметр, м.

Згідно розрахунків: $X_{\Pi} = 0,556 \text{ (Ом)}$, $R_{Д} = 0,02 \text{ (Ом)}$

У відповідності до потужності трансформатора:

$$R_{Т} = 0,0044(\text{Ом}), \quad X_{Т} = 0,0127(\text{Ом}).$$

Повний опір петлі «фаза–нуль»:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{НЗ} + R_{\phi} + R_{Д})^2 + X_{\Pi}^2}, \quad (4.16)$$

$$Z_{\Pi} = 0,716(\text{Ом}).$$

При використанні занулення за вимогами ПУЕ повинна виконуватися

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

умова: $\frac{R_{H3}}{R_{\phi}} < 2$.

$$\frac{R_{H3}}{R_{\phi}} = \frac{0.348}{0.336} = 1,04 < 2, \text{ умова виконується.}$$

Відповідно, струм короткого замикання для ЕГП з МЖС:

$$I_{K31} = \frac{220}{0,013 + 0,716} = 301,6(\text{A}).$$

Струм короткого замикання для силового навантаження:

$$I_{K32} = \frac{380}{0,013 + 0,897} = 417,6(\text{A}).$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{k_3 P}{U_{\phi} \eta \cos}$$

Для плавкой вставки повинна виконуватись умови.

$$I_{\text{ном}} = \frac{I_{\text{кз}}}{k} \quad (4.17)$$

Для напруги 220 В: $43,086 < \frac{301,6}{3} = 100,533$ умова виконується.

Для напруги 380 В: $59,657 < \frac{417,6}{3} = 139,2$ умова виконується.

При попаданні фази на заземлений корпус електроустановки має відбутися автоматичне вимкнення.

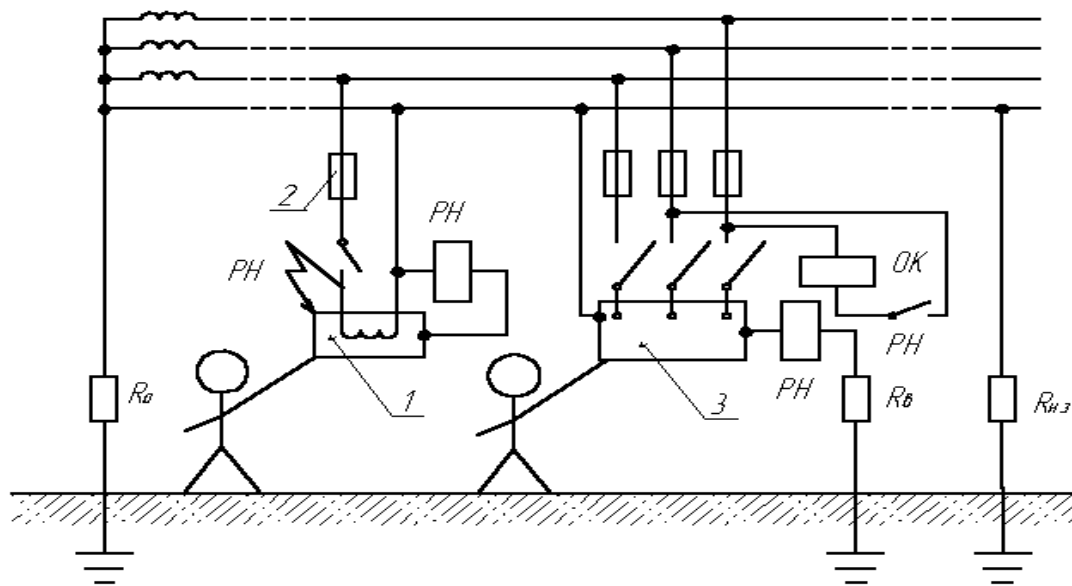
Якщо автоматичне відключення не відбудеться, тоді перегорить плавка вставка цим забезпечується додатковий захист.

Так як $301,6 > 120$; $417,6 > 120$, то захисне занулення виконано і здатність системи до відключення забезпечена.

В якості додаткового заходу захисту до занулення прийнято пристрій захисного відключення (ПЗВ), що реагує на потенціал корпусу. ПЗВ розглянутого типу усуває небезпеку ураження людей струмом при виникненні на зануленому корпусі підвищеного потенціалу.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Принципова схема ПЗВ, що реагує на потенціал корпусу для ЕГП з МЖЗ та електродвигуна, представлена на рисунку 4.1.



1 – корпус ЕГД з МЖЗ; 2 – запобіжники; 3 – корпус електродвигуна;
 R_0 – опір заземлення нейтралі; $R_в$ – опір допоміжного заземлення; $R_{нз}$ – опір повторного заземлення нульового захисного проводу; РН – реле максимальної напруги; ОК – вимикаюча котушка автоматичного вимикача

Рисунок 4.1 – Схема захисного занулення із пристроєм захисного відключення, що реагує на потенціал корпусу.

Датчиками в цій схемі є реле максимальної напруги. При замиканні фази на корпус реле спрацює, викликавши перегорання запобіжників, тобто відключення споживача від мережі.

При замиканні фази на корпус спочатку проявляється захисна властивість занулення, що знижує потенціал корпусу до певної межі ϕ_k . Якщо ϕ_k перевищує $\phi_{k,доп}$, спрацює ПЗВ, тобто відбудеться відключення пошкодженої установки від мережі. В даному випадку вставкою $\phi_{уст}$, що забезпечує безпеку дотику до корпусу пошкодженої установки, є потенціал $\phi_{k,доп}$, при якому напруга дотику не перевищує допустимого $U_{пр,доп}$.

$$\phi_{уст} \leq \phi_{k,доп}$$

									Арк.
									57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ				

Виразимо $\varphi_{уст}$ через відому $U_{пр.доп}$. З врахуванням того, що $U_{пр.доп} = \varphi_{к.доп}$ $\alpha_1 \alpha_2$, вираз для установки:

$$\varphi_{уст} \leq U_{пр.доп} / \alpha_1 \alpha_2, \quad (4.18)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнти напруги дотику.

Якщо в період дотику до корпусу людина може стояти поза полем розтікання струму із захисного заземлення і при цьому опір основи, на якій він стоїть, невеликий, то необхідно прийняти $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$. Тоді вставка

$$\varphi_{уст} \leq U_{пр.доп} \quad (4.19)$$

Напруга $U_{пр.доп}$ не повинна перевищувати тривалість 60 Вольт: $\varphi_{уст} \leq 60В$.

Напруга спрацьовування реле $U_{сп}$ має бути менше $U_{пр.доп}$, оскільки потенціал корпусу $\varphi_{к.доп}$ виявляється прикладеним не тільки до опору обмотки реле Z_p , але і до опору допоміжного заземлення R_b :

$$U_{сп} = U_{пр.доп} Z_p / (Z_p + R_b) \alpha_1 \alpha_2 \quad (4.20)$$

В дійсній формі

$$U_{сп} = U_{пр.доп} \frac{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}{\alpha_1 \alpha_2 \sqrt{(R_p + R_b)^2 + X_p^2}}, \quad (4.21)$$

де R_p і X_p – активний та індуктивний опір обмотки реле, Ом.

Звідси:

$$R_b = \sqrt{\frac{U_{сп}^2}{U_{пр.доп}^2} \alpha_1^2 \alpha_2^2 (R_p^2 + X_p^2) - X_p^2 - R_p^2}. \quad (4.22)$$

Це рівняння при відомих параметрах реле, а також $U_{пр.доп}$, α_1 , α_2 дозволяє визначити найбільше значення R_b , при якому забезпечується спрацьовування захисту.

В ПЗВ застосовано реле напруги, у якого напруга спрацьовування $U_{сп} = 30В$, активний опір обмотки $R_p = 400$ Ом, індуктивний опір обмотки $X_p = 200$ Ом. Припустимо, що людина, що стосується корпусу, стоїть на сирій землі поза зоною розтікання струму із заземлювачів, тобто вважаємо, що

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$\alpha_1=\alpha_2=1$. Підставимо відповідні значення знаходимо опір допоміжного заземлення:

$$R_B = \sqrt{\frac{60^2}{30^2} \cdot 1^2 \cdot 1^2 \cdot (400^2 + 200^2) - 200^2 - 400^2} = 470 \text{ (Ом)}.$$

Отже, при опорі допоміжного заземлення $R_B=470\text{Ом}$ ПЗВ спрацюватиме, якщо напруга дотику досягне 60 Вольт.

Неправильна експлуатація приладів та обладнання може призвести до пожежі або вибуху. Пожежна безпека передбачає такий стан об'єкта, при якому виключалося б виникнення пожежі, а у разі її виникнення запобігалось б впливу на людей небезпечних факторів пожежі, та забезпечувався захист матеріальних цінностей.

Згідно з ПУЕ–85 приміщення з пожежо– та вибухонебезпечності поділяються на пожежонебезпечні та вибухонебезпечні. Так як при експлуатації установки в якості робочої рідини використовується паливно–мастильна рідина з температурою спалаху більше 120 °С, то приміщення відноситься до вибухонебезпечних (клас В–Іа). Пристрій відповідно до ПУЕ–85 по пожежонебезпечних зонах відноситься до класу П–І.

Пожежа може виникнути як через причини електричного, так і не електричного характеру. До причин електричного характеру відносяться коротке замикання, перевантаження, великий перехідний опір, статичну електрику. До причин не електричного характеру можна віднести порушення режимів експлуатації, куріння, залишення без нагляду нагрівальних приладів, несправність обладнання, самозаймання та самозаймання речовин, та інші фактори.

Пожежна безпека забезпечена за допомогою систем запобігання пожежі та систем пожежного захисту.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

До систем запобігання пожежі в приміщенні можна віднести: запобігання утворенню джерел запалення; підтримання температури пального середовища нижче максимально допустимого по горючості; правильний вибір перерізів проводів і провідників за допустимою щільністю струму; забезпечення пожежної безпеки обладнання, електроустановок, систем опалення та вентиляції. До заходів щодо пожежного захисту відносяться: ізоляція пального середовища; запобігання розповсюдженню пожежі за межами вогнища; застосування засобів пожежогасіння та пожежної сигналізації; застосування засобів протипожежного захисту та пожежогасіння; своєчасне сповіщення про пожежу та евакуацію людей.

Оскільки в приміщенні присутнє електрообладнання під напруженням, то для гасіння пожеж рекомендується використовувати двоокис вуглецю для припинення подачі кисню до вогнища займання. Можливе застосування вогнегасних порошків. Первинними засобами пожежогасіння в даному випадку можуть бути ручні вогнегасники типу ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, ОУБ-3, ОУБ-7 або пересувні типу ОУ-25, ОУ-80.

Як засоби виявлення пожежі застосована протипожежна сигналізація з димовими датчиками.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

Система автоматичного управління паливоподачею дизельного двигуна, розроблена в представленій роботі, повністю задовольняє вимогам технічного завдання.

При розробці були проаналізовані та враховані сучасні тенденції розвитку автоматики, проведено класифікацію САР. На підставі проведеного аналізу пристроїв були обрані пристрої відповідні за технічними параметрами. Підібрано передавальні функції кожного пристрою. Проведено розрахунок статичних і динамічних характеристик системи, побудовані АФЧХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ, БЛАЧХ, перехідний процес. На підставі проведених розрахунків було зроблено висновок, що для стійкості в систему необхідно ввести коригуючу ланку.

У САУ паливоподачі дизельного двигуна був використаний новий електрогідравлічний підсилювач потужності – перетворювач "сопло–магніторідинна заслінка", який при порівняннях зі своїми з прототипами показав перевагу над ними по конструкції та економічності, а також більшого коефіцієнта підсилення.

Робота з установкою ЕГПП була розглянута з позиції охорони праці та безпеки життєдіяльності, а також робота установки у можливих надзвичайних ситуаціях.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Стрижак А. І. Гідравлічні і пневматичні системи автоматизації технологічних процесів: підручник / А. І. Стрижак. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 416 с.

2 Лунченко І. Б. Гідравлічні системи різання: навчальний посібник / І. Б. Лунченко, В. І. Хіміч. – К.: КНЕУ, 2010. – 260 с.

3 Близнюк Б. В. Гідравліка, пневматика та гідропривід: підручник / Б. В. Близнюк, О. Л. Дворецький, О. В. Дуб. – Рівне: НУВГП, 2019. – 416 с.

4 Левчук А. М. Гідравліка і гідропневматика: підручник / А. М. Левчук, А. Ф. Сальков. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 480 с.

5 Industrial Hydraulic Control: 2nd Edition / Peter Rohner. – Wiley, 2015. – 330 p.

6 Hydraulic System Maintenance: 1st Edition / Leslie Kirk. – Wiley, 2005. – 128 p.

7 Fluid Power Control: 1st Edition / Peter Rohner. – Wiley, 2014. – 390 p.

8 Design of Electrohydraulic Systems for Industrial Motion Control: 1st Edition / John Watton. – Wiley, 2003. – 232 p.

9 Барсук Р. В. Гідравліка: навчальний посібник / Р. В. Барсук, Г. М. Компанець. – К.: КНЕУ, 2012. – 460 с.

10 О. М. Іванов, О. В. Воробйов Конструкції гідравлічних систем управління: навчальний посібни. – К.: Центр учбової літератури, 2016. – 312 с.

11 Холодильник В. А. Гідравліка та гідропневматика: навчальний посібник / В. А. Холодильник, М. С. Кравченко. – К.: Центр учбової літератури, 2014. – 256 с.

12 Industrial Hydraulic Systems: 1st Edition / Joji Parambath. – CRC Press, 2020. – 420 p.

13 Сільвестров А.М. Островерхов М.Я., Шефер О.В., Ладік Н.А., Зіменков Д.К. Системи автоматичного керування технологічними комплексами:

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

навчальний посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 466 с/

14 Тудвасєва Г.В., Власов В.В., Електрогідравлічний підсилювач потужності типу "сопло – магніторідинна заслінка". Збірник доповідей 6 Міжнародної наукової конференції «Автоматизація та управління у машино– та приладобудуванні». Дніпропетровськ, 2003. С.158–164.

15 Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно–інтегровані технології», освітньо–професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно–інтегровані технології кібер–енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.

16 Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник.—2–ге видання, перероб. І доп. – К.: Либідь, 2007. –656 с.

17 Аляєв О. М. Промислова гідравліка: навчальний посібник / О. М. Аляєв, О. В. Іванова. – К.: Центр учбової літератури, 2015. – 304 с.

18 Гідравліка, пневматика та гідропривод: навчальний посібник / Ю. К. Шаров. – К.: Ліра–К, 2015. – 512 с.

19 Design of Modern Hydraulic Systems: 1st Edition / M. D. Foster. – Boca Raton: CRC Press, 2019. – 476 p.

20 Hydraulic Control Systems Design and Analysis of Their Dynamics: 1st Edition / Piotr Tatjewski. – Springer–Verlag New York, 2008. – 588 p.

21 Гончарук О. О. Гідравлічні та пневматичні системи управління: навчальний посібник / О. О. Гончарук, В. М. Фоменко. – К.: Видавництво НПУ імені М. П. Драгоманова, 2017. – 352 с.

22 Hydraulic Control Systems: 2nd Edition / Noel M. Morris. – Wiley, 2018. – 576 p.

23 Fluid Power System Dynamics: 1st Edition / William Durfee, Zdravko Terze. – Wiley, 2013. – 552 p.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

24 Practical Design of Ships and Other Floating Structures Volume 2 / Elsevier Science. – 2001. – 596 p.

25 Склярів Н.С., Рузняєв Є.С., Волков В.В. Електробезпека: Навчальний посібник. – Херсон: Вид-во Херс. Держ. Ун-ту, 2004. – 215 с.

26 Правила техніки безпеки під час експлуатації електричних установок від 29.11.2012 №1509.

27 Правила пожежної безпеки ЛЕМ. 2019 – 236 с.

28 Колосов Ю.В., Барановський В.В. Захист від вібрацій та шуму на виробництві // Електронна версія на сайті <http://window.edu.ua/resource/441/73441>

29 Л. К. Титова Електромагнітне випромінювання – 2014 // Електронна версія на сайті: http://lib.usfeu.ua/downloads/el-mag_Izl.pdf

30 Б. Б. Левітт Захист від електромагнітних полів, Одеса АСТ, 2007, – 254 с.

31 Є. Колобова, Л. Проскуріна, Н. Рахімова Виробничий шум. Нормування. Методи зниження шуму, Житомер, 2009 р. 104с.

					ДП.АКІТ.8091517.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		