

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, мена факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розроблення і дослідження автоматизованої системи
хромовання виробів

Виконав: студент групи 601МЕ
спеціальності 141
«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(номер і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Рибак Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С.Г.
(прізвище та ініціали)



Полтава - 2023 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
 робототехніки
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
 електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедр
 автоматки, електроніки та
 телекомунікацій


 О.В. Шефер
 " 04 " 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Рибаку Дмитру Валдимовичу

- Тема проекту (роботи) **«Розроблення і дослідження автоматизованої системи хромування виробів»**
 керівник проекту (роботи) Кожушко Г.М., д.т.н., проф.
 затверджена наказом вищого навчального закладу від " 04 " 09 2023 року № 986-фа
- Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023 р.
- Вихідні дані до проекту (роботи) температура електроліту- 40-70 °С; щільність електроліту-150-300г/дм³; мікротвердість-250-1300 кг/мм²; концентрація електроліту-350-450 г/л хромового ангідриду.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз способів відновлення і зміцнення поверхонь деталей. Технологічний процес хромування виробів як об'єкт автоматизації. Обґрунтування необхідної структури автоматизації. Опис розробленої функціональної схеми автоматизації хромування виробів. Система контролю та регулювання температури електроліту. Складання математичної логічної аналітичної моделі системи автоматичного керування. Налаштування параметрів регулювання. Побудова математичних моделей елементів. Структурна схема системи. Побудова ДАЧХ та ЛФЧХ системи. Синтез системи. Розробка блоку нормалізації сигналів від датчиків. Розробка блоку введення даних. Розробка блоку мікропроцесора. Розробка блоку клавіатури, індикації та формування векторів переривання. Розробка блоку введення сигналів на виконавчий механізм.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - Аналіз методів відновлення та зміцнення виробів;
 - Функціональна схема автоматизації хромування виробів;
 - Розробка системи контролю та вимірювання температури електроліту;
 - Розробка системи вимірювання та регулювання рівня електроліту;
 - Схема електрична принципова блоку нормалізації сигналів від датчиків;
 - Схема електрична принципова блоку мікропроцесора системи керування;

- 7) Схема електрична принципів вектору переривання;
 8) Схема електрична принципова пристрою виведення виконавчий механізм;
 9) Алгоритм функціонування САК хромування виробів.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Граничний етап
		Дата	Відсоток виконання	Граничний етап	
1	Аналіз способів відновлення і зміцнення поверхонь деталей. Технологічний процес хромування виробів як об'єкт автоматизації. Обґрунтування необхідної структури автоматизації	12.10.23	10%	I	
2	Опис розробленої функціональної схеми автоматизації хромування виробів. Система контролю та регулювання температурою рівня електроліту	15.10.23	20%	I	
3	Розробка моделі системи автоматичного регулювання температури рівня електроліту. Складання математичної логічної аналітичної моделі системи автоматичного керування	20.10.23	30%	I	
4	Налаштування параметрів регулювання. Система вимірювання та регулювання рівня електроліту. Розробка структурної схеми системи регулювання	06.11.23	40%	I	
5	Функціональна схема системи регулювання. Побудова математичних моделей елементів. Структурна схема системи	10.11.23	50%	I	
6	Побудова ЛАЧХ та ЛФЧХ системи. Синтез системи. Розробка блоку нормалізації сигналів від датчиків	12.11.23	60%	II	
7	Розробка блоку введення даних. Розробка блоку мікропроцесора	16.11.23	70%	II	
8	Розробка блоку клавіатури, індикації та формування векторів переривання	13.12.23	80%	II	
9	Розробка блоку виведення сигналів на виконавчий механізм		90%	III	
10	Оформлення магістерської роботи	13.12.23	100%		

Магістрант

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Комісія

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Аналіз способів відновлення і зміцнення поверхонь деталей	8
1.2 Технологічний процес хромування виробів як об'єкт автоматизації	17
1.3 Обґрунтування необхідної структури автоматизації	25
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	
2.1 Опис розробленої функціональної схеми автоматизації хромування виробів	27
2.2 Система контролю та регулювання температурою електроліту	29
2.2.1 Розробка моделі системи автоматичного регулювання температури електроліту	30
2.2.2 Складання математичної логічної аналітичної моделі системи автоматичного керування	31
2.2.3 Інструментальна модель системи автоматичного регулювання температури рідини в ванній	36
2.2.4 Налаштування параметрів регулювання	38
2.3 Система вимірювання та регулювання рівня електроліту	41
2.3.1 Розробка структурної схеми системи регулювання	43
2.3.2 Вибір елементів САК	43
2.3.3 Функціональна схема системи регулювання	47
2.3.4 Побудова математичних моделей елементів	48
2.3.5 Структурна схема системи	54
2.3.6 Побудова ЛАЧХ та ЛФЧХ системи	55
2.3.7 Синтез системи	57
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	
3.1 Розробка блоку нормалізації сигналів від датчиків	61
3.2 Розробка блоку введення даних	66
3.3 Розробка блоку мікропроцесора	70

	5
3.4 Розробка блоку клавіатури, індикації та формування векторів переривання	83
3.5 Розробка блоку виведення сигналів на виконавчий механізм	91
3.6 Розробка функціонування підсистем автоматизованої ділянки	94
ВИСНОВКИ	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	99
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність роботи. Тверде зносостійке електролітичне хромування застосовують для підвищення зносостійкості та відновлення деталей машин, контрольного, вимірювального та різального інструменту, а також формоутворювальних елементів штампів і прес-форм, діркопробивних пуансонів і матриць. Типовий технологічний процес хромування виконують за схемою: електрохімічне анодне або хімічне знежирення; промивання в теплій воді, промивання в холодній воді; декапування; промивання в холодній воді; анодна обробка; хромування; вловлювання хрому з електроліту; обробка в розчині метабісульфіту натрію; промивання в холодній воді, сушіння; зневоднювання (у міру потреби). Хромовану поверхню попередньо шліфують або полірують. Тому впровадження сучасних засобів автоматизації технологічного процесу хромування деталей є актуальним.

Автоматизація технологічних процесів є одним із вирішальних факторів підвищення продуктивності та покращення умов праці. Всі існуючі та промислові об'єкти, що будуються в тій чи іншій мірі оснащуються засобами автоматизації. При масовому виробництві виробів особливо актуальна автоматизація. В даний час на промислових підприємствах при автоматизації технологічних процесів та об'єктів широко використовуються мікропроцесорні комплекси. Це пов'язано з низкою позитивних особливостей мікропроцесорів як елементів керуючих пристроїв систем автоматизації, основними з яких є програмованість та відносно велика обчислювальна потужність, що поєднуються з достатньою надійністю, малими габаритними розмірами та вартістю.

Метою магістерської роботи є розроблення автоматизованої системи хромування виробів, а саме впровадження безперебійної системи контролю та регулювання температури, рівня та кислотності електроліту, щільності струму.

Об'єктом магістерської роботи є технологічний процес хромування деталей.

Предметом магістерської роботи є дослідження можливості впровадження автоматизованої системи регулювання технологічним процесом хромування виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати способи відновлення і зміцнення поверхонь деталей;
- обґрунтувати необхідність структури автоматизації;
- розробити функціональну схему автоматизації хромування виробів;
- розробити модель системи автоматичного регулювання температури електроліту;
- скласти математичну модель системи автоматичного керування температури електроліту та параметрів її налаштування;
- розробити структурну схему системи регулювання рівня електролізу;
- вибрати елементи САК;
- розробити функціональну схему та побудувати математичну модель елементів;
- розробити блок нормалізації сигналів від датчиків, блок введення даних, блок мікропроцесора, блок клавіатури, індикації та формування векторів переривання.

Методи дослідження: при теоретичному аналізі в роботі використовувалися методи ідентифікації динамічних об'єктів, теорії лінійних і нелінійних систем автоматичного керування, теорії дискретних систем, теорії механізмів і машин, теорії теплопровідності, а також методи математичного моделювання на персональному електронному обчислюваному місці (ПЕОМ). Теоретичні дослідження підтверджені натурними і обчислювальними експериментами об'єкта і системи автоматичного керування технологічним процесом хромування виробів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз способів відновлення і зміцнення поверхонь деталей

Відомо, що технологічний процес, який повертає деталі у робочий стан та відновлює ресурси після того, як частина матеріалу, яка була втрачена або пошкоджена в результаті зношування, буде повернута до стандартного рівня властивостей, які змінилися під час тривалої експлуатації є процесом відновлення деталей.

Також, є сенс зайнятися зміцненням деталей, тобто зробити їх більш стійкими до руйнування, надлишкової деформації або передчасного зношування.

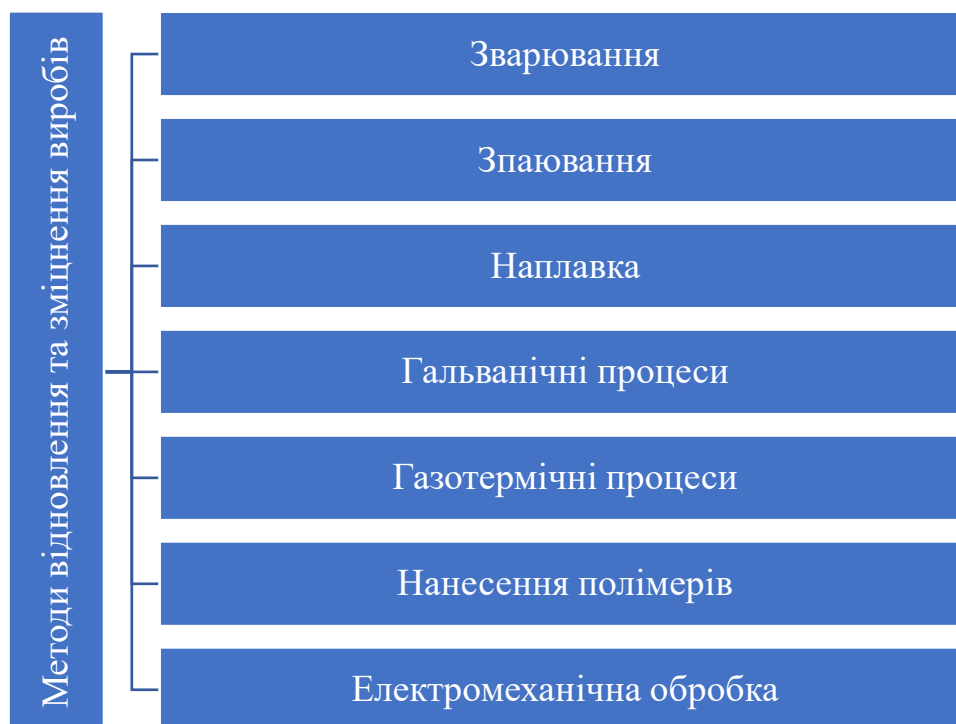


Рисунок 1.1 – Способи відновлення та зміцнення поверхонь деталей

Для відновлення зношених деталей машин та апаратів, а також для зміцнення та нанесення шарів на поверхню деталей з особливими властивостями у промисловості застосовують різні способи [2].

Електролітичне металопокриття – осадження металу з утворенням покриття на поверхні виробу під час пропускання струму між анодом та катодом, наприклад: нікелювання, хромування.

Хромування – нанесення хрому або його сплаву на металевий виріб для надання поверхні комплексу фізико-хімічних властивостей: корозійної стійкості, зносостійкості, жаростійкості, високих механічних та електромагнітних властивостей. Залежно від характеру взаємодії поверхні виробу з хромом, процес хромування здійснюється різними способами, серед яких найбільш поширені електролітичний і дифузійний [7].

Електролітичне хромування – найпоширеніший гальванічний процес, що увійшов у промислову практику в 20-х роках. ХХ ст. Хромуванню піддають переважно вироби зі сталі та чавуну, а також зі сплавів на основі міді, цинку, нікелю та алюмінію. Хромове покриття характеризується високою хімічною стійкістю, що обумовлена здатністю хрому пасивуватися. Через труднощі отримання тонкого безпористого покриття надійний захист від корозії може бути досягнутий при нанесенні більш економічного тришарового захисно-декоративного покриття мідь-нікель-хром (товщина шару хрому 1 мкм). Обкладену попередньо відполіровану поверхню хром має дзеркальний блиск і сріблястий з синюватим відливом колір. Для запобігання корозії та надання декоративного вигляду хромують багато деталей автомобілів, велосипедів, трамвайних і залізничних вагонів, вимірювальних приладів, лічильних і пишучих машин, годинників, парої водопровідної арматури, медичні інструменти тощо. Інша цінна властивість хромового покриття – високий опір механічному зношенню. Для підвищення поверхневої твердості і зносостійкості хромують деталі, що труться, наприклад циліндри двигунів внутрішнього згорання, поршневі кільця, калібри. У цих випадках покриття наносять товщиною більше 1 мм. Розроблено спосіб «пористого хромування», що полягає в анодній обробці хромованих деталей, при якому у покритті формуються пори, що утримують мастило. Іноді сталеві вироби піддають комбінованому хромуванню, що забезпечує захист металу від корозії, і

високий опір зносу. Головний компонент електроліту при електролітичному хромуванні – хромово кислота.

Нікелювання – нанесення на поверхню виробів нікелевого покриття (товщиною, як правило, від 1...2 до 40...50 мкм). Нікелюванню піддаються переважно вироби зі сталі та сплавів на основі Cu, Zn та Al; рідше – вироби з Mg, Ti, W, Mo та сплавів на їх основі; розроблені способи нанесення нікелю на неметалічній поверхні – кераміку, пластмаси, бакеліт, порцеляну, скло та ін. захисно-декоративні цілі [5].

Отже, електролітичне та хімічне нікелювання є двома найбільш поширеними та ефективними методами. Зазвичай, матове нікелювання проводиться електролітичним способом. У практиці використовуються найбільш досліджені та стійкі сірчаноокислі електроліти. Блискучого нікелювання можна досягти, якщо до електроліту додати спеціальні блискоутворювачі. Не менш важливим є пористість електролітного покриття, яке залежить від ретельності підготовки поверхні основи та товщини покриття. Для запобігання процесу корозії потрібно позбавитися пористості поверхні, для цього поверхню обробляють міддю або наносять багат шарове покриття, яке, звичайно, надійніше, ніж одношарове. Поряд з тим, у числі недоліків електролітичного нікелювання є нерівномірне осадження нікелю на рельєфній поверхні та неможливість покриття отворів або порожнин.

Розглянемо декілька прикладів нікелюванням під сухим тертям. Нікельованими, зазвичай, є деталі хімічної апаратури, медичного та спеціального інструменту, автомобілів, велосипедів, вимірювального інструменту тощо. Відомо, що з часом нікелеві покриття дещо втрачають свій блиск. Саме тому, запроваджена практика нікельовані поверхні покривати більш стійкішим хромом.

Отже, хімічне металопокриття поверхонь створюється шляхом осадження іонів металу з водяного розчину без використання електричного струму.

Хімічні покриття відрізняються високим рівномірним осадженням по всій поверхні. Такі покриття характеризуються високою захисною здатністю через низьку пористість, що є важливим під час експлуатації приладів. Нікелеве покриття активно використовується для захисту енергетичного обладнання, яке працює навіть при температурі 600–650 °С у газовому середовищі. Також, нікелем покривають магнієві та титанові частини вертолітних роторів, алюмінієві дзеркала, які використовуються на супутниках у космосі, хірургічні інструменти, деякі деталі годинника від пошкодження тощо.

Останнім часом металізація діелектриків стала сучасним хімічним методом нанесення покриттів, який надає поверхні електропровідні властивості. Популярним є використання металізованих пластмас, які мають високу зносостійкість, теплостійкість, хімічну та механічну міцність. Також, використання таких покриттів набирає обертів через естетичні міркування, адже вони мають привабливий вигляд та є стійкими до світла. Автомобільна промисловість широко використовує металізовану пластмасу у виготовленні деяких приладів для автомобілів. У легкій промисловості також використовується вищезазначена технологія покриття, адже декоративно-металізовані пластмаси використовують для виготовлення іграшок, прикрас, оздоблення меблів та безлічі інших побутових виробів [17].

Існує кілька способів хімічного осадження металевих покриттів із водних розчинів:

- 1) контактний;
- 2) контакт-хімічний;
- 3) спосіб хімічного відновлення.

Гаряче металопокриття зануренням – утворення покриття шляхом занурення виробу у ванну розплавленого металу.

Цинкування. Серед численних процесів нанесення захисних покриттів на сталеві та чавунні вироби цинкування займає одне з провідних місць. За обсягом і номенклатурою виробів, що захищаються від корозії, цинковим

покриттям немає рівних серед інших металевих покриттів. Це обумовлюється різноманіттям технологічних процесів цинкування, їхньою відносною простотою, можливістю широкої механізації та автоматизації, високими техніко-економічними показниками. Практичний досвід показує, що особливо жорсткими умовами експлуатації характеризуються нафтовидобувна галузь, суднобудування та морський флот, нафтопереробна та автомобільна промисловість. У зв'язку з цим представляє великий практичний інтерес використання в цих умовах експлуатації цинкових захисних покриттів нового покоління. Аналіз властивостей цинкових покриттів та умов експлуатації різних металоконструкцій і трубопроводів у зазначених вище галузях промисловості показує, що покриття для використання в цих умовах повинно мати не тільки підвищену корозійну стійкість, але бути також стійким до абразивного зносу і мати високий ступінь зчеплення з поверхнею виробу, що захищається. Наприклад, для труб нафтового сортаменту з нарізними кінцями покриття має не тільки захищати від корозії, але й забезпечувати різьбове з'єднання труб високу зносостійкість та герметичність. Порівняння основних властивостей і результатів корозійних випробувань різних цинкових покриттів показує, що для жорстких умов експлуатації найбільш підходять дифузійні цинкові покриття, які наносять на вироби шляхом їх хіміко-термічної обробки порошкових сумішах на основі цинку або в розплаві цинку методом гарячого цинкування [18].

Алюмініювання. За даними різних досліджень, алюмінієве покриття приблизно в 6 разів стійкіше за цинкове при однаковій вазі і в 2,5 рази при однаковій товщині покриття.

З усіх методів занурення в розплавлений метал алюміній отримав у США промислове застосування ще в тридцяті роки минулого століття. В даний час цей процес широко поширений у багатьох країнах, що виробляють листовий прокат та труби. Цей метод використовують для покриття листів достатньої ширини, а також покриття виробів різної форми. Основні труднощі на шляху розвитку гарячого алюмінію – це окислення сталі та розплавленого

алюмінію, а також утворення крихкої сполуки $FeAl_3$ за підвищеної температури. І те, й інше перешкоджає адгезії покриття до основного металу.

Алюмінована сталь відрізняється низкою цінних властивостей, у тому числі гарною адгезією лакофарбових покриттів (після хроматування). У ряді випадків алюмінієва сталь може замінювати дорожчі жаростійкі сплави. Механічні властивості алюмінованої сталі при підвищеній температурі значно вища, ніж алюмінію. При температурі вище $470^\circ C$ алюміній дифундує проміжний сплав і сталь, утворюючи твердий розчин. Внаслідок цього жаростійкість покриття підвищується.

Дифузійне насичення шару металу за високої температури у спеціальному середовищі [20].

Хіміко-термічна обробка (ХТО). З метою підвищення зносостійкості поверхонь деталей машин застосовують різні види хіміко-термічної обробки. Хіміко-термічною називається обробка, що полягає в поєднанні термічного та хімічного впливу з метою зміни складу, структури та властивостей поверхневого шару сталі. Одним із видів ХТО є дифузійне насичення. При ХТО відбувається поверхневе насичення сталі відповідним елементом (С, N, Al, Cr, Si тощо) шляхом його дифузії в атомарному стані із зовнішнього середовища (твердого, газового, парового, рідкого) при високій температурі.

Відомо, що хіміко-термічна обробка проходить у трьох етапах. На першому етапі відбувається утворення активних атомів поблизу або безпосередньо на поверхні металу. На другому етапі відбувається адсорбція активних атомів поверхнею насичення. На останньому третьому етапі відбувається дифузія-переміщення адсорбованих атомів у решітці оброблюваного металу.

Останнім часом процеси азотування, нітроцементациї та цементациї або науглецювання широко використовуються для підвищення довговічності найважливіших деталей машин та установок. Поряд з тим, рідше застосовується поверхневе насичення кремнієм та бором. Таким прикладом є автомобільні, тракторні, верстатні компоненти тощо [11].

Вакуумне осадження іонів.

Відомо, що вакуумні іонно-плазмові методи є одним із сучасних методів нанесення захисту на покриття. Такий метод базується на дії на поверхню деталі потоків частинок з високою енергією. Особливістю вакуумних іонно-плазмових методів є пряме перетворення електричної енергії на енергію технологічного впливу за допомогою структурно-фазових перетворень в осадженому або поверхневому шарі деталі, поміщеної у вакуумну камеру.

Розглянемо детально основні переваги вищерозглянутих методів. Однією з переваг буде створення високого рівня фізико-механічних властивостей матеріалів на тонких поверхневих шарах та створення щільних покриттів з тугоплавких хімічних сполук. Крім того, ці методи можуть забезпечити високу адгезію покриття до підкладки, рівномірність покриття по товщині, різноманітність складу покриття в межах одного технологічного циклу та високу чистоту покриття.

Відзначимо, що процес нанесення емалі на поверхню металу для подальшого захисту його від високих температур, стирання та корозії, а також у декоративних цілях є процесом емалювання. Наступним етапом буде випалення емалі для її оплавки та закріплення.

Вивчимо детально властивості емалі. Склоподібна речовина, що складається з оксидів, яку плавлять та наносять одним або декількома шарами на металевий виріб є емаллю. У технологічному процесі виготовлення емалі відбувається узгодження фізико-механічних характеристик металу та оксидної системи, для забезпечення міцного зчеплення та прийнятний рівень напруги в обох компонентах. В даному випадку, може виникнути проблема металостекляних спаїв. Отже, ми дійшли висновку, що різні метали можна емальювати різними емаллями [2].

Оцінюючи реалії сьогодення маємо все більшу тенденцію до використання більш легкоплавких емалей. Така технологія емалювання легких сплавів стає досить популярною. Маємо декілька прикладів. Температура плавлення евтектика в алюмінієвих ливарних сплавах близько 450 °С, тоді як

алюміній чистотою 99,5 % має температуру плавлення 658 °С. Для уникнення деформації продуктів, температура формування емалевого покриття сплавів повинна значно відрізнятись. Коли потрібно забезпечити електричну ізоляцію чи антикорозійний захист напівпровідникових металів, таких як кремній або германій, будемо мати проблеми, адже температура їх нагрівання зазвичай перевищує 300–350 °С.

Відзначимо, що процес плавлення металу на поверхні, яка вже була оплавлена, за допомогою теплоти газу, електричної чи плазмової дуги називають наплавленням.

Ручне дугове наплавлення покритими електродами (РДН). Універсальний спосіб, придатний для наплавлення деталей різної форми та призначення у всіх просторових положеннях. Легування наплавленого металу здійснюється через стрижень електрода та (або) через покриття. Щільність струму при наплавленні повинна становити не більше 10...12 А/мм², щоб уникнути інтенсивного перемішування основного і металів, що наплавляються [5].

Перевагами РДН є простота, доступність та мобільність обладнання та технології, можливість отримання наплавленого металу практично будь-якої системи легування.

Недоліки – низька продуктивність; важкі умови праці; мінливість якості наплавленого шару; велике проплавлення основного металу.

Напилення – утворення на поверхні виробу покриття з нагрітих до плавлення або близького до нього стану частинок матеріалу, що розпилюється, з використанням теплоти спалюваного газу або електричного розряду в газових середовищах.

Плазмове порошкове напилення (ППН) – полягає у нанесенні покриття з окремих частинок порошкового матеріалу, нагрітого та прискореного за допомогою високотемпературного плазмового струменя.

Спосіб застосовується при виготовленні деталей зі спеціальними та декоративними властивостями поверхні: зносостійкістю (за винятком деталей,

що зазнають ударно-абразивного зношування), антифрикційністю, корозійностійкістю, жаростійкістю, кавітаційностійкістю, ерозійностійкістю, електроізоляцією, стійкістю проти фрет.

Температура нагрівання деталей при ППН вбирається у 100...150 °С. Плазмоутворюючим газом є, як правило, аргон чи повітря. Як порошковий матеріал, що формує покриття, використовуються різні матеріали та сплави, тугоплавкі сполуки, оксиди, полімери та їх композиції розміром частинок до 100 мкм.

Порівняно з газополум'яним, електродуговим та детонаційним напиленням, з процесами наплавлення та осадження даний спосіб нанесення покриттів має наступні переваги [7]:

- високий коефіцієнт використання порошку (до 85 %);
- міцність зчеплення покриття з основою (до 60 МПа) ;
- низька пористість покриття;
- висока продуктивність процесу;
- універсальність за рахунок отримання покриттів із більшості матеріалів без обмеження їх температур плавлення;
- нанесення покриття на вироби, виготовлені практично з будь-якого матеріалу;
- відсутність обмежень за розмірами напилюваних виробів;
- низький термічний вплив на основу, що напилюється, що дозволяє уникнути деформацій, змін розмірів виробів, а також виключити небажані структурні перетворення основного металу;
- нанесення покриття на локальні поверхні;
- нанесення покриття з мінімальними припусками для подальшої механічної обробки;
- низька витрата аргону;
- можливість автоматизації процесу.

Плазмове порошкове напилення застосовується в машинобудуванні для відновлення і зміцнення підшипників ковзання, завзятих підшипників,

гідроциліндрів, плунжерів, направляючих токарних верстатів, шпинделів і валів, шнеків екструзійних машин, витяжних і згинальних штампів, матриць для пресування.

В автомобільній промисловості ППН застосовується для ремонту колінчастих валів, поворотних цапф, деталей коробки передач, кулачків розподільчих валів, ступиць маховиків двигуна, валів водяних насосів та вентиляторів, головок блоку циліндрів, поршневих кілець, клапанів ДВС, гальмівних барабанів, кульових пальців кермового керування [11].

В електротехнічній та хімічній промисловості ППН використовується для нанесення шарів на конденсатори, поверхні антен, вентиляційні лопатки турбогенераторів, торцеві ущільнення електричних машин, стрічкопротяжні механізми, магнітні головки, ролики для подачі дроту та сопла зварювальних установок крильчатки та вали кислот.

ППН застосовується також для виготовлення побутової техніки: напилюють днища каструль, сковорідок, електронагрівальні пристрої тощо.

1.2 Технологічний процес хромування виробів як об'єкт автоматизації

Створення перших виробничих установок із хромування відноситься до кінця 20-х років поточного сторіччя. За минулий період хромові покриття, порівняно з іншими гальванічними покриттями, набули найбільш широкого поширення. Таке положення пояснюється цінними властивостями хрому, що дозволяють поєднувати в покритті гарний зовнішній вигляд та корозійну стійкість із високою твердістю та зносостійкістю [17].

Важливою областю хромування є захисно-декоративні покриття. Поряд з цим хромові покриття набули широкого поширення в машинобудуванні для збільшення зносостійкості нових деталей машин та інструменту, а також для відновлення зношених деталей. Останнє набуло особливо великого значення при ремонті двигунів внутрішнього згоряння у зв'язку із створенням технології пористого хромування.

Сполуки шестивалентного хрому є сильними окислювачами. Усі хромові кислоти відносяться до сильних; у міру ускладнення їх складу ступінь їхньої дисоціації в розведених розчинах зростає. Оксид Cr_2O_3 має амфотерні властивості. З'єднання Cr^{2+} , що мають основні властивості, нестійкі.

Електрично обложений хром має низку цінних властивостей: високою твердістю, зносостійкістю, термостійкістю та хімічною стійкістю.

Добре полірована поверхня хрому має високі декоративні якості, що відрізняються стабільністю в часі: хром не тьмяніє навіть після нагрівання до 670 – 720 К. Сірчисті сполуки на хром не діють [18].

Таблиця 1.1 – Цілі використання хромування виробів

Цілі	Пояснення
Для захисно-декоративних цілей	Хромове покриття з підшаром міді та нікелю добре захищає сталь від корозії, надаючи виробам гарного вигляду. Захисно-декоративному хромуванню піддають деталі автомобілів, велосипедів, приладів тощо
Для збільшення відбивної спроможності	Відбивна здатність хромового покриття поступається лише відбивної здатності срібла та алюмінію, проте внаслідок більш високої стійкості проти окислення відбивна здатність хрому більш стабільна. Тому хромове покриття широко використовується у виробництві дзеркал, відбивачів, прожекторів
Для збільшення зносостійкості	Хромування з цією метою використовується в інструментальному виробництві при обробці мірильних інструментів, фільтр для волочіння металів тощо. Великий ефект дає хромування штампів та матриць при виготовленні різних виробів із гуми, пластмас, шкіри, скла. У цьому випадку хромове покриття не тільки забезпечує зносостійкість, але також виключає налипання матеріалів, що пресуються, до поверхні матриць. Хромове покриття значно знижує змочування стін форм розплавленим склом або металом. Значне підвищення зносостійкості поверхонь, що труться, стінок циліндрів і поршневих кілець двигунів внутрішнього згоряння досягається при застосуванні процесів пористого хромування
Для відновлення зношених розмірів	Нарощування шару хрому на зношені поверхні термооброблених валів, втулок дозволяє відновити розміри деталей і збільшити термін експлуатації виробів

Хром має велику стійкість проти впливу багатьох кислот і лугів: він нерозчинний у розчинах азотної та сірчаної кислот, у соляній та гарячій сірчаній кислотах легко розчиняється, на повітрі та під дією окислювачів пасивується – на його поверхні утворюється тонка окісна плівка.

Хромові покриття застосовують у таких випадках:

1. Номенклатура деталей, що піддаються хромуванню для підвищення зносостійкості, досягає великих розмірів: деталі мірювальних інструментів, граничні калібри, ріжучий інструмент – мітчики, свердла, розгортки, фрези, протяжки, долб'яки та ін., інструмент для холодної обробки металів тиском – волочильні глазки матриці для листового штампування, штампи для холодного штампування тощо.

2. Процес хромування сильно залежить від температури електроліту і щільності струму. Обидва фактори впливають на зовнішній вигляд і властивості покриття, а також вихід хрому по струму. Необхідно пам'ятати, що з підвищенням температури вихід струму знижується; з підвищенням щільності струму вихід струмом зростає; при нижчих температурах і незмінною щільності струму виходять сірі покриття, а за підвищених – молочні [20].

За певних умов електролізу можна отримати чотири основні типи хромових опадів, що представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Типи хромованих опадів

Тип опадів	Пояснення
Молочні	при температурі 65–70 °С і щільності струму 15–25 а/дм ² і характеризуються мікротвердості 250–275 кг/мм ²
Блискучі	при температурі 48–60 °С і щільності струму 30–100 а/дм ² ; характеризуються мікротвердістю 900–1242 кг/мм ² та широко розгалуженою сіткою тріщин
Матові	при температурі 40–45 °С і щільності струму 45–50 а/дм ² ; характеризуються високою мікротвердістю 1100–1300 кг/мм ² , крихкістю та наявністю сітки тріщин
Пористі	при температурі 50–60 °С і щільності струму 300–100 а/дм ² з подальшою анодною обробкою; характеризуються мікротвердості 950–1030 кг/мм ² і широко розвиненою сіткою каналів або точок, що сполучаються

Типи електролітів.

Більша кількість електролітів, запропонованих для хромування, як основний компонент мають у своєму складі хромовий ангідрид і відрізняються концентрацією в різних електролітах.

Концентрація хромового ангідриду в електролітах з добавкою сірчаної кислоти може змінюватись в широких межах (від 100 до 500 г/л). Для одержання покриття хорошої якості треба, щоб відношення концентрацій $\text{CrO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$ в електроліті підтримувалося постійним на рівні близько 100. Значне зниження концентрації сірчаної кислоти в електроліті викликає відкладення сірих недоброякісних опадів хрому, збільшення її концентрації – відкладення дрібнозернистих блискучих опадів [2].

Збільшення концентрації хромового ангідриду підвищує електропровідність розчину. Зміна концентрації сірчаної кислоти у зазначених межах практично не впливає на електропровідність розчину.

Розсіювальна здатність помітно зростає в електролітах зі зниженою концентрацією хромового ангідриду, і це особливо проявляється при хромуванні в електролітах деталей з розвиненим рельєфом.

Осадження на катоді сірих хромованих матових покриттів відбувається при низьких температурах електролізу (35°C і нижче) і будь-якої щільності струму. Покриття, отримані при цих режимах електролізу в сульфатних ваннах, відрізняються високою крихкістю та слабким зчепленням.

Блискучі хромовані покриття виходять при середніх температурах електроліту $45\text{--}65^\circ\text{C}$ широкому діапазоні щільностей струму. Осадження блискучого хрому можливе і за вищих температур електроліту з мало-концентрованих розчинів при високих щільності струму. Блискучий хром має найбільш високу твердість, гарне зчеплення з основним металом та відносно невелику крихкість [5].

Осади молочного хрому отримують при високих температурах електроліту (вище 65°C) і щільності струму $25\text{--}30\text{ А/дм}^2$. Покриття молочного

хрому, порівняно з іншими, мають низьку твердість, значну пластичність, меншу пористість і завдяки цьому більш високу захисну здатність.

Вибір концентрації електроліту здійснюється відповідно до характеру покриття та конфігурації деталей.

Концентровані електроліти містять 350–450 г/л хромового ангідриду. Вони мають порівняно низький вихід по струму і погану розсіювальну здатність. Разом з тим концентровані електроліти відрізняються відносно гарною здатністю, що криє, що дозволяє застосовувати їх при декоративному хромуванні деталей складної форми. Завдяки низькому омичному опору можливо встановлювати значні відстані (180–200 мм) між електродами при обмеженій напрузі джерела струму, а знижені щільності струму дозволяють покривати одночасно великі катодні площі [7].

Електроліти з низькою концентрацією хромової кислоти (малоконцентровані) містять 100–150 г/л хромового ангідриду. Режим хромування: 50–120 А/дм² та 55–60°C. Протикорозійне щільне покриття виходить при температурі електроліту 65–70 °С та щільності струму 25–30 А/дм²; швидкість нарощування хрому становить 13–15 мкм/год. Хромові покриття, отримані з мало-концентрованих електролітів, мають високу твердість та зносостійкість. У мало-концентрованих електролітах менше руйнується ізоляція на деталях та підвісних пристосуваннях. Ці електроліти застосовуються для підвищення зносостійкості деталей і інструментів, що труться, відновлення зношених або забракованих за розмірами деталей, а також для захисного та захисно-декоративного хромування. Недоліком мало-концентрованих електролітів вважається потреба у частішому коригуванні електроліту додаванням хромового ангідриду.

Основні дефекти хромованих виробів.

Дотримання режиму електролізу та своєчасне коригування електроліту є запорукою отримання доброякісного хромового покриття. Низька якість підготовки поверхні перед покриттям та відступу від встановленої технології

є основними причинами виникнення дефектів. Основні дефекти хромових покриттів представлені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні дефекти хромових покриттів [11]

Вид дефекту	Причина виникнення
Відшаровування покриття	а) Погана механічна чи хімічна підготовка поверхні виробу перед покриттям. б) Деталь перед хромуванням недостатньо прогрілася в електроліті. Різко знизилася температура електроліту, наприклад, внаслідок додавання холодної води під час електролізу. Різко збільшилася щільність струму. в) Перерва струму у процесі хромування
Відшаровування хрому разом із підшаром нікелю	Недостатнє зчеплення нікелю із основним металом деталі; неправильний рН нікелевого електроліту
Кроюча здатність електроліта знизилась	Сильне забруднення електроліту залізом чи міддю
Відсутність хрому на поглиблених ділянках поверхні виробу	Погана здатність електроліту, що криє. Необхідно зробити «поштовх струму» перед покриттям
Відсутність покриття на окремих ділянках поверхні виробу	Екранування ділянки поверхні виробу іншим виробом на тій самій підвісі або сусідній підвісі
Відсутність хромового покриття навколо отворів	Не зроблена зачеканка отворів свинцем
Сіре покриття на нижній частині деталі	Мінімальна відстань між нижньою частиною деталі та дном ванни. Нормальна відстань між деталлю та дном ванни повинна становити не менше 70–100 мм

Таким чином, з аналізу видів хромування та необхідності хромування деталей складаємо наступну технологічну лінію з ванн:

- 1 – ванна з водою визначення поверхні деталі;
- 2 – ванна для знежирення деталей;
- 3 – ванна для промивання після знежирення;
- 4 – ванна зі стандартним електролітом для отримання блискучого та молочного хрому;
- 5 – ванна для промивання виробів після ванни №4;

6 – ванна з електролітом метахром для чорного хромування деталей машинобудування;

7 – ванна для промивання виробів після ванни №6;

8 – ванна для декоративного хромування;

9 – ванна для промивання виробів після ванни №8.

Іноді встановлюють дві ванни для промивання після кожної ванни з електролітом.

Умови хромування.

Найчастіше зносостійкого хромування піддаються сталеві та чавунні деталі машин. Хімічний склад металу деталі, що покривається, рідко служить перешкодою до хорошого зчеплення. Однак слід мати на увазі, що сталі з високим вмістом вольфраму та кобальту, а також високовуглецеві та висококремністі чавуни не можна покривати хромом. Також важко отримати хороше зчеплення при хромуванні деталей, поверхневий шар яких зазнає значної внутрішньої напруги, наприклад, в результаті неправильно проведеного загартування [17].

Знежирення.

Знежирення органічними розчинниками. Для видалення консервуючого шару густого мастила, наприклад, гарматного сала, технічного вазеліну або солідолу, деталі укладають у дротяний кошик або завішують на гаки і занурюють попередньо на 10 – 15 хв. в бачок з веретеною олією, підігрітим до 80 – 90 тонкий шар веретенного масла, що залишився на деталях, видаляють бензином або іншими розчинниками.

Хімічне знежирення у лужних розчинах застосовують головним чином при обробці великих партій дрібних деталей. Склад та режим знежирення залежить від природи металу, характеру забруднень та способу очищення. деталі укладають у залізні сітчасті кошики і занурюють у гарячий лужний розчин. всякого роду рух миючого розчину щодо поверхні деталей у багато разів прискорює мийну дію.

Електрознежирення завдяки швидкості процесу та високої якості очищення є найбільш доцільним. Електрохімічне знежирення можна проводити на катоді та аноді. Як постійні електроди завішують листи нікельованого заліза. Роль лужного розчину є допоміжною і полягає в освіті емульсії з частинками олії [18].

При видаленні з поверхні деталі жирових забруднень слід мати на увазі, що сталеві загартовані тонкостінні деталі, що працюють при значних удельних навантаженнях, не допускається знежирювати на катоді; в цьому випадку застосовується анодне знежирення чи знежирення хімічним способом.

Режими хромування, що забезпечують отримання блискучих (твердіших) та молочних (порівняно м'яких та еластичних) опадів, вибираються в залежності від призначення деталей, умов їх служби та вимог, що пред'являються до покриття.

Основні характеристики процесу.

Технологічний процес електрохімічного осадження металу характеризується значним кількістю параметрів, від точності підтримки яких залежить якість і товщина гальванопокриття. Найбільш важливими з них є щільність струму, вихід струму, тривалість технологічного процесу, температура, хімічний склад електроліту, рН-електроліту, рівень електроліту.

Необхідність автоматичного контролю та автоматичного підтримання низки основних параметрів особливо різко виникла на стадії створення АСУ ТП гальванічних ліній, у яких на основі особистого досвіду оператора, як це було раніше, практично неможливо коригувати режим роботи кожної ванни.

Ванни повинні бути універсальними і придатними для обробки довільного числа деталей різної форми, система, що забезпечує електричні параметри технологічного процесу, повинна дозволяти гнучко змінювати картину розподілу електричного струму в електроліті та здійснювати регулювання за значеннями середніх місцевих щільностей струму на найбільш характерних ділянках деталей. Останнє зумовлено великою різницею між середньою щільністю струму та середніми місцевими щільностями струму.

Особливу складність є завданням отримання оптимального електричного поля, оскільки воно залежить від ряду факторів: конфігурації та геометричних розмірів деталей; їх розташування у ванні; від взаємного розташування; питомої електропровідності електроліту та однорідності його властивостей в обсязі ванни; геометричних розмірів анодів та їх розташування у ванні; стану поверхні анодів та деталей. Тому в реальних системах можливе лише отримання місцевих густин струму, що не виходять за межі заданих технологічних допусків. Абсолютне значення середньої щільності струму залежить від виду покриття та особливостей відповідного технологічного режиму.

1.3 Обґрунтування необхідної структури автоматизації

Раціональне керування та вдосконалення процесів та проведення їх в режимах, близьких до оптимального, неможливо здійснити без автоматизації цих процесів.

Однак визначення економічного оптимуму за наявності ряду технологічних обмежень та змінних умов виробництва (способу та типу складання) є надзвичайно важким завданням. Варіанти схем автоматизації необхідно вибирати в залежності від виду виробництва, конфігурації та габаритних розмірів виробів, що збираються тощо.

Застосовуючи засоби автоматизації, що широко використовуються у вітчизняній промисловості, існує можливість повністю автоматизувати весь процес хромування виробів. Це завдання досягається застосуванням при автоматизації процесу хромування мікропроцесорної обчислювальної техніки. Широкий набір апаратних засобів та багатий досвід створення мікропроцесорних систем автоматичного керування дозволяють повною мірою автоматизувати хромування виробів.

Переваги мікропроцесорних систем керування:

- 1) багаторазово збільшується обсяг інформації про об'єкт керування;

2) керування з мікропроцесорної системи керування здійснюється за обчислюваними параметрами, а не за окремими параметрами, за складними алгоритмами керування;

3) покращується якість керування за точністю, за швидкодією, збільшується стійкість системи;

4) функціональна схема автоматизації з використанням МСУ є фактично однією системою керування, що містить велику кількість підсистем;

5) існує можливість підключення МСУ до ЕОМ найвищого рангу.

При розробці функціональної схеми автоматизації вся система розбивається ряд підсистем залежно від виконуваної функції. Розрізняють підсистеми місцевого, дистанційного контролю, сигналізації та керування.

У магістерській роботі необхідно розробити процес автоматичного хромування виробів.

Потрібно передбачити у проекті:

- систему контролю та регулювання щільності струму;
- систему вимірювання та регулювання рівня електроліту;
- систему контролю та регулювання температури електроліту;
- систему контролю та регулювання кислотності електроліту.

Висновки за розділом

Для ремонту зношених деталей машин та обладнання, зміцнення поверхні деталей зі спеціальними властивостями та нанесення шарів у промисловості застосовують різні методи. Хромування передбачає нанесення хрому або його сплавів на металеві вироби для надання поверхні ряду фізико-хімічних властивостей (корозійнастійкість, зносостійкість, жароміцність, високі механічні та електромагнітні властивості). Раціональний контроль і вдосконалення процесів та їх експлуатація в умовах, близьких до оптимальних, були б неможливими без автоматизації цих процесів.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Опис розробленої функціональної схеми автоматизації хромування виробів

З урахуванням вимог до системи автоматизації та враховуючі технологічні необхідності точності та регульованості процесів на рисунку 2.1 представлено запроновану систему автоматизації хромування виробів.

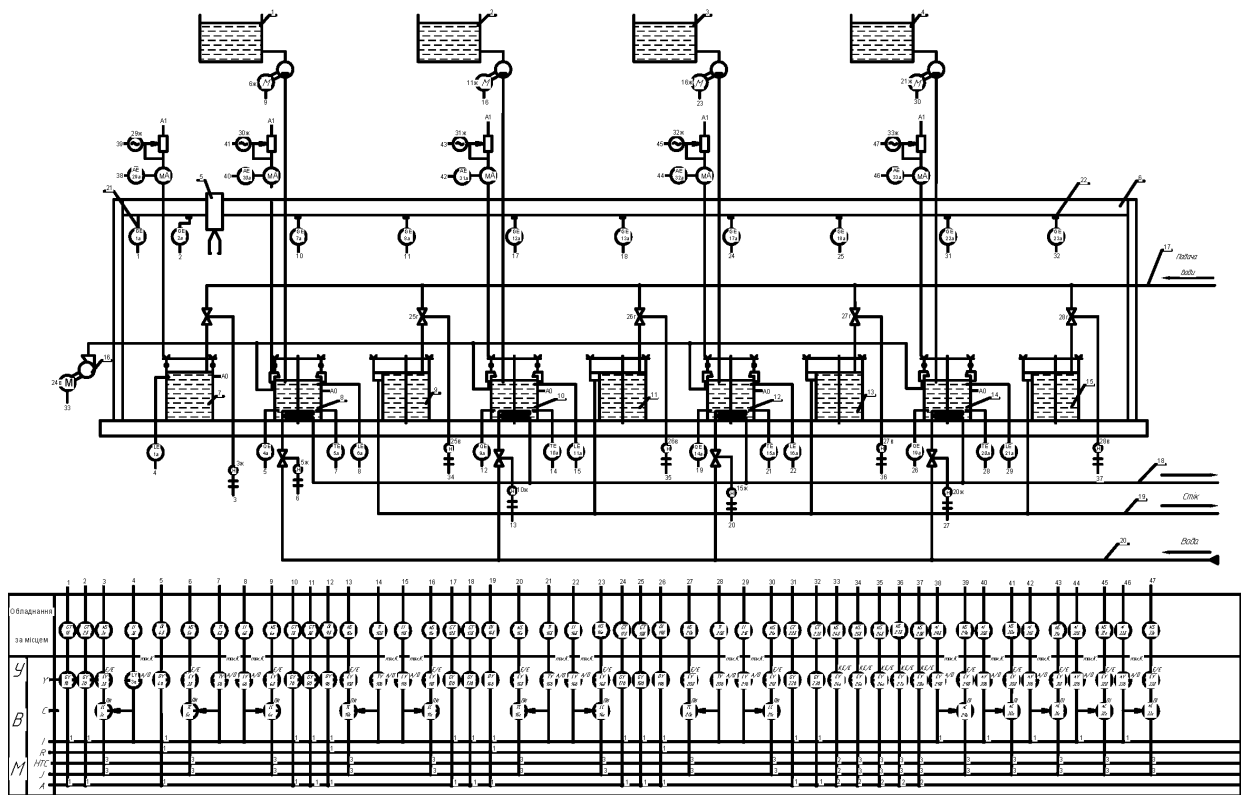


Рисунок 2.1 – Запронована система автоматизації
хромування виробів

- 1 – бак із розчином для знежирення виробів; 2 – бак із стандартним електролітом;
 3 – бак із електролітом метахром; 4 – бак із електролітом для декоративного хромування; 5 – автооператор (робот); 6 – рейси; 7 – ванна з водою визначення поверхні деталі; 8 – ванна для знежирення деталі; 9 – ванна для промивання після знежирення;
 10 – ванна зі стандартним електролітом для отримання блискучого та молочного хрому; 11 – ванна для промивання виробів після ванни №10; 12 – ванна з електролітом метахром для чорного хромування деталей машинобудування; 13 – ванна для промивання виробу після ванни №12; 14 – ванна для декоративного хромування; 15 – ванна для промивання виробу після ванни №14; 16 – вентилятор для відведення шкідливих випарів із поверхні електроліту; 17 – лінія подачі води у ванні 7, 9, 11, 13, 15; 18, 19 – лінії стоку води; 20 – подача води; 21, 22 – кінцеві вимикачі.

Ця система містить:

- систему контролю та регулювання щільності струму;
- систему вимірювання та регулювання рівня електроліту;
- систему контролю та регулювання температури електроліту;
- систему контролю та регулювання кислотності електроліту.

Система контролю та регулювання щільності струму.

Підсистема автоматичного регулювання щільності струму є однією з найважливіших. Від її параметрів та характеристик багато в чому залежить якість технологічного процесу.

При побудові підсистеми використовують перетворювачі щільності струму, потужні джерела струму, що регулюються, і узгоджувальні пристрої, що забезпечують узгодження цих перетворювачів і джерел струму. Підсистема складається з автономних регуляторів, число яких дорівнює числу ванн. Сигнал уставки залежно від особливостей виробництва та технологічного процесу задається або за допомогою керуючої ЕОМ за заданою програмою, або залишається постійним.

Ця система побудована на наступних елементах:

- датчики по струму (29а, 30а, 31а, 32а, 33а);
- регулятори (29г, 30г, 31г, 32г, 33г), що відпрацьовують пропорційно-інтегральний закон керування;
- регулюючі елементи (29ж, 30ж, 31ж, 32ж, 33ж), що управляються за сигналами регулятора.

Система вимірювання та регулювання рівня електроліту.

При експлуатації гальванічних ліній рівень електроліту змінюється внаслідок випаровування води та винесення його під час вивантаження виробів. Зміна рівня електроліту при автоматизованому завантаженні може призвести до того, що над частиною їхньої поверхні буде шар електроліту малої товщини або деякі ділянки виявляться в повітрі. Якщо частина деталі виявиться поблизу поверхні електроліту, то нерівномірність розподілу щільності струму цьому ділянці істотно збільшиться. Це обумовлено

порушенням однорідності електроопору середовища, що оточує деталь. Тому для отримання рівномірної товщини покриття над верхньою частиною деталі повинен знаходитися значний шар електроліту, так щоб середовище, що оточує деталь, могло вважатися квазіоднорідним. Для забезпечення цього в АСУ ТП гальванічної лінії необхідно мати підсистему автоматичної підтримки рівня електроліту. Вона має забезпечувати підтримку рівня не більше від заданого нижнього до заданого верхнього значень.

Ця система побудована на наступних елементах:

- датчики рівня електроліту (6а, 11а, 16а, 21а);
- регулятори (6г, 11г, 16г, 21г), що відпрацьовують пропорційно-інтегральний закон керування;
- регулюючі елементи (6ж, 11ж, 16ж, 21ж), що керуються за сигналами регулятора.

Систему контролю та регулювання температури електроліту.

Ця система побудована на наступних елементах:

- датчики температури електроліту (5а, 10а, 15а, 20а);
- регулятори (5г, 10г, 15г, 20г), що відпрацьовують пропорційно-інтегральний закон керування;
- регулюючі елементи (5ж, 10ж, 15ж, 20ж), що керуються за сигналами регулятора.

2.2 Система контролю та регулювання температурою електролізу

У магістерській роботі наведено математичну модель системи автоматичного керування температурою електроліту в ваннах 8, 10, 12, 14, проведено дослідження та визначено тип та раціональні значення параметрів налаштування регулятора.

Два потоки компонентів подаються в апарат (вода та хромовий антигідрид), де відбувається їхнє перемішування за допомогою, зануреної в суміш крильчатки. Внаслідок цього процесу виходить суміш необхідної

температури, яка потім відводиться з апарату. Керування процесом здійснюється шляхом зміни витрати 2-го компоненту.

2.2.1 Розробка моделі системи автоматичного регулювання температури електроліту

Принципова схема регулювання температури електроліту на виході теплообмінника-змішувача представлена на рисунку 2.2.

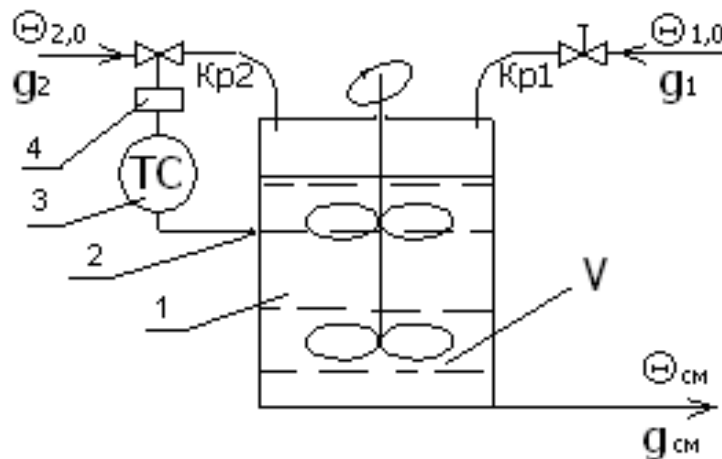


Рисунок 2.2 – Принципова схема регулювання температури
1 – резервуар; 2 – датчик температури; 3 – регулятор; 4 – виконавчий пристрій

Функціональна схема регулювання рівня рідини у ванній представлена на рисунку 2.3. Об'єкт регулювання – кран лінії подачі першого компонента (води) K_{p1} . Робоче тіло – рідкофазний теплоносіє.

Значення параметрів об'єкта регулювання:

$\Theta_{1,0}$ – температура першого компонента (води) 60°C ;

$\Theta_{2,0}$ – температура другого компонента (відповідного електроліту) 10°C ;

$\Theta_{\text{см}}$ – задана температура суміші 40°C ;

C_1 – теплоємність першого теплоносія $1000 \text{ кал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;

C_2 – теплоємність другого теплоносія $580 \text{ кал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;

$C_{\text{см}}$ – теплоємність суміші $620 \text{ кал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;

g_1 – витрата (номінальна) першого теплоносія $0,008333 \text{ м}^3/\text{с}$;

g_2 – витрата (номінальна) другого теплоносія $0,006944 \text{ м}^3/\text{с}$;

V – об'єм зони перемішування 12 м^3 ;

Регульований параметр – температура електроліту (рис.2. 2).

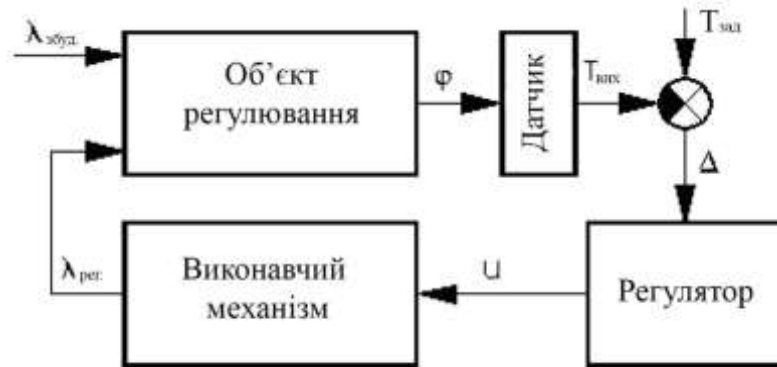


Рисунок 2.3 – Функціональна схема системи автоматичного керування температурою рідини на виході з теплообмінника

$\lambda_{\text{впл}}$ – збурюючий вплив; $\lambda_{\text{рег}}$ – регулююча дія; $T_{\text{вих}}$ – сигнал температури рідини на виході апарату; $T_{\text{зад}}$ – сигнал заданої температури суміші; Δ – неузгодженість; u – сигнал керування.

Провідною є витрата 2-го (холодного) теплоносія.

Датчик температури формує на виході сигнал напруги, пропорційний значення температури рідини на виході апарату.

Регулятор являє собою типовий електричний ПД-регулятор, на вхід якого надходить сигнал неузгодженості, сформований елементом порівняння, як різниця сигналів датчика та задатчика, а на його виході формується сигнал у межах $\pm 10 \text{ В}$.

2.2.2 Складання математичної логічної аналітичної моделі системи автоматичного керування

Математична логічна аналітична модель системи автоматичного керування складається з математичної моделі об'єкта регулювання, математичної моделі датчика температури, математичної моделі елемента порівняння, математичної моделі регулятора, математичної моделі виконавчого пристрою [3].

Об'єкт регулювання розглядається як одноємнісний і може бути описаний диференціальним рівнянням першого порядку виду:

$$T_a = \frac{d\Theta(t)}{dt} + \delta \cdot \theta(t) = \lambda(t); \quad (2.1)$$

де: T_a – постійна часу (час розгону) об'єкта;

Θ – відносна величина регульованого параметра;

δ – коефіцієнт самовирівнювання об'єкта;

λ – відносна величина збурюючого впливу.

Для складання аналітичної моделі необхідно пов'язати параметри диференціального рівняння: час розгону об'єкта та коефіцієнт самовирівнювання з фізичними параметрами об'єкта.

Зміна температури рідини в теплообміннику залежить від:

- 1) кількості теплоти, що вноситься в ванну водою;
- 2) кількості теплоти, що вноситься в ванну відповідним електролітом;
- 3) кількості теплоти, що виноситься з резервуара вихідним потоком.

Об'ємні витрати гарячого носія, температури вхідних потоків, а також обсяг зони перемішування приймаються постійними. Слід мати на увазі, що теплоємність, щільність і температура вихідного потоку дорівнюють теплованній, щільності та температурі середовища, що знаходиться в апараті.

Виходячи з вищевикладених припущень, а також із рівнянь теплового та матеріального балансів записується рівняння, що визначає швидкість зміни вихідної температури [4]:

$$\frac{dT(t)}{dt} = \left[\mu_1 \cdot \theta_{1,0} + \mu_2 \cdot \theta_{2,0} - \mu_3 T(t) \right] \frac{1}{V(t)}; \quad (2.2)$$

де:

$$\mu_1 = g_1 \cdot \frac{C_1}{C_{cm}} = 0,01344 \left[\text{м}^3 / \text{с} \right];$$

$$\mu_2 = g_2 \cdot \frac{C_2}{C_{cm}} = 0,006496 \left[\text{м}^3 / \text{с} \right];$$

$$\mu_3 = g_1 + g_2;$$

$$\mu_3 = 0,008333 + 0,006944 = 0,015277 \left[\text{м}^3 / \text{с} \right].$$

де: $\theta_{1,0}$ – температура водяного потоку 60°C ;

$\Theta_{2,0}$ – температура електролітного потоку 10°C ;

$\Theta_{\text{см}}$ – температура вихідного потоку 40°C ;

C_1 – теплоємність першого теплоносія $1000 \text{ кал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;

C_2 – теплоємність другого теплоносія $580 \text{ кал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;

$C_{\text{сум}}$ – теплоємність суміші $620 \text{ кал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$;

g_1 – витрата (номінальна) першого теплоносія $0,008333 \text{ м}^3/\text{с}$;

g_2 – витрата (номінальна) другого теплоносія $0,006944 \text{ м}^3/\text{с}$;

V – об'єм зони перемішування 12 м^3 .

Розрахуємо температуру теплоносія в ванній в початковий час:

$$T(0) = \frac{\mu_1 \cdot \theta_{1,0} + \mu_2 \cdot \theta_{2,0}}{\mu_3} = 92,23(^{\circ}\text{C}); \quad (2.3)$$

Відхилення температури рідини на виході теплообмінника-змішувача від заданого значення виникає внаслідок коливання температури холодного теплоносія.

Математична модель датчика температури [6]:

$$T \rightarrow T_{\text{вих.}}$$

де: T – температура рідини на виході, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{вих}}$ – сигнал датчика, В.

На об'єкті використано датчик температури, передатна функція якого має вигляд:

$$w_d(s) = k_d; \quad (2.4)$$

Прийmemo $k_d = 1 [^{\circ}\text{C}/\text{В}]$.

Математична модель елемента порівняння:

$$(T_{\text{вих}} - T_{\text{зад}}) \rightarrow \Delta.$$

де: $T_{\text{вих}}$ – сигнал датчика, В;

$T_{\text{зад}}$ – сигнал задатчика, В;

Δ – сигнал неузгодженості, В.

Передатна функція ланки порівняння матиме вигляд:

$$w_{\text{ес}}(s) = T_{\text{вих}}(s) - T_{\text{зад}}(s); \quad (2.5)$$

Математична модель регулятора:

$$\Delta \rightarrow u.$$

де: Δ – сигнал неузгодженості, В;

u – сигнал керування, В.

У моделі використовується ПІД-регулятор, математична модель якого має вигляд:

$$W_{\text{РЕГ}(s)} = P + I \cdot \frac{1}{s} + D \cdot s; \quad (2.6)$$

Математична модель виконавчого пристрою.

Математична модель виконавчого пристрою складається з математичної моделі приладу, математичної моделі електродвигуна, математичної моделі редуктора, математичної моделі механізму приводу штока вентиля.

Математична модель виконавчого пристрою загалом має вигляд:

$$u \rightarrow X_{\text{шт.}}$$

де: u – сигнал керування, В;

$X_{\text{шт}}$ – переміщення штока вентиля, м.

Передатна функція виконавчого пристрою має вигляд [8]:

$$w(s) = k_{\text{cy}} \cdot \frac{0,5}{0,6s + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot k_{\text{рад}} \cdot k_{\text{н.шт}}; \quad (2.7)$$

Математична модель узгоджувального пристрою

$$u \rightarrow f.$$

де: u – сигнал керування, В;

f – частота струму мережі живлення, Гц.

Передатна функція ланки має вигляд:

$$W_{\text{cy}}(s) = K_{\text{cy}}; \quad (2.8)$$

$$K_{\text{cy}} = f / u; \quad (2.9)$$

$$k_{\text{cy}} = 50 / 10 = 5 \text{ [Гц / В.]}$$

Математична модель електродвигуна:

$$f \rightarrow n.$$

де: f – частота струму мережі живлення, Гц;

n – частота обертання ротора двигуна, об/с.

Як електродвигун будемо використовувати асинхронний чотирьох полюсний двигун, для якого синхронна частота обертання ротора n при частоті струму мережі живлення $f = 50$ Гц дорівнює 25 об/с, а залежність частоти обертання ротора від частоти струму мережі живлення лінійна.

Двигун для схеми ($f \rightarrow n$) є ланкою першого порядку, передатна функція якого має вигляд:

$$W_{\text{ДВ}}(s) = \frac{k_{\text{ДВ}}}{T_{\text{ДВ}}s + 1}; \quad (2.10)$$

Коефіцієнт передачі двигуна у разі дорівнює:

$$k_{\text{ДВ}} = n / f; \quad (2.11)$$

$$k_{\text{ДВ}} = 25 / 50 = 0,5.$$

Постійну часу для електродвигунів можна визначити за моментами інерції, або махових моментів ротора, які наводяться в каталогах. Для асинхронних трифазних двигунів єдиної серії потужністю 0,6–1,5 кВт постійну часу ТДВ можна приймати в межах від 0,6–1,8 с.

Однак для подальшого використання нам необхідно отримати перетворення дещо іншого виду:

$$f \rightarrow \psi_1.$$

де: f – частота струму мережі живлення, Гц;

ψ_1 – кут повороту якоря двигуна, об.

У цьому випадку передатна функція набуде вигляду:

$$W_{\text{ДВ}}(s) = \frac{k_{\text{ДВ}}}{T_{\text{ДВ}}s + 1} \cdot \frac{1}{s}; \quad (2.12)$$

Обмежимо переміщення штока вентиля до 0,5 D_y , для чого використовуємо інтегратор із насиченням.

Математична модель редуктора [10]:

$$\psi_1 \rightarrow \psi_2.$$

де: ψ_1 – кут повороту якоря двигуна, об;

ψ_2 – кут повороту вихідного валу редуктора, об.

Передатна функція має вигляд:

$$W_{\text{ред}}(s) = k_{\text{ред}} \text{ або } i_{\text{ред}}; \quad (2.13)$$

Вважаємо, що редуктор приводу, що налаштовується, тому модель приводу повинна містити налаштування.

Математична модель механізму приводу штока вентиля:

$$\psi_2 \rightarrow X_{\text{шт}}.$$

де: ψ_2 – кут повороту вихідного валу редуктора, об;

$X_{\text{шт}}$ – переміщення штока вентиля, м.

Передатна функція має вигляд:

$$W_{\text{п.шт.}}(s) = k_{\text{п.шт.}}; \quad (2.14)$$

Вважатимемо, що переміщення штока вентиля здійснюється механізмом «гвинт-гайка». Крок гайки h приймемо рівним 0,004 м. Тоді $k_{\text{п.шт}} = 0,004$ м/об.

Математична модель ланки формування:

$$\mu \rightarrow \lambda.$$

де: λ – збурююча дія.

Збурюючим впливом для об'єкта регулювання є $\lambda(t)$ – відносне збурення, яке складається з двох збурень: коливань температури холодного теплоносія $\lambda_1(t)$ та температури гарячого теплоносія $\lambda_2(t)$:

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) - \lambda_2(t) = g_1 \cdot C_1 \cdot \theta_{1,0} - g_2 \cdot C_2 \cdot \theta_{2,0}; \quad (2.15)$$

$$\lambda(t) = 0,008333 \cdot 1000 \cdot 100 - 0,006944 \cdot 580 \cdot 10 = 793,0248.$$

2.2.3 Інструментальна модель системи автоматичного регулювання температури рідини в ванній

Модель реалізована у пакеті Matlab, при цьому використаний інструмент візуального моделювання Simulink [4].

Загальна схема інструментальної моделі системи автоматичного регулювання температури рідини в ванній складається з підсистем, представлених чотирма інструментальними моделями.

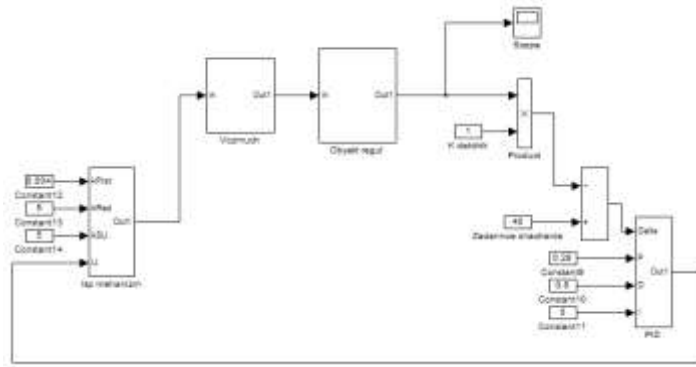


Рисунок 2.4 – Інструментальна модель об'єкта регулювання

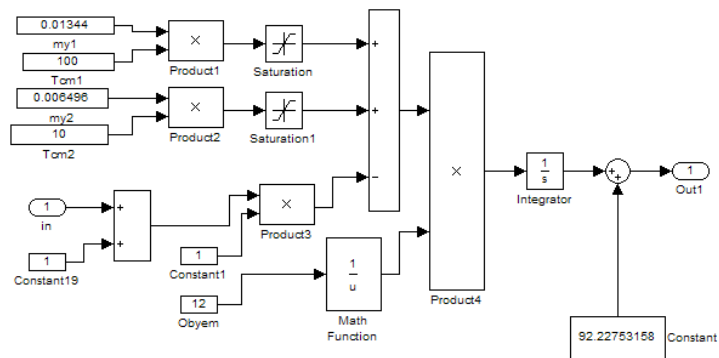


Рисунок 2.5 – Інструментальна модель об'єкта регулювання

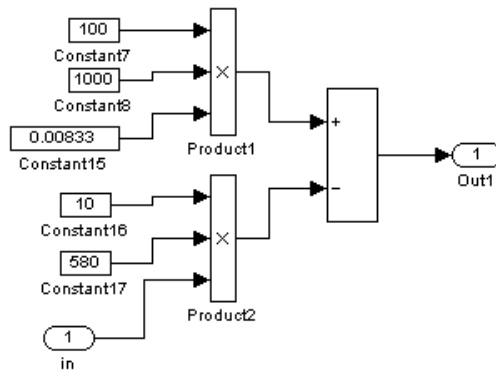


Рисунок 2.6 – Інструментальна модель формувача збурень

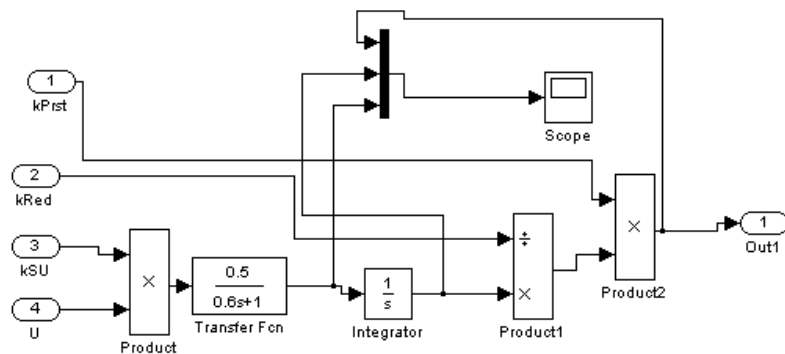


Рисунок 2.7 – Інструментальна модель виконавчого пристрою

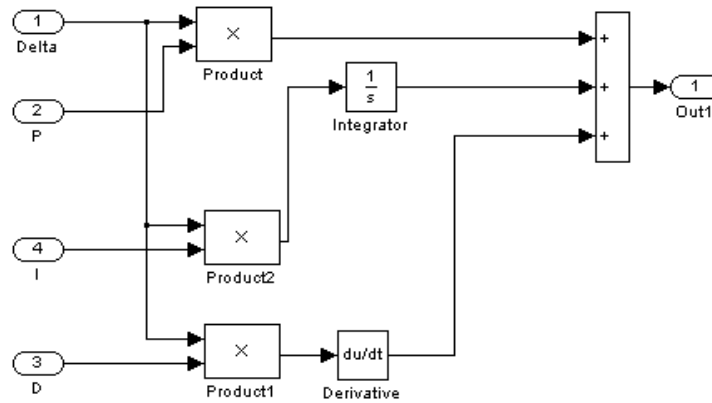


Рисунок 2.8 – Інструментальна модель регулятора

2.2.4 Налаштування параметрів регулювання

Підбираємо вручну параметри регулювання P, I, D задля забезпечення задовільного результату регулювання [21].

У ході ручного підбору встановлено, що задовільними параметрами є:

$$P = 0,5; I = 0; D = 1.$$

Проводимо оптимізацію з переходом по першому поліпшенню, отримані дані заносимо в таблиці 2.1. Найкращим вважаємо результат при найменшому часі регулювання (t_{per}) і при перерегулюванні не перевищує 10 % (σ).

Таблиця 2.1 – Дані якості регулювання за різних коефіцієнтів PID

№	P	I	D	t_{per} , с	σ , %	Графік
1	0,5	0	1	8,5	15	–
2	0,55	0	1	8,65	20	–
3	0,45	0	1	5,85	8,75	Рисунок 2.9
4	0,40	0	1	4,27	2,5	Рисунок 2.10
5	0,36	0	1	5,1	0	Рисунок 2.11
6	0,36	0	1,1	8,35	0	–
7	0,36	0	0,9	6,25	6,25	–
8	0,40	0	1,1	7,5	0	Рисунок 2.12
9	0,40	0	0,9	6,64	11,25	Рисунок 2.13
10	0,40	0,1	1	11,5	63,75	Рисунок 2.14

Згідно з даними з таблиці 2.1, найкращий результат регулювання при коефіцієнтах зазначених у пункті 4. Результати регулювання з коефіцієнтами з пунктів 3, 5, 8 ... 10, що є точками в межах +10 % параметрів пункту 4, мають найгірші параметри регулювання.

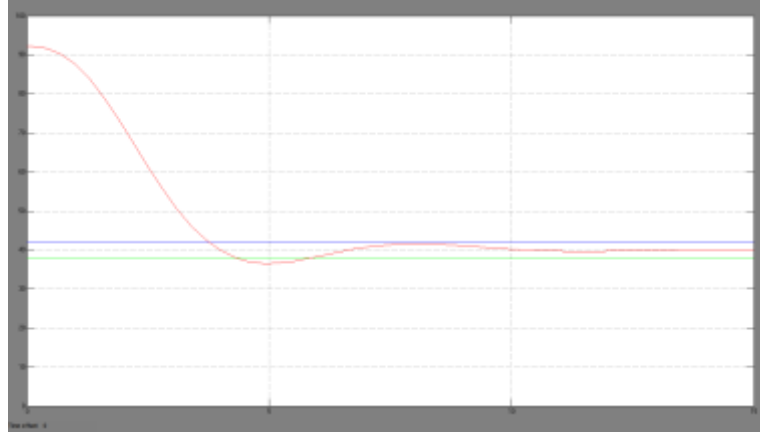


Рисунок 2.9 – Графік перерегулювання при $P = 0,45$; $I = 0$; $D = 1$

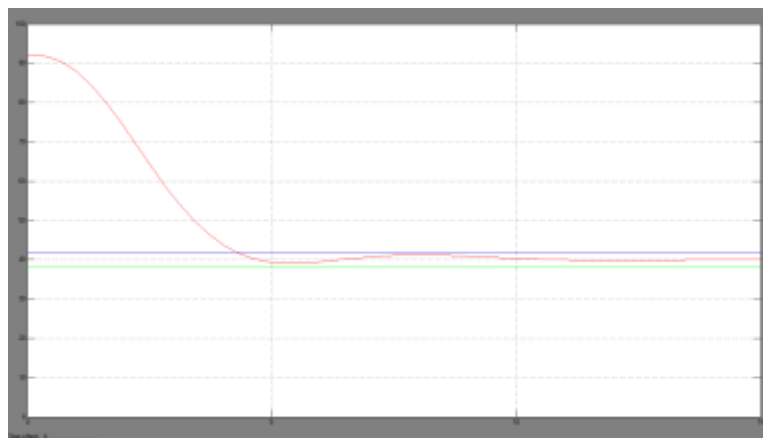


Рисунок 2.10 – Графік перерегулювання при $P = 0,4$; $I = 0$; $D = 1$

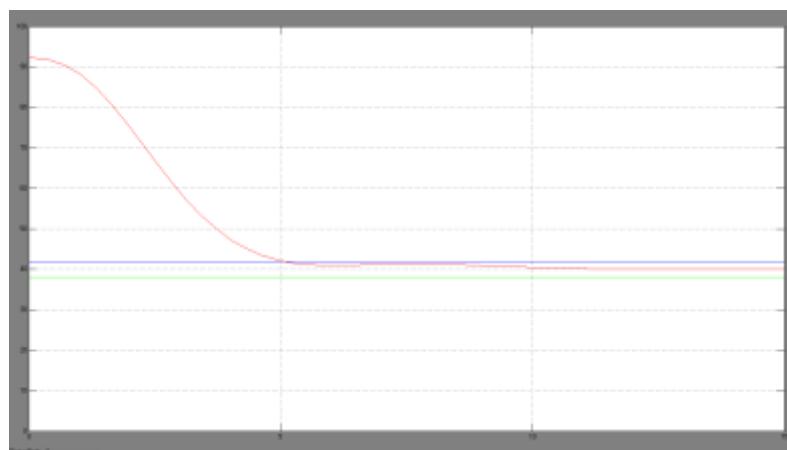


Рисунок 2.11 – Графік перерегулювання при $P = 0,36$; $I = 0$; $D = 1$

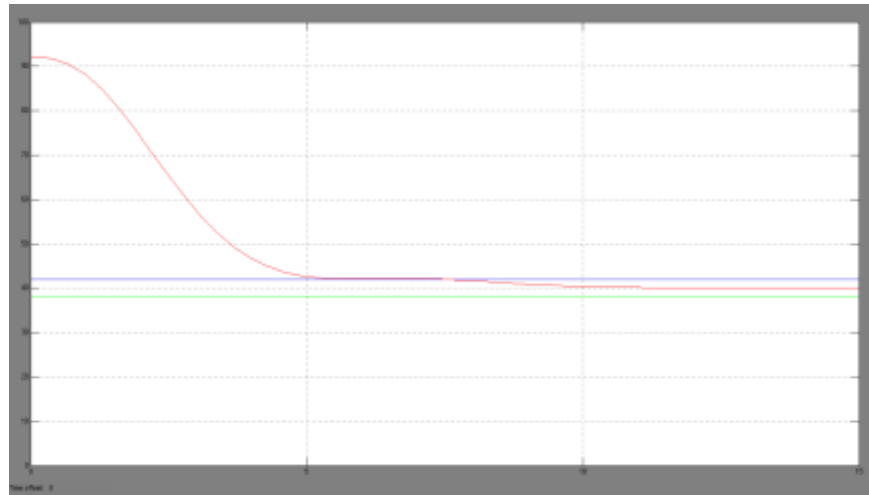


Рисунок 2.12 – Графік перерегулювання при $P = 0,4$; $I = 0$; $D = 1,1$

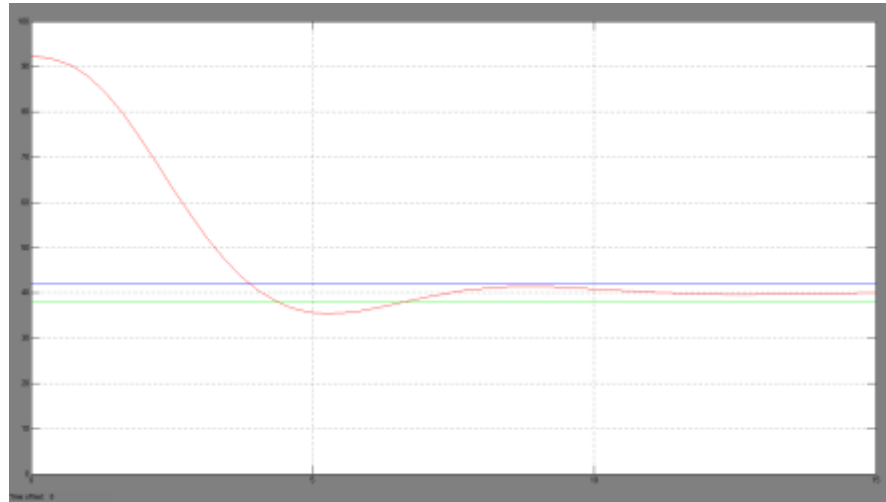


Рисунок 2.13 – Графік перерегулювання при $P = 0,4$; $I = 0$; $D = 0,9$

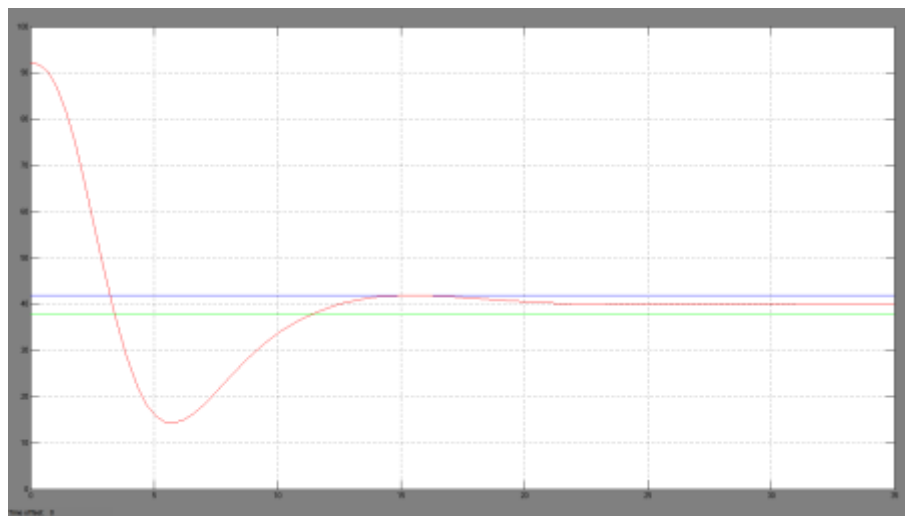


Рисунок 2.14– Графік перерегулювання при $P = 0,4$; $I = 0,1$; $D = 1$

В результаті проведених досліджень встановлено, що:

- 1) збільшення коефіцієнта пропорційної частини регулятора збільшує коливання перехідного процесу;
- 2) введення диференціюючої ланки зменшує перерегулювання та час регулювання, робить перехідний процес схожим;
- 3) послідовне збільшення коефіцієнта диференціює ланки призводить до скорочення амплітуди коливань;
- 4) відсутність статичної помилки можна пояснити наявністю інтегруючої ланки в ланцюзі керування;
- 5) прийнятним регулятором можна вважати ПД-регулятор, так як введення інтегруючої складової робить САК нестійкою;
- 6) прийнятними параметрами налаштування можна вважати: $P = 0,4$; $I = 0$; $D = 1$, так як є допустиме перерегулювання, час регулювання є мінімальним.

Отже, отримано навички розробки математичних моделей систем автоматичного регулювання та визначення параметрів налаштування регуляторів на системі автоматичного керування температурою електроліту. Розроблено математичну модель системи автоматичного керування температурою електроліту. При виконанні роботи побудовано концептуальну, математичну та інструментальну моделі об'єкта; модель досліджена та визначено оптимальні налаштування регулятора.

2.3 Система вимірювання та регулювання рівня електроліту

Підставою розробки є необхідність автоматичного регулювання рівня електроліту в ваннах при автоматичному керуванні промисловим процесом хромування виробів.

Метою є автоматичне регулювання рівня електроліту у ванній на певному значенні. З метою отримання даних, необхідні розробки системи регулювання, зробимо аналіз процесу як об'єкта регулювання. Технологічна схема об'єкта регулювання представлена рисунку 2.15.

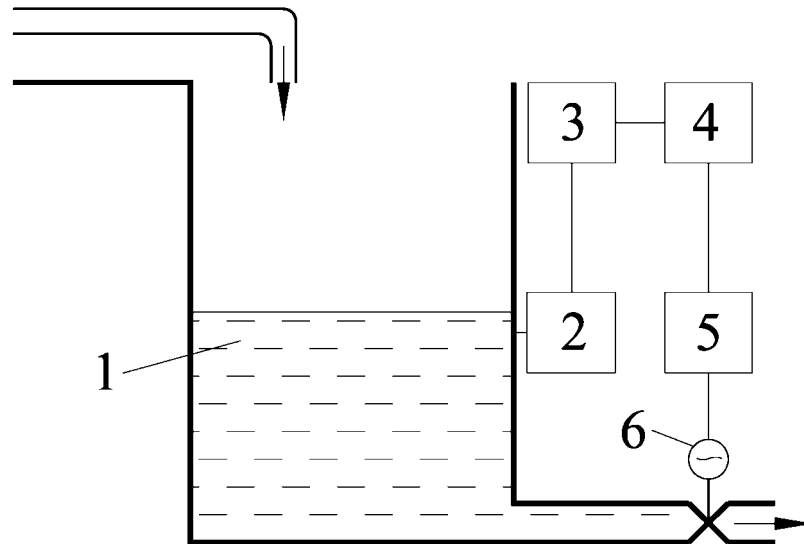


Рисунок 2.15 – Технологічна схема об'єкта регулювання

Система регулювання рівня електроліту в ванній включає об'єкт регулювання 1, датчик рівня 2, мікроконтролер з датчиком 3, попередній підсилювач 4, підсилювач 5, виконавчий механізм 6. Технологічні параметри об'єкта керування представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технологічні параметри об'єкта керування

Мах. рівень у ванній	6 м.
Діаметр ванній	4 м.
Час регулювання	60 с
Перерегулювання	18 %

Ручне керування процесом вимагає постійної уваги з боку технологічного персоналу, що зменшує комфорт в обслуговуванні та забирає багато часу.

Таким чином, необхідна система автоматичного регулювання, що забезпечує підтримку рівня в заданих межах при дії збурюючого впливу.

Вихідним параметром об'єкта керування є рівень електроліту у ванній. Керуючим впливом є кількість витрати, що проходить через виконавчий механізм.

2.3.1 Розробка структурної схеми системи регулювання

Використовуємо класичну систему керування із зворотним зв'язком. Для забезпечення роботи такої системи необхідно вимірювати регульований параметр, порівняти його із заданим значенням, визначити величину помилки та її знак; розрахувати за вибраним алгоритмом керування керуючий вплив; подати керуючий вплив через виконавчий механізм об'єкт керування.

Для системи, що розробляється необхідні такі елементи:

- датчик рівня;
- регулятор з датчиком, елементом порівняння та алгоритмом керування;
- попередній підсилювач;
- підсилювач потужності для забезпечення узгодження з виконавчим механізмом.

2.3.2 Вибір елементів САК

Вибір датчика рівня.

Чутливий елемент – датчик перетворює вимірювану величину на величину, зручну для дистанційної передачі та подальшого використання. Основними характеристиками датчиків є чутливість та інерційність. Чутливість датчика визначається залежністю зміни вихідний величини датчика від вхідний, інерційність – постійної часу та запізненням, тобто. динамічними властивостями [3].

Насправді прагнуть до того, щоб постійна часу датчика була набагато менше постійної часу регулювання, тобто. щоб датчики були малоінерційними, інакше характеристики датчика можуть суттєво впливати на стійкість та якісні показники системи керування. У нашій системі як пристрій, що вимірює рівень у ванній, застосуємо датчик надлишкового тиску САПФІР-22М-ДІ. Вимірювання рівня відбуватиметься шляхом вимірювання тиску гідростатичного стовпа рідини $P = \rho gH$. Даний датчик служить в системах контролю та має стандартний вихідний сигнал 0–5 мА та напруга живлення

постійним струмом 36 В. Він обраний через невелику вартість та зручність експлуатації (рис. 2.16) [24].

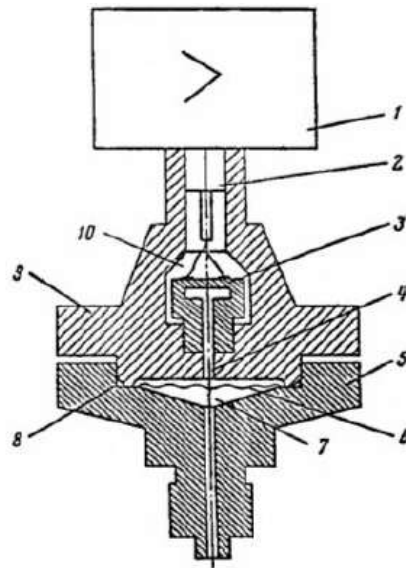


Рисунок 2.16 – Датчик САПФІР-22М-ДІ

1 – електронний пристрій; 2 – гермоввід; 3 – тензоперетворювач;
4 – внутрішня частина тензоперетворювача; 5 – фланець; 6 – гофрована мембрана; 7 – внутрішня камера; 8 – прокладка; 9 – основа; 10 – порожнина

Даний датчик складається з мембранного тензоперетворювача 3 розміщеного всередині основи 9. Внутрішня порожнина 4 тензоперетворювача заповнена кремнійорганічної рідиною і відокремлена від вимірюваного середовища металеву гофрованою мембраною 6, привареної по зовнішньому контуру до основи 9. Порожнина 10 повідомлена з навколишнього атмосфери. Вимірюваний тиск подається в камеру 7 фланця 5, який ущільнений прокладкою 8. Тиск, що вимірюється впливає на мембрану 6 і через рідину впливає на мембрану тензоперетворювача, викликаючи її прогин і зміна опору тензорезисторів. Електричний сигнал від тензоперетворювача передається з вимірювального блоку електронним перетворювачем 1.

Вибір регулятора.

Для системи регулювання виберемо пропорційний регулятор.

Для системи, що розробляється, використовуємо мікроелектронний П - регулятор на мікроЕОМ АТ80С2051 фірми Atmel, який може працювати

безпосередньо з датчиком тиску типу САПФІР-22М-ДІ. Вхідним сигналом регулятора є стандартний сигнал 0–5мА, а вихідним – напруга 0–5 В (рис. 2.17).

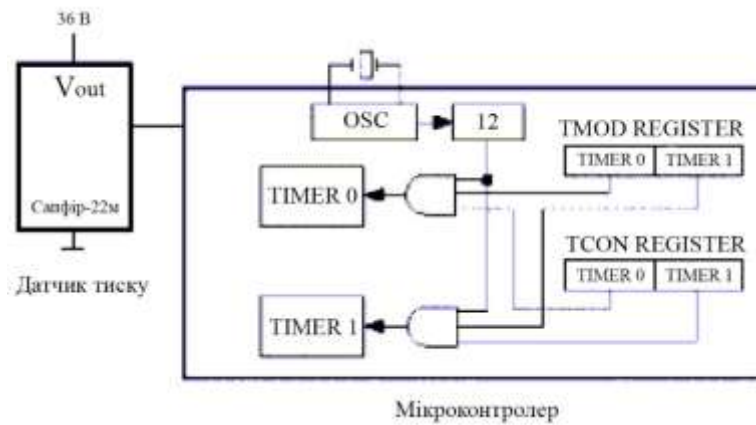


Рисунок 2.17 – Схема сполучення датчика САПФІР-22М-ДІ з мікроконтролером 80С2051

Даний мікроконтролер відрізняється:

1. Малим струмом споживання.
2. Сумісність зі стандартним сигналом 0-5мА.
3. Висока надійність,
4. Захист від перешкод,
5. Невисокою вартістю,

Вибір виконавчого механізму.

Виконавчий механізм призначений для безпосередньої дії на об'єкт регулювання. Він повинен забезпечити передачу керуючого сигналу на об'єкт керування з якомога меншими спотвореннями.

Як виконавчий механізм виберемо: механізм електричний однооборотний виконаного спеціально для трубопровідної арматури МЕОФ-40 (рис. 2.18) [26].

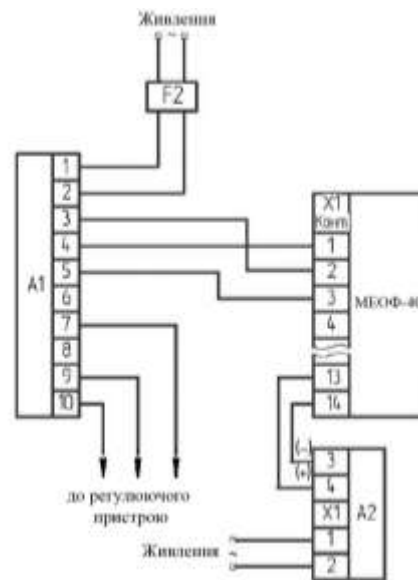


Рисунок 2.18 – Механізм електричний однооборотний МЕОФ-40
(схема підключення)

Вибір підсилювача.

Потужність вихідного каскаду регулятора недостатня керування виконавчим механізмом. Тому для узгодження сигналів з напруги та потужності необхідно ввести підсилювач потужності. Вибираємо підсилювач ПБР-2М [25].

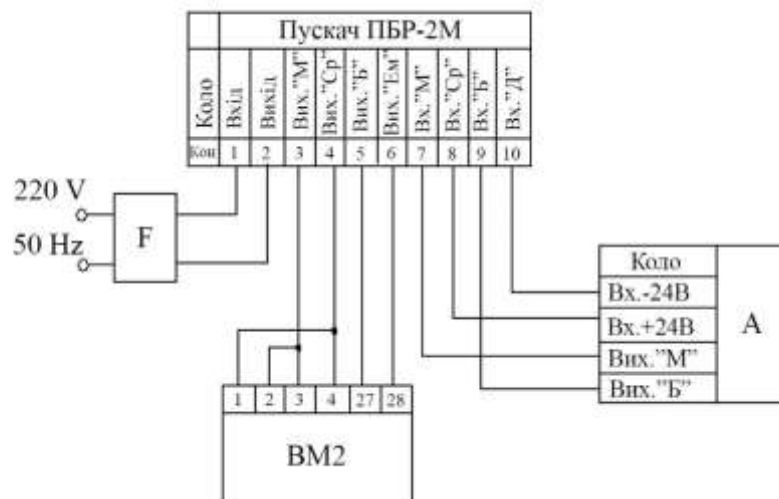


Рисунок 2.19 – Підсилювач (схема підключення)

Цей елемент призначений для керування електричним виконавчим механізмом з однофазним електродвигуном.

Параметри живлення: однофазна мережа змінного струму 220 В, частотою 50 Гц.

Комутуючий струм – 4А.

Швидкодія не більше 25 мс.

Повна споживана потужність трохи більше 10 ВА.

Вхідна напруга 24 В.

Вибір попереднього підсилювача.

Для узгодження сигналу вихідного каскаду регулятора та підсилювача використовуємо попередній підсилювач фірми Crydom (рис. 2.20) типу D4825 на постійну напругу 0–24 В та номінальний струм до 25 А [2]. Вхідна керуюча напруга становить від 0 до 5 при струмі 1,6 мА.

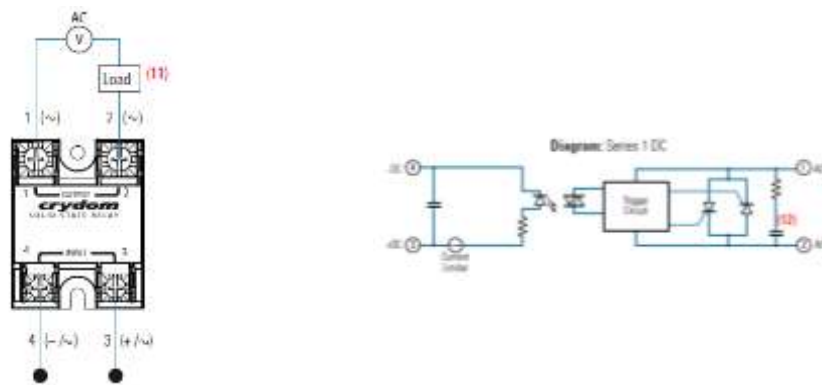


Рисунок 2.20 – Попередній підсилювач (схема підключення)

Критерієм відбору даного підсилювача є його висока надійність, герметичність і високі експлуатаційні характеристики.

2.3.3 Функціональна схема системи регулювання

Функціональна схема автоматичного регулювання рівня в ванній, що включає вибрані елементи, представлена на рисунку 2.21. Всі елементи узгоджені за типом сигналів, діапазон їх зміни і потужності.

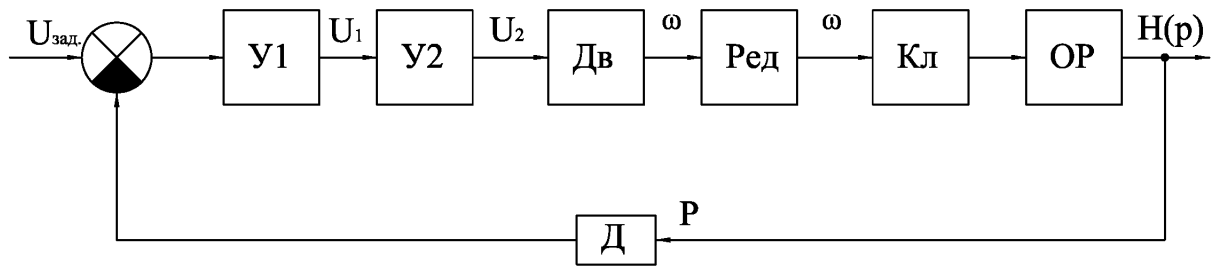


Рисунок 2.21 – Функціональна схема системи регулювання

У1 – попередній підсилювач; У2 – підсилювач; Дв – двигун; Ред – редуктор;
Кл – клапан; ОР – об'єкт регулювання; Д – датчик

Закон зміни регульованої величини та потрібне значення рівня задаються в регуляторі. При зміні рівня ванни змінюється вихідний сигнал датчика. У регуляторі відбувається порівняння сигналу, що надійшов з заданим і з'являється сигнал неузгодженості. Залежно від величини, напряму та швидкості зміни неузгодженості в регуляторі розраховується значення керуючого впливу, що надходить на підсилювач потужності. Посилений сигнал надходить на виконавчий механізм МЕО, який змінює положення клапана, тим самим змінюючи витрату та регулюючи рівень.

2.3.4 Побудова математичних моделей елементів

Для динамічного синтезу системи збудуємо математичні моделі елементів системи керування.

Датчик складається з двох елементів: мембрани та п'єзоелемента.

Передаюча функція датчика розраховується за такою формулою [4]:

$$W_d(p) = \frac{k}{(T_p + 1)}; \quad (2.16)$$

Коефіцієнт передачі САПФІР-22М-ДІ визначимо за статичною характеристикою:

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta P}; \quad (2.17)$$

де: ΔI – max вихідний струмовий сигнал;

ΔP – max тиск.

$$k = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 8,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{А}}{\text{кгс} / \text{см}^2}.$$

Постійна часу визначатиметься як постійна часу мембрани за формулою:

$$T_m = f / c; \quad (2.18)$$

де: $f = 101 \cdot 10^{-8}$ – коефіцієнт в'язкого тертя.

$$c = \frac{2 \cdot E \cdot h^3 \cdot (1 + \alpha)(3 + \alpha)}{3 \cdot (1 - \mu^2 / \alpha^2) \cdot R^4 \cdot \left[1 - \left(\left(\frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} \right) \cdot \rho \right)^4 \right]}; \quad (2.19)$$

де: – жорсткість мембрани;

$R=30$ – робочий радіус мембрани, мм;

$h=0.35$ – товщина мембрани, мм;

$E=2,1 \cdot 10^{11}$ – модуль пружності матеріалу, Па;

$\rho=0,2$ – відносний радіус жорсткого центру, мм.

$\alpha=3,64$.

Підставивши значення в формулу отримаємо:

$$c = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,35^3 \cdot (1 + 3,64)(3 + 3,64)}{3 \cdot (1 - 0,3^2 / 3,64^2) \cdot 30^4 \cdot \left[1 - \left(\left(\frac{3,64 + 1}{3,64 - 1} \right) \cdot 0,2 \right)^4 \right]} = 2,3 \cdot 10^5.$$

Тоді отримаємо:

$$T_m = f / c; \quad (2.20)$$

$$T_m = \frac{101 \cdot 10^{-8}}{2,3 \cdot 10^5} = 4,3 \cdot 10^{-12}.$$

Передатна функція датчика буде:

$$w_d(p) = \frac{k}{(Tp + 1)}; \quad (2.21)$$

$$w_d(p) = \frac{8,3 \cdot 10^{-3}}{(4,3 \cdot 10^{-12} p + 1)}.$$

Підсилювач обраний з лінійки промислових підсилювачів потужності фірми Cridom та описується диференціальним рівнянням 1 порядку [10]:

$$T_2 \frac{dU_2}{dt} + U_2 = k_2 U_1; \quad (2.22)$$

де: U_2 – вихідна напруга підсилювача (В);

U_1 – вхідна напруга підсилювача (В);

k – коефіцієнт посилення підсилювача за напругою.

Тоді передатна функція підсилювача потужності має вигляд аперіодичного ланки 1 порядку:

$$W_{y1} = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{k}{Tp + 1}; \quad (2.23)$$

Коефіцієнт посилення підсилювача вибираємо з умови узгодження вихідного сигналу регулятора 0–5 В з напругою наступного підсилювача рівним 24 В.

$$k = \frac{24}{5} = 4,8.$$

У паспорті підсилювального елемента типу D4825 вказується час перехідного процесу $t_{\text{пер}} = 0,004$ с. Для ланки 1 порядку час перехідного процесу пов'язаний із постійною часом наступною залежністю:

$$t_{\text{пер}} = (3 \div 4)T \approx 4T;$$

За цією формулою постійна часу підсилювального елемента дорівнює:

$$T = \frac{t_{\text{пер}}}{4}; \quad (2.24)$$

$$T = \frac{0,004}{4} = 0,001 \text{ с} \approx 0,000167 \text{ хв.}$$

Тоді остаточно передавальна функція ключового елемента має вигляд:

$$w_{y1}(p) = \frac{k}{Tp + 1}; \quad (2.25)$$

$$w_{y1}(p) = \frac{4,8}{0,000167p + 1} = 4,8.$$

Даний елемент посилює сигнал 24 В сигнал 220 В для керування виконавчим механізмом.

Передатна функція цього елемента буде:

$$w_{y1}(p) = k; \quad (2.26)$$

$$w_{y2}(p) = \frac{220}{24} = 9,2.$$

Виконавчим механізмом є механізм електричний однооборотний, який включає три ланки. Визначимо передавальні функції цих ланок [8].

За паспортними даними використовується двигун типу ДАУ-25.

Потужність двигуна ($N_{дв}$) – 25 Вт;

Напруга живлення ($U_{ж}$) – 220 В;

Число полюсів (n) – 12.

Момент навантаження на валу (M_H) – 40Н/м.

Передатна функція двигуна розраховується за такою формулою:

$$w_{дв}(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)}; \quad (2.27)$$

$$k = 0,14 \frac{N_{дв} \cdot n}{M_H}; \quad (2.28)$$

$$k = 0,14 \frac{25 \cdot 12}{40} = 1,05.$$

$$T = 3,3 \frac{N_{дв}}{n \cdot U_{п}}; \quad (2.29)$$

$$T = 3,3 \frac{25}{12 \cdot 220} = 0,031.$$

$$w_{дв}(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)}; \quad (2.30)$$

$$W_{дв}(p) = \frac{1,05}{p(0,031p + 1)}.$$

Передатною функцією редуктора є зворотна величина його передавального відношення (i).

$$w_{\text{ред}}(p) = \frac{1}{i} = k; \quad (2.31)$$

За паспортними даними передавальне число редуктора = 416,7.

$$w_{\text{ред}}(p) = \frac{1}{416,7} = 2,4 \cdot 10^{-3}.$$

Передатна функція клапана розраховується за такою формулою:

$$w_{\text{кл}}(p) = k; \quad (2.32)$$

Коефіцієнт передачі k знайдемо за статичною характеристикою:

$$k = \frac{\Delta L}{\Delta \omega}; \quad (2.33)$$

$$k = \frac{0,5}{0,25} = 2 (\text{м} / \text{рад}).$$

$$W_{\text{кл}}(p) = 2.$$

Передатна функція виконавчого механізму виглядатиме так [4]:

$$w_{\text{вм}}(p) = w_{\text{дв}}(p) \cdot w_{\text{ред}}(p) \cdot w_{\text{кл}}(p); \quad (2.34)$$

$$w_{\text{вм}}(p) = \frac{1,05 \cdot 2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}}{p(0,031p + 1)} = \frac{5,04 \cdot 10^{-3}}{p(0,031p + 1)}.$$

Об'єкт регулювання

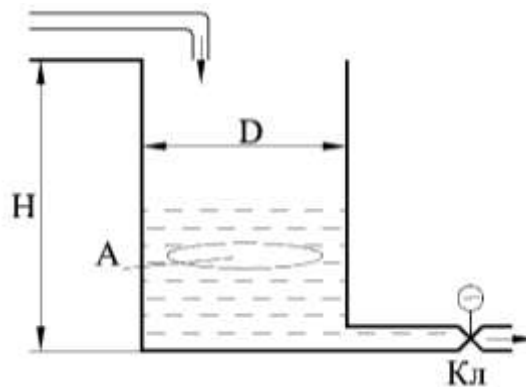


Рисунок 2.22 – Об'єкт регулювання (ємність із рідиною)

Об'єкт регулювання є стійкою ланкою першого порядку, та її передатну функцію знайдемо за формулою:

$$w_{op}(p) = \frac{k}{(Tp + 1)}; \quad (2.35)$$

Коефіцієнт передачі дорівнюватиме:

$$k = \frac{1}{k_{зш}} = 2.$$

Постійна часу об'єкта регулювання знайдемо за такою формулою:

$$T = \frac{T_\varepsilon}{k_{зш}}; \quad (2.36)$$

Час розгону ОР:

$$T_\varepsilon = \frac{A \cdot L_0}{F_0}; \quad (2.37)$$

$$T_\varepsilon = \frac{12,5 \cdot 0,1}{0,041} = 30,45.$$

площа горизонтального перерізу ОР:

$$A = \pi \cdot R^2; \quad (2.38)$$

$$A = 3,14 \cdot 2^2 = 12,5.$$

де: L_0, F_0 – значення відповідних величин при рівноважному стані ОР.

$$k_{зш} = \frac{1}{2};$$

$$T = \frac{30,45}{(1/2)} = 61.$$

Отримаємо передатну функцію:

$$w_{зр}(p) = \frac{k}{(Tp + 1)} = \frac{2}{(61p + 1)}; \quad (2.39)$$

Мікроконтролер.

Розглянемо мікроконтролер, як імпульсний елемент системи та розрахуємо його дискретність.

Входи і виходи мікроконтролера аналогові з дискретністю 8 біт – 256, при напрузі 0–5 вольт на входах і виходах, мікроконтролер видає роздільну

здатність 0,02, що дозволяє судити про його практичну лінійність по входах і виходах.

Частота кварцу мікроконтролера дорівнює 12 МГц. Один такт програми виконується за 1/12 частоти мікроконтролера, відповідно за 1 хвилину виробляється 6107 тактів програми.

Припустимо, що для прийняття рішення мікроконтролера необхідно 103 тактів програми, тоді дискретність мікроконтролера дорівнює 6104 тактів в хвилину, а період дискретності $T = 1,610 \cdot 10^{-5}$ хвилини, що зводить до нуля дискретність мікроконтролера за часом, так як найбільша постійна часу дорівнює 1хв. Робимо висновок, що мікроконтролер не вносить перешкод в систему, що розглядається, і його передатну функцію приймаємо за одиницю.

$$w_{\text{мк}}(p) = 1.$$

2.3.5 Структурна схема системи

Функціональна схема автоматичного регулювання рівня в ванній, що включає передавальні функції елементів, представлена на рисунку 2.23. Всі передатні функції елементів узгоджені за типом сигналів, діапазонів їх зміни і потужності.

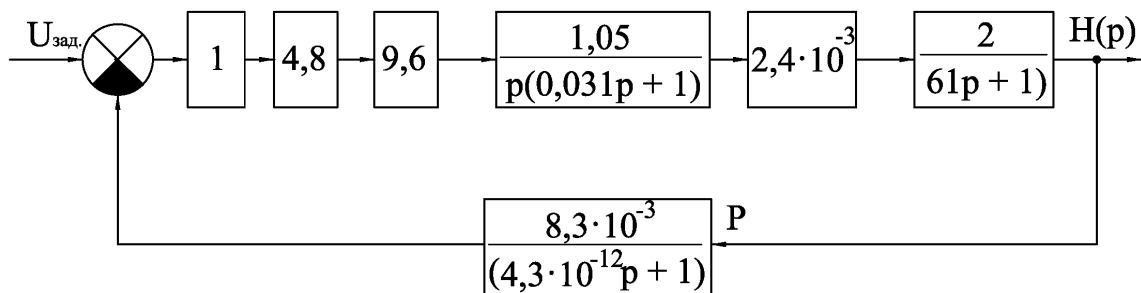


Рисунок 2.23 – Структурна схема системи

Розрахунок системи на стійкість.

Усі розрахунки системи зроблено у програмі MathCad 2020.

Передавальна характеристика розімкнутої системи дорівнює [21]:

$$W_p(p) = \frac{0,445}{p \cdot (0,031p + 1)(61p + 1)}; \quad (2.40)$$

Так як постійна часу $T_1=0,031$ набагато менше $T_2=61$, ми їй нехтуємо і отримуємо передатну функцію:

$$W_p(p) = \frac{0,445}{p \cdot (61p + 1)}; \quad (2.41)$$

Отримаємо передатну характеристику замкнутої системи:

$$W_3(p) = \frac{0,445 \cdot (43p + 1 \cdot 10^{13})}{(2,62 \cdot 10^3 p^3 + 6,1 \cdot 10^{14} p^2 + 1 \cdot 10^{13} p + 3,69 \cdot 10^{12})}; \quad (2.42)$$

Підставимо замість $p \Rightarrow j\omega$, отримаємо:

$$W_3(j\omega) = \frac{0,445j \cdot (43j\omega + 1 \cdot 10^{13})}{(2,62 \cdot 10^3 \omega^3 + 6,1 \cdot 10^{14} j\omega^2 + 1 \cdot 10^{13} \omega + 3,69 \cdot 10^{12} j)}; \quad (2.43)$$

Знайдемо реальну та уявну частини:

$$U(\omega) := \operatorname{Re}(W(i \cdot \omega)) \quad V(\omega) := \operatorname{Im}(W(i \cdot \omega))$$

Побудуємо годограф Найквіста.

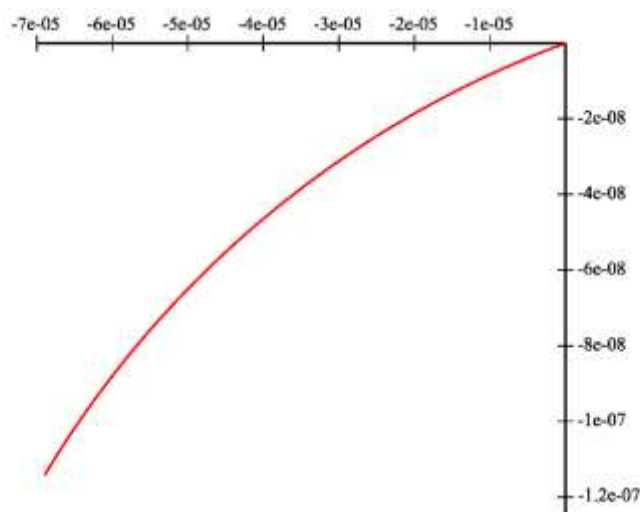


Рисунок 2.24 – Годограф Найквіста

Годограф Найквіста не захоплює крапку $(-1, j0)$, відповідно, система стійка.

2.3.6 Побудова ЛАЧХ та ЛФЧХ системи

Для побудови ЛАЧХ розімкнутої системи застосуємо формулу [4]:

$$A(\omega) = \sqrt{(U(\omega))^2 + (V(\omega))^2}; \quad (2.44)$$

Побудуємо ЛАЧХ та ЛФЧХ системи:

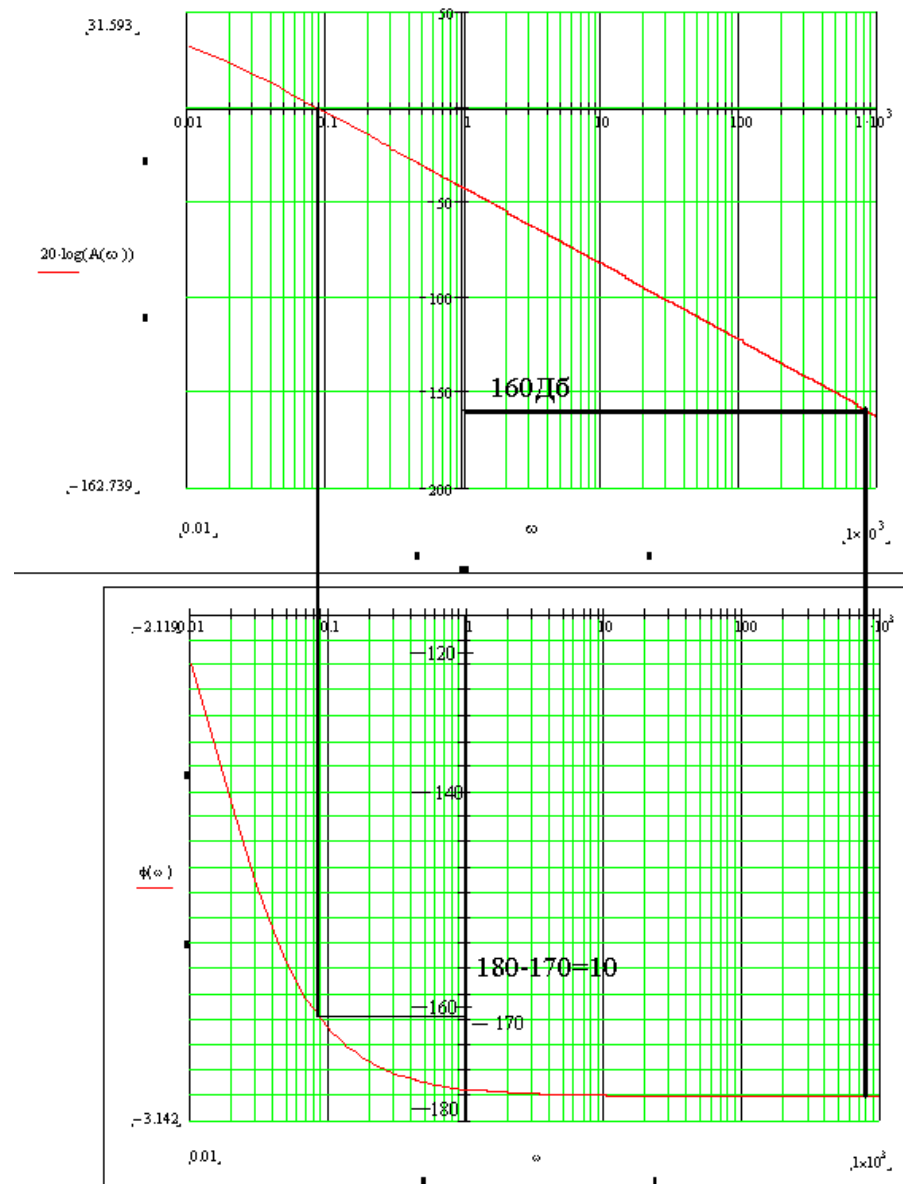


Рисунок 2.25– ЛАЧХ та ЛФЧХ

За отриманими характеристиками визначаємо запас по амплітуді та запас по фазі. Запас стійкості по амплітуді знаходять по ординаті ЛАЧХ у точці перетину ЛФЧХ із прямою (-180°) . Запас стійкості за фазою визначається перевищенням над прямою (-180°) на частоті зрізу ω_3 .

Запас по фазі отримали 10° . Такий запас по фазі нас задовольняє, так як він має перевищувати $(30-40)^\circ$.

Запас з амплітуди отримали понад 160Дб.

По передавальній функції замкнутої системи побудуємо перехідний процес не скоригованої системи:

$$W(p) = \frac{0,445(43p + 1 \cdot 10^{13})}{2,62 \cdot 10^3 p^3 + 6,1 \cdot 10^{14} + 1 \cdot 10^{13} + 3,63 \cdot 10^{12}}; \quad (2.45)$$

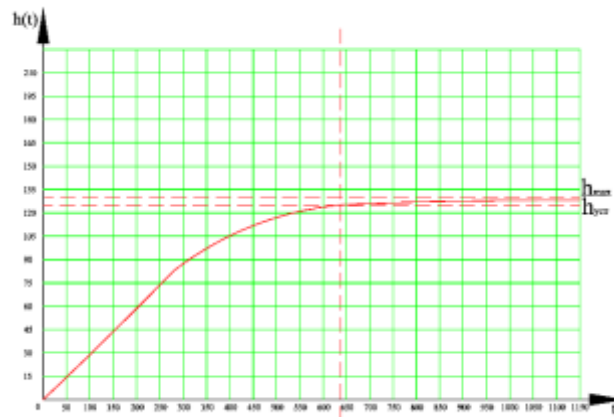


Рисунок 2.26 – Перехідний процес не скоригованої системи

За перехідним процесом бачимо, що час регулювання $t_p = 645$ с, перерегулювання $\sigma = 0$ %, що не задовольняє наше технічне завдання.

2.3.7 Синтез системи

Задамося, за технічним завданням, часом регулювання $t_p = 60$ с, перерегулювання $\sigma = 18$ %, і за номограмою Солодовникова знайдемо частоту зрізу ω_z .

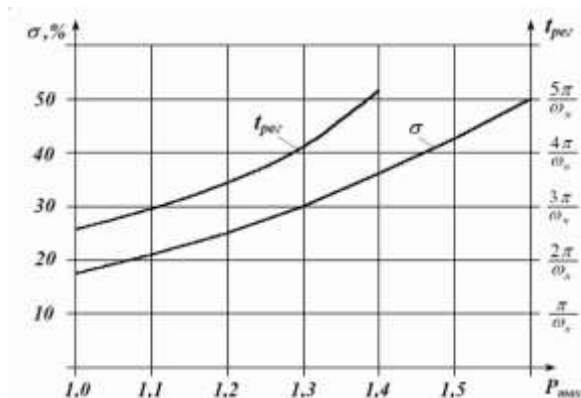


Рисунок 2.27 – Номограма Солодовникова

Для $\sigma = 18$ %, частоту зрізу ω_z знайдемо за формулою:

$$t_p = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_3}; \quad (2.46)$$

$$\omega_3 = \frac{2 \cdot \pi}{t_p}; \quad (2.47)$$

при $t_p=60$ с, частота зрізу ω_3 дорівнюватиме:

$$\omega_3 = \frac{2 \cdot 3,14}{60} = 0,1.$$

Побудуємо бажану ЛАЧХ та ЛАЧХ коригувального пристрою.

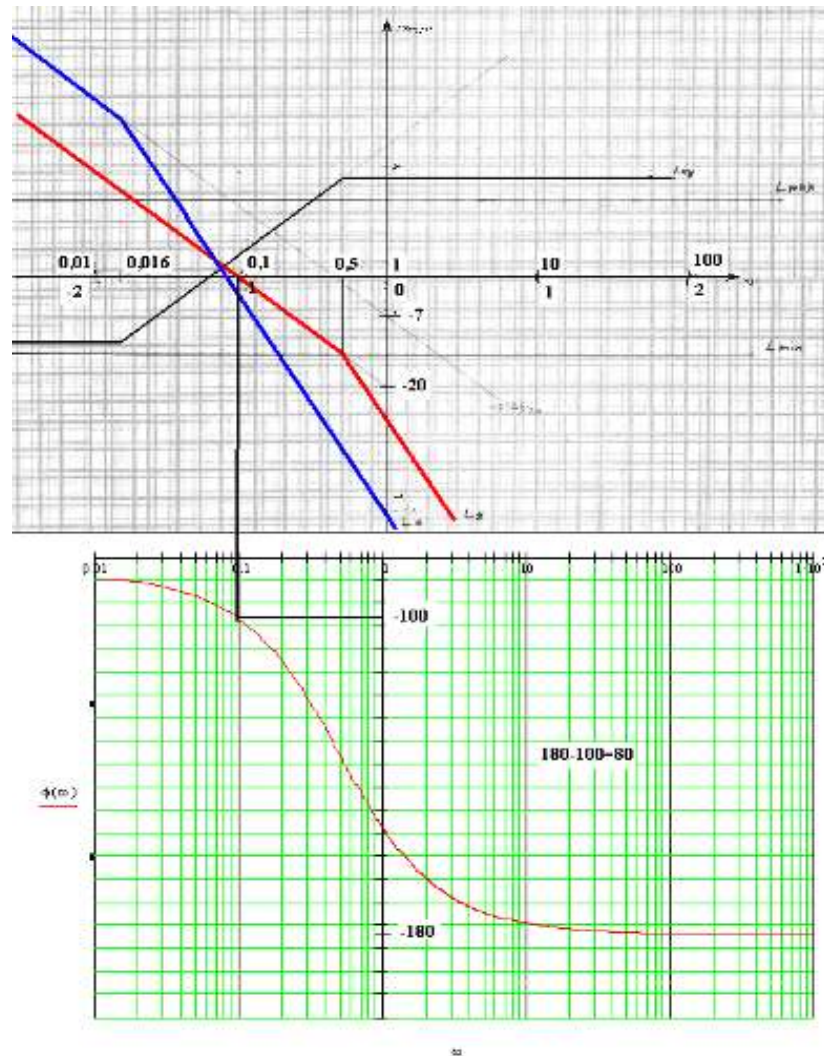


Рисунок 2.28 – ЛАЧХ, ЖЛАЧХ та ЛАЧХ коригувального пристрою

За отриманими характеристиками визначаємо запас по амплітуді та запас по фазі. Запас по фазі отримали 80° . Такий запас фазою нас задовольняє, так як він має перевищувати $(30-40)^{\circ}$.

Запас по амплітуді залишився тим самим.

Підберемо аналоговий коригуючий пристрій із ряду послідовних коригувальних пристроїв. Передатна функція нашого коригувального пристрою буде виглядати так:

$$W_{\text{кy}}(p) = L_0 \frac{(T_1 p + 1)}{(T_2 p + 1)} = \frac{100 \cdot (61 p + 1)}{(2 p + 1)}; \quad (2.48)$$

$$T_1 = R_1 \cdot C_1; \quad (2.49)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + R_2 / R_1} \cdot T_1; \quad (2.50)$$

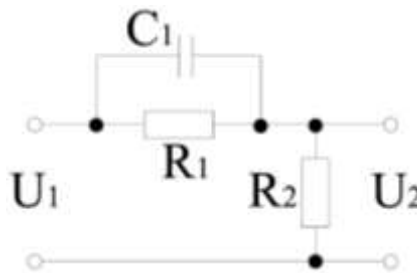


Рисунок 2.29 – Схема коригувального пристрою

Тоді передавальна характеристика скоригованої розімкнутої системи буде:

$$W(p) = \left[\frac{0,445}{p \cdot (61 p + 1)} \right] \cdot \left[\frac{100 \cdot (61 p + 1)}{(2 p + 1)} \right]; \quad (2.51)$$

$$w_p(p) = \frac{44,5}{p \cdot (2 p + 1)}; \quad (2.52)$$

Побудуємо годограф Найквіста [3]:

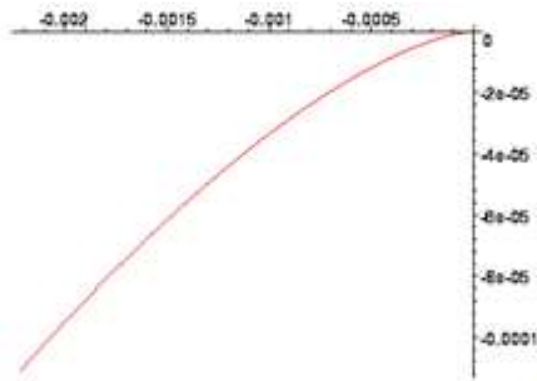


Рисунок 2.30 – Годограф Найквіста

Годограф Найквіста отриманої системи не захоплює точку $(-1, j0)$, відповідно розімкнена система стійка.

По передавальній функції замкнутої системи побудуємо перехідний процес скоригованої системи.

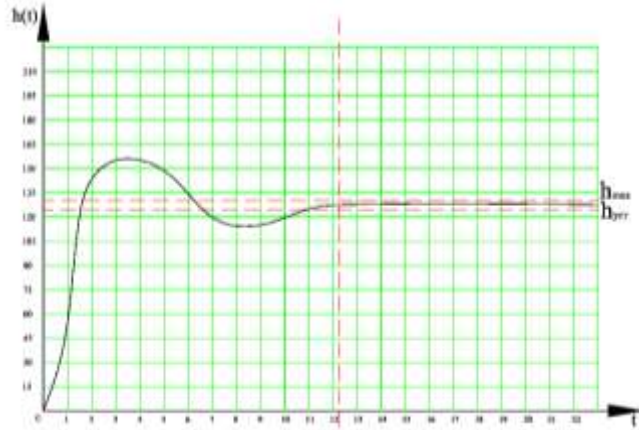


Рисунок 2.31 – Перехідний процес скоригованої системи

За перехідним процесом бачимо, що час регулювання $t_p=12,25$ с.

Перерегулювання:

$$\sigma = \frac{|h_{\max} - h_{\text{уст}}|}{h_{\text{уст}}} 100\%; \quad (2.53)$$

$$\sigma = \frac{|132,5 - 120,5|}{120,5} 100\% = 11\%.$$

що цілком задовольняє наше технічне завдання.

Висновок за розділом

Було спроектовано та проаналізовано систему автоматичного регулювання рівня рідини в ванній. Було обрано необхідні елементи системи, пораховано їх передатні функції.

Проводилася перевірка системи на стійкість та корекція системи послідовним коригуючим пристроєм для забезпечення кращих параметрів роботи та посилення потужності сигналу. Оцінка показників якості показала, що система не потребує подальшої корекції. Розраховані показники задовольняють необхідні умови.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка блоку нормалізації сигналів від датчиків та введення їх в ЕОМ

У процесі нормалізації сигналів датчиків та введення їх у МСУ включаються:

- модуль максимального обмеження аналогових сигналів та визначення необхідної чутливості аналогових вимірювальних перетворювачів на резисторах R1–R27 (непарні номери), R2–R28 (парні номери) та стабілітронах DV1–DV14;
- паралельний інтерфейс введення аналогових сигналів від ІПа МС, модуль комутаторів та АЦП;
- модулі посилення та фільтрації аналогових сигналів E1.1 – E1.14;
- модулі формування ініціативних сигналів від аналогових датчиків E2.1 – E2.4;
- модулі введення в МСУ дискретних сигналів E.3.1 – E3.14
- рознімання X1, X2, X3, X6, X7, X8, X9.

В процесі нормалізації сигналів датчиків та введення їх у МСУ роз'єм X1 містить електричні ланцюги D0–D7, A0–A1, I/OR та I/OW, а також відбувається паралельне керування роботою інтерфейсу DD10, АЦП DC11 та комутаторів DD6–DD7–DD8. Весь ряд пристороїв містить модуль комутаторів, АЦП та паралельного інтерфейсу введення аналогових сигналів від ІП до МСУ. Роз'єм X2 також підключений до цього ж модуля через лінії зв'язку 12–BK107 та P1.5–READY external [6].

Ініціативні аналогові сигнали передаються на роз'єм X3 через компаратори E2.1–E2.6. Ці сигнали називають IR7–IR11 та підключають до входів переривань контролерів.

У подальшому в роз'єм Х6 підключаємо аналогові датчики зі струмовим виходом 0–5 мА. Позначення вимірювального перетворювача (датчика) або перетворювача сигналів, від якого сигнал подається в МСУ, та номер позиції вказуються на вхідному роз'ємі Х.

Вхідні модулі посилення та фільтрації аналогових сигналів Е1.1–Е1.14 використовуються для посилення аналогових сигналів вимірювальних перетворювачів, зменшення плинності сигналів та запобігання проходженню коливань частотою 50 та 100 Гц в МСУ. До структури модуля включається три операційні підсилювачі DA1–DA3 типу К140УД1В, режекторний (загороджуючий) Т-подібний RC-мостовий фільтр, налаштований на 50 Гц, та Т-подібний низькочастотний фільтр із частотою зрізу 5.0 Гц.

Досліджено, що у підсилювачах DA1–DA3 є два входи прямий та інверсний. Вхідний сигнал підсилювача DA1 подається на інверсний вхід. Резистор R52 забезпечує позитивний зворотний зв'язок. Надалі, сигнал на виході підсилювача DA1 обертається. Інвертування сигналу зменшує максимальний сигнал. Вхідний сигнал підсилювача DA2 надходить на прямий вхід, а сигнал зворотного зв'язку надходить на інверсний вхід. Це дає негативний зворотний зв'язок, який покращує якість вихідного сигналу [8].

Отже, як і підсилювач DA1, підсилювач DA3 включений через конденсатор С6 з позитивним зворотним зв'язком. Резистори зміщення робочої точки підсилювачів включають R51, R57 і R62. Резистори R52, R58, R60 та R61 забезпечують зворотний зв'язок для сигналів постійного струму, а конденсатори С4 та С6 забезпечують зворотний зв'язок для сигналів змінного струму.

Визначемо, що призначення резисторів R1 та R2 полягає в тому, щоб створити потенціал робочої точки на вході мікросхеми DD5.1 типу К155ЛН1. Чітке спрацювання потенціалу робочої точки при зміні стану контакту дискретного датчика або іншого пристрою, підключеного до лінії зв'язку один. На виході модуля лінії 140 $U=1$, коли контакт, з'єднаний з лінією зв'язку один, розімкнутий і не з'єднує лінію зв'язку один з корпусом модуля. Коли

контакт замкнутий та лінія зв'язку один з'єднана з корпусом модуля, лінії 140 $U=0$. В схемах мікропроцесора KP560ИК80А значення логічних сигналів на виході модуля узгоджені.

У подальшому, конденсатор С1 захищає модуль від контакту, який підключається до лінії зв'язку один, від хибних спрацьовувань мікросхеми DD5.1.

Коли вихід елемента DD5.1 перемикається на нуль, резистор R3 призначений для відведення потенціалу лінії зв'язку 140 на корпус.

На резисторах R59 та R61, а також на конденсаторі С5 встановлено Т-образний фільтр нижчих частот, який дозволяє пропускати низькі частоти на вихід підсилювача DA3 [10].

Виникають ситуації, коли технологічні процеси будуть автоматизовані, пасивні аналогові сигнали, що надходять до МСУ через модулі посилення та фільтрації, необхідно перетворити на ініціативні сигнали. Наприклад, встановлення світлової та звукової сигналізації або перехід на нову програму для виконання необхідних технологічних регламентів вимагає цього. Під час створення систем автоматизації та керування зазвичай передбачається чотири сигнали за кожним регульованим параметром. Перві два сигнали виводяться, коли значення регульованого параметра перевищує або перевищує рекомендовану межу. Це використовується як попередження про відхилення технологічних параметрів від нормального ходу. Авіаційну сигналізацію можна вивести або на пульт керування, або на виконавчі механізми, або приводи технологічного обладнання. Ініціативні сигнали різного рівня можуть використовуватися для формування сигналів сигналізації аналогових датчиків [9].

Для того, щоб МСУ могла виконувати функції включення або вимикання технологічного обладнання, аналогові датчики повинні надавати ініціативні сигнали на входи контролерів переривання.

Диференціальний підсилювач DA1 типу K140УД6 приймає аналоговий сигнал від аналогового вимірювального перетворювача на інверсний вхід.

Рівень вхідного сигналу, який підсилювач DA1 повинен спрацювати і видати логічний сигнал, визначається резисторами R66 та R67. Надалі, резистори R66 і R67 будуть з'єднані як дільники напруги між собою і підключені до джерела живлення +5 В. Потенціал передається на прямий вхід підсилювача DA1 з точки, де ці резистори з'єднані між собою [14].

Коли сигнал вимірювального перетворювача надходить на інверсний вхід підсилювача DA1, на виході модуля формування ініціативного сигналу з'являється логічний сигнал, що дорівнює одиниці. Це відбувається, коли вхідний сигнал більший, ніж заданий електричний потенціал резисторами R66 та R67. Сигнал, рівний логічному нулю, генерується на виході модуля, якщо сигнал вимірювального перетворювача менший заданого потенціалу резисторами R66 та R67. Резистор R65 є резистором витоку з бази вхідного транзистора підсилювача, який забезпечує витік електричного струму на корпус з лінії 89. Діод VD27 та резистор R68 передають сигнал зворотного зв'язку, а резистор R69 буферує вихідний сигнал.

Максимальну вихідну напругу модуля формування ініціативного сигналу до 5 В обмежує стабілітрон VD2.

Слід зазначити, що до модуля для перетворення аналогових сигналів від датчиків в цифрові коди та введення їх в МСУ входять паралельний інтерфейс DD10 (K580IK55), аналого-цифровий перетворювач DD11 (K1113ПВ1А), підсилювач DD9 (K140УД1А), а також три комутатора K590KM6. Цей мультиплексор може підключати до АЦП від одного до восьми аналогових датчиків. Використовуємо три мультиплексори, оскільки до проєктованої МСУ підключено 16 аналогових датчиків.

Отже, коли до складу спроектованої МСУ включається один паралельний інтерфейс, а до чотирьох мультиплексорів, включаються порти А та С, які складаються з 16 каналів паралельного інтерфейсу, використовуються для керування мультиплексорами. В свою чергу, порт В використовується для введення сигналів від АЦП.

Далі маємо комутатор 8–1 (8 в 1) для восьми вхідних ліній І0–І7 та вихідної лінії О, а також дешифратор 3–8 (3 в 8), який має адресні входи А0, А1, А2 і входи сигналу дозволу EN. Таким чином, код на входах дешифратора визначає, яка з вхідних ліній мультиплектора І0–І7 з'єднується з вихідною лінією мультиплектора О.

Аналого-цифровий перетворювач DD11 типу К1113ПВ1А має такі виходи: D0 – D9 – виходи 10-розрядного коду сигналу (для 9-розрядних процесорів використовуються будь-які 8 виходи); І-вхід аналогового сигналу; GND, GND-нуль аналогового виходу І нуль цифрового виходу, 0-сигнал керування зсувом на нуль регістра цифрового коду; CLR/RX-сигнал низького рівня цьому виході свідчить про готовність прийому даних зовнішнім пристроям з АЦП (цей сигнал надходить від DD10); RDY-сигнал низького рівня цьому виході свідчить про готовність даних виходам D0 – D9 (цей сигнал видається АЦП і надходить лінії P1.5 на мікропроцесор) [16].

Наступне пояснює як працює модуль для перетворення аналогових сигналів датчиків у цифрові коди та введення цих кодів у МСУ. Контролер переривання спрацьовує, коли таймер дає команду, і мікропроцесор (МП) починає обслуговувати певну групу датчиків, надаючи інформацію в МСУ. З цією підпрограмою МП передає в паралельний інтерфейс DD10 усі керуючі слова, необхідні для програмування портів А, В і С, а також виводить код для включення в порти А0–А7 і З–С2, шляхом використання комутаторів для переміщення сигналу від датчика до АЦП [14].

При цьому сигнал РС3 від DD10 передається на комутатор DD8 і АЦП DD11. Отже, АЦП приймає аналоговий сигнал та перетворює його на цифровий код. Перед цим, відповідно, МП відкриває шляхи проходження цифрового коду з АЦП до МП через порт DD10. Після цього АЦП переходить у режим очікування сигналу RDY від МП, що означає, що дані виставлені на шину. МП повертається з нових програми до вихідної програми після отримання сигналу RDY лінії P1.5.

Роз'єм X7 розроблений таким чином, щоб підтримувати введення дискретних сигналів.

Роз'єм X8 дозволяє виводити дискретні сигнали від модулів введення дискретних сигналів E3.1–E3.14 на сигналізацію або звичайне блокування. Це робиться без контролерів переривання мікропроцесорної системи керування [9].

Роз'єм X9 дозволяє аналоговим датчикам виводити сигнали на сигналізацію або ланцюг блокування через компаратори E2.1–E2.4

Таким чином, аркуш два містить схему обмеження аналогових сигналів по максимуму та вибору необхідної чутливості вимірювальних перетворювачів (ІІ). У схемі використовуються резистори R1–R27, які є непарними номерами, R2–R28, які є парними номерами, і стабілітрони VD1–VD14.

Відзначимо, що ІІ приймає вимірюваний тиск $P_{вх}$, а вихід ІІ підключений до резистора R1. У подальшому струм від ІІ тиску проходить через резистор R1, що призводить до падіння напруги. Значення вихідного сигналу $U_{вих}$ визначається за допомогою резистора R1. На цьому прикладі ми бачимо, що чутливість вимірювального перетворювача тиску представлена відношенням зміни вихідного сигналу ІІ до зміни вхідного параметра. Відомо, що чутливість ІІ змінюється, коли повзунок резистора R1 переміщується. Для того, щоб уникнути проходження МСУ сигналу вище допустимого значення, стабілітрон VD1 встановлений між лініями 45 та 0V. У випадку, коли різниця напруг перевищує 4,5 В, стабілітрон VD1 пропускає струм з лінії 45 на 0V.

3.2 Розробка блоку введення даних від аналогових ІІ на згадку про МСУ

1. Введення даних від аналогових ІІ на згадку про МСУ здійснюється за підпрограмами, на які переходить центральний процесор.

2. Перехід мікропроцесора на підпрограму може відбуватися, коли: а) якщо підпрограма викликається основною програмою; б) проходить заданий проміжок часу введення інформації, визначений зазвичай таймером; в) надходять ініціативні сигнали від аналогових чи дискретних датчиків через контролер переривання; г) за завданням оператора [9].

3. Введення даних від аналогових ПП У МСУ може відбуватися без систем вибірки та зберігання як у КП, так і з такими системами. Системи вибірки і зберігання використовують тоді, коли необхідно зафіксувати процеси, що швидко змінюються.

4. Передача даних від ПП може відбуватися побайтно за допомогою паралельних інтерфейсів (КР580ІК55) або побитно за допомогою послідовних інтерфейсів (КР580ІК51).

5. Програмований паралельний інтерфейс (ППІ) (КР580ІК55) РРІ має три порти А, В, С, які об'єднані в 2 групи: а) група А-входить порт А і С4–С7 порту С; б) група В – порт В і С0 – С3 порту С.

6. ППІ має крім регістрів портів А, В та С регістр керуючого слова РУС. Це регістр 2-байтний, тобто. 16-розрядний. До нього може бути записано:

- а) перший байт – керуюче слово першого типу;
- б) в другий байт записується слово другого типу, що управляє.

7. У блоці керування ППІ є виходи: RD – читання даних; WR – запис даних; CS – вибір кристала; RES – скидання. Цей сигнал скидає на нулі всі регістри А, В, С та РУС та встановлює всі порти А, В, С на введення. А0, А1 – адресні входи – молодші адреси шини мікропроцесора. Задаючий доступ до портів задається відповідно до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Програмування портів паралельного інтерфейсу

CS	A1	A0	Призначення
0	0	0	Порт А–введення/виведення
0	0	1	Порт В–введення/виведення
0	1	0	Порт С–введення/виведення
0	1	1	Запис до РУС

8. ППІ може бути запрограмований та працювати в одному з 3-х режимів: а) режим 0 – основний (простий) режим введення – виведення інформації; б) режим 1 – стробований режим введення – виведення інформації; в) режим 2 – режим двонаправленої шини [14].

9. Для ініціалізації ППІ використовують два типи керуючих слів:

- а) УС першого типу чи УС режиму роботи;
- б) УС другого типу чи УС маніпуляції з бітами.

10. Формат УС першого типу має вигляд:

D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0

D7=1 – для УС першого типу;

D6, D5 – режим 0 – 00, режим 1 – 01, режим 2 – 10;

D4 – порт А (РА7 – РА0): введення – 1, виведення – 0;

D3 – порт З (РС7 – РС4): введення – 1, виведення – 0;

D2 – група: режим 0 – 0, режим 1 – 1;

D1 – порт (РВ7 – РВ0): введення – 1, виведення – 0;

D0 – порт С (РС3 – РС0): введення – 1, виведення – 0.

11. Формат УС другого типу:

D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0

D7=0 – для УС першого типу;

D6, D5, D4 – завжди вводяться нулі;

D3, D2, D1 рівні відповідно N2, N1 та N0 – двійковому номеру розряду порту С.

Таблиця 3.2 – Програмування порту З паралельного інтерфейсу

00	01	10	11	00	01	10	11	N2 N1 N0
0	1	2	3	4	5	6	7	Розряд порту С

12. УС для DD10 (лист 2) паралельного інтерфейсу для введення інформації від аналогових ПІ.

12.1. Порт А – працює на виведення інформації, а саме: а) по лініях РС0 - РС2 йде вибір одного з 8 датчиків по лініях 89-96 (DD6). РС3 активізує DD6.

12.2. Виводи порту А та порту С (С7 – С4) не використовуються.

12.3. Порт В (РВ0 – РВ7) працює на введення інформації від АЦП DD11 і далі в МП.

12.4. Режим роботи всіх портів – режим 0.

12.5. УС першого типу має вигляд:

D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0: 1 0 0 1 1 0 1 0

12.6. Адресація портів для сигналу ВК 107 від дешифратора першого ступеня: порт А – E000H; порт В – E001H; порт С – E002H; РУС – E003H.

12.7. Дані від датчиків будуть зберігатися в ОЗУ4, починаючи від адреси 8С00H (8С00H – 1000 1100 0000 0000), (табл .3.3). Для кожного датчика відведено один байт пам'яті для зберігання одного байта даних [16].

Таблиця 3.3 – Адресація ліній датчиків

Номер лінії від ІІ	9	0	1	2	3	4	5	6
Адреса ОЗУ	С00H	С01H	С02H	С03H	С04H	С05H	С06H	С07H

12.8. Підпрограма введення даних від датчика позиція РТ-1в лінії 89 в ОЗУ4 за адресою 8С00H (і за адресою 8С01H для ІІ по лінії 90) за допомогою ІІІ DD10.

MVI A, 8AH; – завантажити в акумулятор код УС 1-го виду = 8AH.

OUT E003H; – вивести код УС у регістр РУС DD10.

MVI A, F8H; – введення в акумулятор МП коду числа для порту С, щоб вибрати шлях для введення сигналу лінії 89 через DD6.

OUT E000H; – виведення коду F8H в порт С за адресою E000H.

MVI A, 0FH; – введення в акумулятор коду числа для молодшої групи РС0 – РС3 та проходження сигналу по лінії 89.

OUT E002H; – виведення в порт С коду 0FH. Якщо МП виконав це, тоді дані від датчика надходять на АЦП, а МП очікує від АЦП сигналу RDU по лінії Р1.5 на свій вхід READ (дані готові), тобто. якщо RDU=1, тоді МП

вводить дані з порту DD10 за командою IN, тобто. відбувається наступні команди LXI, н.

LXI H,8C00H; – завантажити в регістр МП Н і L адресу осередку пам'яті 8C00H, куди будуть надіслані дані від датчика.

IN E001H; – введення з порту В, його адреса E001H, числа з АЦП в акумулятор АЦП.

MOV M, A; – передати дані з акумулятора в осередок пам'яті за адресою HL, (8C00H).

MVI A, F9H; – введення в акумулятор МП коду числа для порту С, щоб вибрати шлях для введення сигналу лінії 90 через DD6.

OUT E000H; – виведення коду F8H в порт С за адресою E000H.

MVI A, 0FH; – введення в акумулятор коду числа для молодшої групи PC0 – PC3 та проходження сигналу по лінії 90.

OUT E002H; – виведення в порт С коду 0FH. Якщо МП виконав це, тоді дані від датчика надходять на АЦП, а МП очікує від АЦП сигналу RDY по лінії P1.5 на свій вхід READ (дані готові), тобто, якщо RDY=1, тоді МП вводить дані з порту DD10 за командою IN, тобто. відбувається наступні команди LXI, н.

LXI H,8C00H; – завантажити в регістр МП Н і L адресу осередку пам'яті 8C00H, куди буде направлено дані від датчика.

IN E001H; – введення з порту В, його адреса E001H, числа з АЦП в акумулятор АЦП. MOV M, A; – передати дані з акумулятора в осередок пам'яті за адресою HL, (8C00H).

3.3 Розробка блоку мікропроцесора СУ

Вхідні сигнали керування на МП [9]:

RES – сигнал скидання від зовнішніх пристроїв, за цим сигналом в МП лічильник команд встановлюється на 0, а також відбувається скидання тригерів дозволу переривання та захоплення шин;

RDY – сигнал готовності, надходить від ВП в МП. Сигнал $U=1$ вказує, що дані зовнішній пристрій на ШД виставила, або, що ВУ готове прийняти дані;

HOLD – сигнал $U = 1$ від ВУ вказує на те, що ВУ запитує захоплення шин системи (даних та адреси);

INT – вхід сигналу запит на переривання від ВП.

Вихідні сигнали керування на МП:

HLDA – доказ захоплення шин, тобто. МП видає $U = 1$ і дозволяє захоплення шин. Це відповідь на запит HOLD;

WI – сигнал очікування. МП видає $U=1$ і перетворюється на режим очікування;

INTE – вихід сигналу дозволу переривання за $U=1$. Відповідь на запит INT;

DBIN – вихід сигналу прийом, тобто. при $U=1$ цьому виході, МП показує, що він перетворюється на режим прийому, читання даних із ВП чи пам'яті ОЗУ, ПЗУ;

WR – сигнал видача, запис, тобто. при $U=0$ МП видає байт інформації для запису у ВП чи пам'ять;

SYN – сигнал синхронізації. Сигнал $U=1$ супроводжує початок кожного циклу роботи МП;

CL1, CL2 – вхід фази 1 та фази 2 від генератора сигналу.

Формування основних управляючих сигналів у МСУ.

З використанням МП необхідно чітко представляти його динаміку роботи, тобто. взаємозв'язок програма – команда – керуючі сигнали. А саме:

1. Програма для ЕОМ складається з команд.
2. Команда – це чи кілька дій.
3. команда зазвичай виконується за 1 – 5 машинних циклів.
4. машинний цикл (М) – час, необхідне вилучення 1 байта інформації з пам'яті чи виконання однієї команди довгою одного машинного слова.

5. машинний цикл складається з 1 – 5 машинних тактів. Робота МП проходить за тактами, сигналами від тактового генератора.

6. У МП є 10 різних типів машинних циклів [16].

7. Першим машинним циклом під час виконання будь-якої команди МП є цикл М1 – вилучення коду команди.

8. Першим тактом у першому циклі М1 і кожному наступному циклі завжди є такт видачі МП на магістраль даних 8 – розрядного слова стану (СС).

9. Призначення кожного розряду у слові стан та форма СС наведено у таблиці. О – вихід сигналу з регістра DD12. МП із використанням своїх сигналів від РСС фактично керує всіма операціями.

Таблиця 3.4 – Алгоритм роботи мікропроцесора при кожному з 10 циклів роботи

Розряд стану DD12	Виконувана функція МП	Вигляд слова стану при кожному з 10 циклів роботи МП									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Вилучення коду команди	Читання даних із пам'яті	Запис у пам'ять	Вилучення даних зі стека	Запис в стек	Читання даних із ВУ	Запис даних в ВУ	Обслуговування переривання	Зупинка	Обслуговування переривання режимі
00	Обслуговування переривання	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
01	Запис читання	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
02	Стек	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
03	Обслуговування стану	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
04	Виведення	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
05	М1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
06	Введення	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
07	Пам'ять	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0

Дешифратори адрес МСУ.

У МСУ доступ до всіх осередків пам'яті ОЗП і ПЗП, ВП здійснюється за допомогою дешифраторів адреси. Кожен має свою адресу.

У МСУ дешифратори діляться на дві щаблі: А15 – А12 – (дешифратор DD1) – обробляють 4 старших розряду адресної лінії, тобто. це перший ступінь дешифраторів у МСУ; А11 – А0 – другий ступінь дешифраторів адреси МСУ. А11–А10 – ці 2 розряди обробляють дешифратори DD6 та DD5. А9 – А0 – деякі з цих розрядів спільно з DD1 використовуються для доступу до таймерів, контролерів переривання, а також до портів інтерфейсу, таймерів. Це також другий ступінь дешифратора.

Дешифратор адреси першого ступеня.

Мікропроцесор КР580ІК80А має шину адреси, що містить 16 ліній, тобто 16-розрядну адресну шину А0 – А15. Старшими розрядами є А15 А14 а молодші – А1 А0. У проєктованій МСУ використовується, переважно, дворівнева структура адресації. Як дешифратор першого ступеня DD1 обраний дешифратор – демультіплексор К155ІДЗ (DD1). Він перетворює двійковий код, що подається на чотири входи 20 – 23, в однаковий сигнал на одному з виходів 0–15, тобто дешифратором 4 на 16. Сигнали дозволу роботи дешифратора подаються на входи EN1 і EN2. Структура дешифратора – демультіплексора К155ІДЗ містить 4 інвертори, 16 логічних елементів І на 5 входів та один елемент НЕ-І– на два входи [9].

Чотири старші розряди адреси А15 – А12 від мікропроцесора по лініях 3 – 6 підключені на входи 20–23 дешифратора першого ступеня DD1. Залежно від коду цих входів формується низький рівень одному з виходів DD1. Ці сигнали надходять на такі елементи:

Сигнали 12 і 13, а також сигнали 16 і 17 подаються на керування дешифраторами DD5 і DD6 другого ступеня для формування сигналів доступу до кристалів відповідно ПЗП та ОЗУ. Сигнали 12 та 16 при цьому проходять додатково через інвертори DD14.6 та DD15.4 на лінії зв'язку 42 та 110.

Сигнал 107 через роз'єм з написом ВК107 надходить на паралельний інтерфейс DD10, який обслуговує АЦП та вхідні комутатори.

Сигнал 108 з написом на роз'ємі ВК108 надходить на дешифратори адреси вибору контролерів переривання, розташованих у блоці клавіатури та індикації.

Сигнал 18 надходить на додатковий третій інтерфейс (за необхідності) виведення сигналів на виконавчі механізми [8].

Сигнал 19 подається на паралельний інтерфейс DD6 виведення інформації (сигналів) на ІМ та на графобудівник.

Сигнал 105 подається на паралельний інтерфейс DD1 виведення інформації з МСУ на ІМ та друк. Сигнал 106 надходить на дешифратори таймерів.

Подвійний дешифратор DD5, DD6.

1. У проєктованій МСУ ці мікросхеми використовуються як дешифратори 2 ступеня, а саме доступу до пам'яті ПЗУ1–ПЗУ8 через DD5; ОЗУ1 – ОЗУ8 через DD6.

2. Після включення живлення до МСУ усім лініям адреси А0–А15 від МП DD2 надходять сигнали $U=0$. Сигнали з А12–А15 надходять на дешифратор 1 ступеня DD1. При нульових значеннях цих 4 виходах на виході DD1, лінії 12 $U=0$, але в інших $U=1$.

У таблиці 3.5 відбито роботу дешифратора – демультіплексора типу К155ИД4. Нулями відзначені сигнали низького рівня, що з'являються на виходах дешифратора, залежно від сигналів роздільної здатності та сигналів на адресних входах. Поодинокі стани виходів дешифратора в таблиці не зазначено. З таблиці 3.5 стану видно, друга група сигналів не формується на виході дешифратора сигналів низького рівня, а третя група формує сигнали низького рівня на двох виходах одночасно. Таким чином, робочий стан дешифраторів у проєктованій МСУ забезпечуватиметься поєднанням вхідних сигналів першої та четвертої груп.

3. Сигнал по лінії 12 $U=0$ проходить інвертор DD14.6 і лінії 110 надходить на вхід EN1 як сигнал $U=1$. На другому виході DD1 і лінії 13 $U=1$. Цей сигнал надходить на EN2 DD5; т.ч. на обидва входи EN1 та EN2 йдуть

сигнали рівні 1. Тоді згідно з таблицею 3.5 станів буде забезпечений доступ до виходів 1.0 – 1.3 або це доступ до ПЗУ1 – ПЗУ4.

Таблиця 3.5– Стану дешифратора – демультіплексора типу K155ІД4

Входи						Виходи							
N1	N2	SEL1	SEL2	0	1	0	1	2	3	0	1	2	3

4. На лініях A10 – A11 МП U = 0. Ці лінії проходять через буфер адреси DD16 лініями 48 і 49. Ці лінії надходять на входи A0, A1 DD5 або DD6. При нульових значеннях цих ліній згідно таблиці буде доступом до виходу 1.0, тобто. до ПЗП1. Таким чином, після включення системи в роботу, після подачі живлення одразу відбувається доступ до ПЗУ1, де може бути адреса якоїсь підпрограми, яка автоматично виконується. Наприклад, підпрограми готовності системи до сприйняття даних.

5. Якщо МП видає на лініях A15 – A12 код 0001. Цей код надходить на дешифратор DD1 і тоді виході O2 й у лінії 13 U=0, а всіх інших лініях й у лінії 12 DD1 U=1. Сигнал 12 інвертор DD14.6, тому на обох входах EN1, EN2 DD5 U=0 згідно таблиці буде доступ до виходів 2.0 – 2.3 або в залежності від коду на лініях A0, A1 по лініях 48, 49 від адресних ліній A10, A11 DD16, буде доступ до ПЗП5 або ПЗП8. Аналогічно йде доступ до ОЗП1, ОЗУ5 за сигналами ліній 16 та 17 (виходи 9 та 10 DD1). Сигнал по лінії 16 проходить елемент «І – НІ» DD15.4 другого вхід цього елемента надходить харчування, тобто. вихідний сигнал 42 дорівнюватиме 0, якщо живлення подано [14].

Таким чином, залежно від низького рівня сигналу від дешифратора першого ступеня DD1 в одній з ліній 12, 13, 16 або 17 відбувається вибір однієї з чотирьох груп вихідних сигналів DD5 і DD6: ПЗУ1 – ПЗУ4 або ПЗУ5 – ПЗУ8 та ОЗУ1 – ОЗУ4 або ОЗ – ОЗУ8. Залежно від коду на адресних входах лініями 48 і 49 здійснюється формування сигналу низького рівня на одному з чотирьох виходів однієї з цих чотирьох груп виходів. Доступ до кристалів ОЗП припиняється після зняття електричного живлення з елемента DD15.4.

Буфери шини адреси.

Інформація, що видається МП на шині адреси та даних, надходить до багатьох пристроїв: ОЗУ, ПЗУ та ВУ, інтерфейси. Проте виходи МП, зокрема КР580ИК80А допускають споживання них щодо невеликого струму. Слід, що до одного виходу МП можна підключити один пристрій, тому адреси шини і даних підключають буфери. Для побудови таких буферів використовують шинні формувачі [16].

Як буфер адреси в МСУ використовуються шинні формувачі КР580ВА86 та КР580ВА87. У розробленій системі керування як буфери адреси МП використовуються мікросхеми К155ЛП10. У кожному з цих мікросхем входять шість повторювачів із трьома станами на виході, тобто шість Z-буферів-повторювачів.

На аркуші 3 наведена схема підключення трьох буферів DD13, DD16 та DD19 у лінію адреси МП. Від МП адресні виходи А15 – А0 надходять входи буферів DD13, DD16 і DD19, але в виході їх формується шина адреси з лініями 3 – 6, 48, 49, 90 – 99.

Виходи буфера DD19 3–6 (як вказувалося вище) надходять на вхід дешифратора першого ступеня DD1, виходи 48, 49 від DD16 надходять на адресні входи дешифраторів другого ступеня для ПЗУ та ОЗУ DD5 і DD6, а решта виходів надходять на загальномашинний раз. По лінії 85 надходить сигнал із схеми прямого доступу до пам'яті (ПДП) від елемента DD3, де формується він, рівним 0 або 1. Для буферів DD13, DD16 і DD19 сигнал лінії 85 є z-сигналом для z-буферів. Якщо по лінії 85 надходить сигнал $z=1$, тоді перетворюються на високоомний стан усі виходи буферів адреси, шина адреси відключається від мікропроцесора, і використовується для прямого доступу до пам'яті. Якщо сигнал лінії 85 дорівнює нулю, відбувається звичайна робота шини адреси з МП [21].

Буфери шини даних.

У мікропроцесорній системі керування використовують два буфери шини даних DD7 та DD11, виконаних на шинних формувачах КР589АП16.

ШД у МСУ 8 – розрядна, а буфери 4 – розрядні, тому використовують 2 буфери, що працюють паралельно.

Ці буфери двонаправленої дії, тобто можуть пропускати сигнали від МП на шину даних або навпаки з шини даних у МП. Буфери типу K5879АП16 мають 4 виходи I/O (I/O0–I/O3). Ці виходи приєднуються до загальносистемної для МСУ шини даних і через них дані можуть проходити в обох напрямках, а також є дві групи по 4 виходи, через які дані проходять лише в одному напрямку. А саме: чотири входи I0–I3 забезпечують проходження даних з МП в буфер (а потім на шину даних) та чотири виходи O0–O3, через які дані від буфера (і з шини даних) надходять у МП. Направлення руху даних через буфер задається сигналами, що подаються його входи CS і SEL.

Буфер K589АП16 містить 8 керованих z-буферів, чотири з яких забезпечують проходження даних в одному напрямку, чотири інших у протилежному напрямку, логічний елемент на два входи HE–I–HI для формування сигналу керування z_1 чотирма z-буферами та елемент I–HI для формування сигналу керування z_2 іншою четвіркою z-буферів, а також резистори R23 – R26, через які підводиться електроживлення на лінії шини даних.

Робота буфера відбувається в такий спосіб. Якщо на входи керування подаються сигнали лініями 47 і 11 $CS = 0$ і $SEL = 0$, тоді $z_1 = 0$, а $z_2 = 1$ і дані проходять з входів I0 – I3 (від МП) на виходи I/O0 – I/O3 (шину даних). Якщо ж сигнали $CS=0$, $SEL=1$, тоді $z_1=1$, а $z_2=0$ і дані проходять із входів I/O0 – I/O3 (з шини даних) на виходи O0–O3 (і далі МП). Сигнал CS лінії 47 проходить через багато елементів, але йде від МП з виходу HLDA, а сигнал SEL по лінії 11 також проходить багато елементів від МП з виходу DBIN (прийом або видача даних).

Регістр слова стану та регістр даних, що виводяться на сегменти індикаторів.

Регістр слова стану (PCC) призначений для прийому від МП на початку кожного циклу його роботи коду слова стану (CC), запису та зберігання його

протягом усього циклу, а також для видачі (відповідно до стану) необхідних сигналів керування. Ці сигнали, разом із сигналами керування мікропроцесора, здійснюють усі операції перемикання пристроїв у МСУ під час її роботи.

Як регістр слова стану в МСУ використовується багаторежимний буферний регістр (МБР) DD12 типу K589IP12. Він має: 10 – 17 – входи сигналів (інформації); CS1, CS2 – входи вибору кристала; MD – вхід вибору режиму; EW – вхід строба; R – скидання; INR – вихід подовженого входу (інвертованого) строба [9].

МБР як РСС включений за першим режимом, при якому вхід MD заземлений, а CS2=1, тобто в цьому режимі CS1=0, CS2=1 та MD=0. При надходженні строба від МП на вхід EW, тобто при EW=1 відбувається запис (защипки) слова стану в регістрі. Строб від МП на РСС надходить на початку кожного циклу.

Багаторежимний буферний регістр типу K589IP12 використовується в МСУ також як регістр даних, що виводяться на сегменти індикаторів, DD8. У цьому випадку МБР включений за другим режимом, при якому EW=0, а MD=1 (оскільки цей вхід з'єднаний з лінією 79, на який подається живлення Ж біля тригера DD3). По стробу, що надходить на вхід CS1 і по сигналу, що дорівнює 1 з лінії 17 на CS2 від пристрою прямого доступу до пам'яті (ПДП), регістр DD8 засуває дані, що надходять на входи 10 – 17.

Запис даних у пам'ять (ОЗП) або зовнішній пристрій (ВП).

Формування сигналів для запису даних у пам'ять (ОЗП) або ВП наведено на відповідному плакаті. Мікропроцесор позначений DD2, регістр слова стану DD12. Відомо, що при записі даних у ОЗП або ВП МП видає на виході WR $U=0$. Регістр слова стану DD12 за словом стану, яке запам'ятовується ним на початку кожного циклу від МП, видає на виході О4 сигнал $U = 1$ під час запису ВП і сигнал $U = 0$ при записі в ОЗУ [8].

Якщо виході О4 DD12 видається $U=1$, але в виході WR $U=0$, тоді на виході DD17.1 $U=0$ і здійснюватиметься запис на ВУ (на виході DD17.2 у разі

$U=1$). Якщо ж на виході O4 DD12 видається сигнал $U=0$, при збереженні на виході WR $U=0$, тоді на виході на виході DD17.2 $U=0$ (а на виході DD17.1 $U=1$) відбувається запис даних в ОЗУ.

Синхронізація роботи МП та регістру слова стану та формування строба слова стану.

У цю схему входить генератор тактової частоти, тригер DD20.2 та інвертор DD14.5. Генератор тактової частоти 4 МГц на вихід 2 видає сигнали частотою 4 МГц, але в виходах 9 і 10 формує сигнали частотою 2 МГц, але зрушені фазою на 1800 з однойменної полярністю. Вихід МП DD2 SYN – вихід сигналу синхронізації, а регістрі слова стану DD2 вхід STR – вхід для сигналу синхронізації. Якщо від МП подається сигнал $SYN=0$ (початковий стан), тоді вхіді D – тригера DD20.2 $U=0$, і з частотою 2 МГц на вхід 3 надходять сигнали від генератора сигналів (ГС) через DD4.5. На виході тригера DD20.2 формується сигнал $U = 0$. Частотою 4 МГц відбувається скидання тригера на нуль через вхід R, якщо тригер був встановлений одиничний стан. Якщо від МП подається сигнал $SYN=1$, тоді на виході DD20.2 формується сигнал $U=1$ і надходить на вхід STR DD12, тобто відбувається синхронізація DD2 і DD12. Однак через половину періоду основних сигналів лінії 2 надходить сигнал на вхід R DD20.2 і тригер скидається на нуль. За цим сигналом синхронізації РСЗ DD12 записує СС від МП. Після проходження часу, що дорівнює половині періоду частотою 2 МГц, тригер DD20.2 через вхід R скидається на нуль. Одночасно з цим на інверсному виході формується строб зворотної полярності, що надходить на тригер DD20.1.

Формування сигналу подовжених DBIN [16].

Формування сигналу подовжених DBIN відбувається за схемою на аркуші 3. Вона містить МП DD2, два тригери DD21 і DD20.2, три інвертори DD14.1, DD14.2 та DD14.3 та два елементи «І» DD18.1 та DD18.2. МП на виході DBIN видає $U=1$, коли він готовий до прийому даних із ОЗП, ПЗП та ВП. Тригер DD20.2 на інверсному виході видає строб із частотою 2 МГц, а знімає його з частотою 4 МГц, що надходить на вхід R, якщо на вхід D –

тригера DD20.2 надходить сигнал синхронізації SYN з виходу МП DD2. У вихідному стані на інверсному виході тригера DD20.2 $U=1$, на прямому виході тригера DD20.1 $U=1$, сигнал DBIN=0 на виході МП DD2, а тому на обох входах DD18.2 $U=1$, а на його виході подовжений сигнал DBIN=0. Якщо МП видає сигнал DBIN=1, тоді верхньому вході DD18.2 $U=0$ (при $U=1$ на нижньому вході) і сигнал подовжений DBIN=1. При зміні сигналу на верхньому вході DD18.2 з 1 до 0 відбувається скидання тригера DD20.1 і прямому виході стає $U=0$.

Таким чином, на обох входах DD18.2 $U=0$, а на його виході подовжений DBIN=1. Через деякий час МП DD2 знімає сигнал DBIN, він дорівнює нулю, і на верхньому вході DD18.2 $U=1$, але сигнал подовжений DBIN продовжує дорівнювати одиниці поки строб не надійде на вхід С тригера DD20.1. Після цього сигнал подовжений DBIN = 0. Подовження сигналу DBIN за часом відбулося рахунок спрацювання тригерів DD20.2 і DD20.1

Формування сигналів I/OR (читання ВУ) та MEMR (читання ОЗУ та ПЗУ).

Схема формування сигналів містить МП DD2, регістр СС DD12, схему подовження DBIN та два елементи «І» DD17.3 і DD17.4. З таблиці стану сигналів у кожному циклі впливає, що для читання з ВУ на виході О6 DD12 $U=1$, на виході О7 $U=0$ і подовжений сигнал DBIN=1 в лінії 9. У цьому випадку на виході DD17.3 $U=0$, тобто сигнал I/OR=0 і проводитиметься читання даних з ВП (на виході DD17.4 $U=1$). Якщо ж на виході О7 DD12 $U=1$, на виході О6 $U=0$ і подовжений DBIN=1, тоді на виході DD17.4 $U=0$, тобто сигнал MEMR=0 і буде читати дані з пам'яті (ОЗУ або ПЗУ). Сигнал на виході DD17.3 дорівнює одиниці.

Формування сигналів CS та SEL для керування буферами шин даних.

Схема формування сигналів CS та SEL для керування шин даних DD7 та DD11 містить МП DD2, регістр СС DD12, буфери шини даних DD7 та DD11, тригер DD20.1 та інші елементи. З таблиці стану сигналів кожному за циклом роботи МП впливає, що з $O1=0$ на виході PCC DD12 відбувається запис

даних, а при $O1=1$ тому ж виході читання даних. Якщо, наприклад, відбувається читання (прийом) даних з пам'яті (ОЗУ або ПЗП) або ВУ, тоді $O1=1$ на виході DD12 і $HLDA=0$ на виході DD2 (оскільки захоплення шин не буде МП дозволено) і $DBIN=1$ тому, що МП прийом даних дозволяє. Оскільки сигнал $DBIN=1$, тоді на входах SEL DD7 і DD11 $U=1$ ці буфери включаються на введення даних у МП. На лінії 47 в цей час $U=0$ (буфери DD7 і DD11 включаються в роботу) тому, що на вході DD18.3 $U=1$ від DD12 (при читанні) та на виході тригера DD20.1 $U=0$. На прямому виході DD20.1 $U=0$ оскільки при надходженні сигналу $DBIN=1$ від МП DD2 на виході DD18.1 сигнал змінюється від 1 до 0 і відбувається скидання тригера DD20.1 в нульовий стан. З приходом чергового строба слова стану (СС) тригер DD20.1 встановлюється одиничний стан, на прямому його виході $U=1$, на виході DD18.3 $U=0$, але в виході DD18.4 $U=1$ (лінією 71 $U=1$) сигнал $CS=1$ і DD7 і DD11 вимикаються. Якщо буде записуватися даних в ОЗУ або ВУ, тоді $DBIN=0$ і на входах SEL $U=0$. На виході DD18.1 $U=1$, тому тригер не скидається і його прямому виході $U=1$. Сигнал $O1=0$ на виході DD12. На виході DD18.3 $U=1$, а на виході DD18.4 $U=0$, $CS=0$ лінії 47 і буфери DD7 і DD11 включаються на виведення даних з МП на шини даних і далі на ОЗУ і ВУ. Після закінчення циклу запису даних на виході $O1$ DD12 сигнал змінюється на $U=1$, лінії 47 $U=1$ і DD7 і DD11 вимикаються.

Формування сигналів переривання у мікропроцесорній САУ [21].

Модуль пріоритетного переривання призначений для використання у мікропроцесорних САУ, в яких режим обробки інформації змінюється залежно від зовнішніх програмно-непередбачуваних подій. Основна функція модуля пріоритетного переривання зводиться до розпізнавання зовнішніх подій та видачі керуючих сигналів у мікропроцесорну САУ, яка (за певних умов) тимчасово припиняє виконання поточної програми та передає керування іншою програмою, спеціально передбаченою для даного випадку. Мікропроцесор КР580ІК80А дозволяє реалізувати векторне багаторівневе пріоритетне переривання шляхом підключення до нього додатково

спеціальної схеми переривання, основним елементом якої є контролер переривання. У аналізованій мікропроцесорній САУ використовуються контролери переривання типу KP580BH59.

Периферійні пристрої мікропроцесорної САУ можуть запросити переривання поточної програми мікропроцесора DD2 шляхом подачі сигналу INT, що подається на його вхід INT. Сигнал переривання може виникнути будь-якої миті циклу команди. Обробка переривань організована таким чином, що переривання запит фіксується у внутрішньому тригері запиту переривання мікропроцесора. Причому запит переривання фіксується лише під час переходу мікропроцесора до циклу M1, тобто початкового циклу чергової команди, що свідчить про закінчення виконання поточної операції. Виконання цих умов призведе до того, що наступний цикл машини буде циклом обробки запиту переривання. Машинний цикл переривання, який починається в такті T1 за умов дозволеного переривання, повторює в основному машинний цикл вибірки. Протягом часу, який визначається одиничним (H – рівнем) сигналом синхронізації, мікропроцесор формує на своєму виході INTE сигнал $U=1$.

Фактично сигнал INTE на виході мікропроцесора є квітуючим, тобто сигналом, що повторюється двічі протягом одного повного циклу роботи мікропроцесора. У аналізованій мікропроцесорній САУ сигнал запиту переривання на вхід INT мікропроцесора DD2 може надходити від паралельного інтерфейсу, який обслуговує клавіатуру, і зовнішніх пристроїв через контролер переривання DD13. Припустимо, що натискається будь-яка клавіша клавіатури і надходить сигнал $U=1$ на вхід 1D тригера DD18.2. Мікропроцесор DD2 на циклі M1 на виході INTE формує сигнал, що дорівнює одиниці. Цей сигнал проходить елементи «I–HI» DD15.2 та DD15.3 та надходить на вхід R тригера DD8.2. За сигналом синхронізації, що надходить на вхід C тригера DD8.2 від регістра слова стану DD12 з виходу O5, з урахуванням сигналів, що надходять на входи 1D і R тригера DD8.2, цей тригер переходить у режим установки, при якому на прямому виході $U=1$, але в інверсному виході $U=0$. Цей сигнал проходить елемент «I–HI» і у вигляді

сигналу $U = 1$ надходить на вхід INT мікропроцесора і зафіксується внутрішнім тригером. Мікропроцесор знімає сигнал INTE, тобто він стає рівним нулю, тригер DD8.2 перетворюється на режим скидання, у якому прямому виході $U=0$, але в інверсному виході $U=1$.

Сигнал з інверсного виходу тригера проходить елемент «I–HI» і тому на виході мікропроцесора INT встановлюється сигнал, що дорівнює нулю. Така послідовність формування сигналу INT мікропроцесор спостерігається у разі, коли сигнал запиту переривання від контролера переривання DD13 з виходу INT не надходить, тобто він дорівнює нулю. Якщо запит на переривання надходить від зовнішнього пристрою, він спочатку надходить однією з входів IR0 – IR7 контролера переривання DD13 [16].

Контролер переривання формує на виході INT сигнал, рівний одиниці, який проходить інвертор «H–I» та елемент «I–HI» (за умови, що з інверсного виходу тригера DD8.2 надходить сигнал $U=1$) і як сигналу $U=1$ надходить на вхід INT мікропроцесора DD2. Робота мікропроцесора по сприйняттю сигналу запиту у разі від паралельного інтерфейсу клавіатури. Однак після переходу на обслуговування переривання мікропроцесор DD2 передає регістр слова стану DD12 відповідне слово стану. У слові стану в розряді 00 на виході регістра слова стану DD12 формується сигнал $U=1$, який надходить на вхід контролера INTA переривання DD13. За цим сигналом контролер переривання лініями даних за командою CALL<A1><A2> передає адресу комірки пам'яті, з якої починається підпрограма обслуговування зовнішнього пристрою.

Мікропроцесорна САУ обслуговує запит зовнішнього пристрою, а після виконання підпрограми повертається у вихідну програму.

3.4 Розробка блоку клавіатури, індикації та формування векторів переривання

Основні елементи блоку прямого доступу до пам'яті та виведення інформації на екран. Цей блок містить такі елементи. Генератор сигналів на

1200 Гц, який зібраний на двох логічних інверторах DD1.1 та DD1.2, резисторі R25 та конденсаторі C1. Сигнал з виходу генератора постійно подається на вхід C синхронізації тригера DD3, а також через два інвертори DD1.3 та DD1.4 на вхід C2 лічильника DD6 та на вхід елемента І – НІ DD4.3.

Лічильник DD6 типу K155IE5 містить 4 Т-тригера і елемент І–НІ на два входи для формування сигналу установки лічильника на нуль (скидання на нуль). Лічильник має два входи T0 і T1 та чотири виходи СТ0 – СТ3. Якщо вхідний сигнал подається T1, тоді лічильник працює як трирозрядний. Якщо з'єднати T1 з виходом СТ0 і вхідні сигнали подавати на вхід T0, тоді лічильник буде працювати як чотирирозрядні [14].

У схемі прямого доступу до пам'яті лічильник DD6 працює як трирозрядний і призначений для формування восьми адрес з кодами від 000 до 111 на молодших лініях адреси A0, A1 і A2 при почерговому доступі до 8 осередків ОЗП при ПДП. Для цієї мети сигнали від лічильника DD6 надходять на 3 логічні елементи І–НІ DD5.2, DD5.3 і DD5.4. При надходженні другого сигналу ці елементи від тригера DD3 вони спрацьовують і передають код адреси від лічильника лінії адреси A0, A1 і A2.

Дешифратор адреси DD7 з урахуванням зведеного дешифратора – демультимплексора K155ИД4 призначений для чергової видачі сигналів на восьми виходах при безперервному формуванні кодів адрес на адресних лініях A0, A1, A2 лічильником DD6. Сигнали з виходів DD7 через підсилювачі VT2 – VT16 (парні) надходять на катоди 8 індикаторів дисплея та забезпечують їх почергове підключення до джерела живлення.

Багаторежимний буферний регістр DD8 призначений для заціпки на кожному такті доступу до пам'яті (з частотою 1200 Гц) даних осередку пам'яті ОЗУ (по черзі з восьми осередків ОЗУ), зберігання цих даних протягом такту і видачі їх на аноди всіх індикаторів дисплея. За цими даними формується на індикаторах (на всіх) якась цифра або буква, а ця цифра або буква висвічуватиметься на тому індикаторі, катод якого підключений в даний момент до джерела живлення за допомогою дешифратора адреси DD7.

Сигнали від буферного регістра на аноди індикаторів проходять через підсилювачі VT1 – VT15 (непарні).

Спільне підключення підсилювачів VT2–VT16 (парних) на катода індикаторів і підсилювачів VT1–VT15 (непарних) на аноди індикаторів показано на аркуші 4. На входи 1–8 і на бази тріодів VT2 –VT16 (парні), а потім сигнали (по черзі) від дешифратора адреси DD7, але у входи 9 – 16 і бази тріодів VT1 –VT15 (непарні) подаються (одночасно всі аноди всіх індикаторів) дані з буфера DD8 [21].

У проєктованій МСУ передбачається як дисплей використовувати вісім індикаторів. Кожен індикатор є семисегментною світлодіодною матрицею типу АЛС335А. Кожна з восьми світлодіодних матриць обслуговує одну з восьми осередків ОЗУ, до яких здійснюється прямий доступ. Тому програмно в кожен осередок ОЗУ суворо певна інформація.

Організація ПДП та виведення інформації на дисплей. У мікропроцесорній системі керування технологічним процесом блок прямого доступу до пам'яті та виведення інформації на дисплей працює у мультиплексорному режимі. Мікропроцесор K580IK80A працює на частоті 2 МГц. Генератор сигналів ПДП на інверторах DD1.1 та DD1.2 має частоту 1200 Гц та пристрій ПДП спрацьовує з цією частотою. Якщо 2 МГц розділити на 1200 Гц, тоді отримаємо, що через кожні 1666 тактів спрацьовує МП, він переривається і дає можливість протягом необхідного числа тактів відпрацьовувати системі ПДП і виводити інформацію на дисплей. З іншого боку до пристрою ПДП підключені 8 індикаторів, причому вони приєднані по прийому інформації по черзі тому, що дешифратор адреси DD7 видає сигнали на катода восьми індикаторів послідовно. На підставі цього катода індикаторів будуть запалюватися з частотою, що дорівнює $1200:8 = 150$ Гц, на час, що дорівнює одному періоду цієї частоти (а не 1200 Гц або 2 МГц). Зі світлотехніки відомо, що якщо частота коливань перевищує 15 – 20 Гц, тоді створюється ефект безперервного світіння, тому і інформація на всіх індикаторах візуально сприйматиметься безперервною.

Крім розглянутих пристроїв у здійсненні прямого доступу до пам'яті, беруть участь елементи DD1.5, DD4.1, DD14.3, DD15.1, DD4.2, DD5.1, DD2.1, DD4.3. Елемент DD1.5 через роз'єм X1 з'єднаний із входом R МП та з кнопкою «Скидання» та забезпечує скидання системи ПДП у вихідний стан. Елемент DD4.1 служить введення в систему ПДП сигналу від кнопки «Скидання» через DD1.5 та сигналу HLDA від МП DD2 через елемент DD14.3. Елемент DD15.1 служить для введення МП сигналу INT (переривання). Якщо сигнал INT не надходить (вихідний стан), тоді на роз'ємі INT зовнішній $U = 1$, а на виході DD15.1 $U = 0$, МП не переходить в режим переривання і може дозволити ПДП. З цього випливає, що елемент DD4.2 служить для блокування сигналів INT і HOLD та виключення одночасної подачі цих сигналів на МП. Елемент DD5.1 забезпечує аналогічне блокування із введення сигналу HOLD від зовнішнього пристрою [8].

Безпосередня робота модуля ПДП відбувається у наступній послідовності. На кожен сигнал від генератора сигналів частотою 1200 Гц спрацьовує тригер DD3 та його прямому виході з'являється сигнал $U=1$. За відсутності запитів від зовнішніх пристроїв на переривання та захоплення шин цей сигнал пропускається елементами DD4.2 та DD5.1 та надходить на вхід HOLD МП, запитуючи МП «захоплення шин». Якщо МП дозволяє здійснити ПДП, він видає на вихід HLDA сигнал $U=1$ (до дозволу захвату шин на виході HLDA $U=0$, на виході DD14.3 $U=1$ і від DD1.5 $U=1$, але у виході DD2.1) $U=0$, тому DD2.1 не може спрацювати). Цей сигнал перемикає DD14.3 на нульовий стан на виході, а на виході DD4.1 та на вході DD2.1 буде $U=1$. Інший сигнал на вході DD2.1, що надходить від тригера DD3, також дорівнює одиниці (він робить запит на ПДП). Третій сигнал елемент DD2.1, що надходить через роз'єм X1, є сигналом синхронізації МСУ. Після цього елемент DD2.1 спрацьовує і на виході з'являється фронт сигналу від 1 до 0. Цим фронтом нижній тригер DD3 встановлюється, на прямому виході з'являється сигнал $U=1$, який дозволяє пройти код адреси на лінії A0, A1, A2 від лічильника DD6 через елементи DD5.2, DD5.3, DD5.4. Після того, як адреси на шинах адреси

виставлені, дані з осередків ОЗП за цією адресою заносяться до реєстру DD8 і з'являється інформація на індикаторах дисплея.

Нижній триггер DD3 з інверсного виходу подає сигнал із фронтом, що змінюється від 1 до 0, на вхід R верхнього триггера DD3 і скидає його, встановлюючи на прямому виході $U=0$ і знімаючи запит HOLD з МП DD2.

МП знімає сигнал HLDA і на виході DD4.1 та вході DD2.1 сигнал знижується до нуля, а на виході DD2.1 $U=1$, нижній триггер скидається на нуль за допомогою сигналів на виходах D та C, які заземлені. На верхньому виході нижнього триггера DD3 встановлюється $U=0$, елементи DD5.2, DD5.3 та DD5.4 відключають шину адреси від пристрою ПДП та починається звичайна робота системи керування та МП, а режим ПДП закінчується [9].

Програмований таймер KP580BI53. У САУ таймери використовуються:

- а) для здійснення наступного включення механізмів та пристроїв в одній послідовності та вимикання цих пристроїв зазвичай в іншій послідовності;
- б) для безперервного генерування сигналів заданої частоти та можливістю зміни цієї частоти;
- в) визначення часу зміни якогось параметра;
- г) визначення поточного часу.

Таймер KP580BI53 – це власне лічильник часу, з іншого боку таймер – це генератор частоти. Причому таймер має синхронізацію по запуску та вимкненню. DOUT0 – DOUT2 – вихідні сигнали таймера від трьох його входів. SYN0 – SYN2 – входи синхронізації лічильників. Тобто. входи сигналів від генераторів Сигнали повинні надходити безперервно на ці входи. EN0 – EN2 – сигнали дозволу включення лічильників в роботу. A0 – A1 – молодші розряди шини адреси, призначені вибору одного з лічильників чи регістрів управляючого слова.

Робота ПТ (програмованого таймера) у режимі «0»:

1. У цьому режимі таймер працює як реле часу із замкнутими контактами для формування вихідного сигналу DOUT.
2. Вводиться слово керування.

3. Вводиться до лічильника цього каналу число – кількість тактів сигналу SYN, після відпрацювання яких має з'явитися сигнал DOUT.

4. В результаті введення числа в лічильник сигнал DOUT не змінюється.

5. Після подачі сигналу EN лічильник починає зворотний рахунок від введеного числа до 0.

6. Коли показник лічильника стає рівним 0, тоді попередньому фронту сигналу синхронізації з'являється сигнал $DOUT=1$.

7. Сигнал DOUT знижується до 0, якщо сигнал $EN=0$.

8. Сигнал DOUT скидається на 0 під час нового завантаження числа в лічильник. Число в лічильник необхідно заносити щоразу.

Таблиця 3.6 – Сигнали при обміні інформацією між МП та ПТ

Операції	Сигнали керування				
	R	D	S	1	0
Запис УС у регістрі керування таймером					
Завантаження СТ0 (D0 – D7)					
Завантаження СТ1					
Завантаження СТ2					
Читання зі СТО0					
Читання зі СТО1					
Читання зі СТО2					
Вимкнення програми таймера					

Робота ПТ в режимі «1» (режим мультивібратора, що чекає). Мультивібратор – це 2-х каскадний генератор прямокутних коливань. Очікуючий мультивібратор або один вібратор – це схема, яка реагує на вхідний імпульс і змінює свій стан на 1 цикл або на кілька циклів, а тому ділиться на один вібратор без перезапуску (як у таймері), і один вібратор з повторним автоматичним перезапуском. Час автоматичного перезапуску зазвичай встановлюється за допомогою RC – ланцюжка. Робота:

1. Завантажує канал УС.
2. Вводить у лічильник число N ($N=4$).
3. Під час введення числа в лічильник вихідний сигнал $DOUT=1$.
4. При подачі сигналу EN та переднього фронту сигналу синхронізації сигнал DOUT знижується до 0.
5. Число в лічильнику в цьому режимі залишається при подачі (зйомі), а потім подачі сигналу EN цикли повторюються.

Режим «2» – програмований дільник частоти зі шпаруватістю один такт вихідного сигналу по лінії 5 і 6.

Режим «3». Це режим меандру (генератор меандру). Тобто. ділить вихідну частоту на рівні статі періоди, якщо число N, на яке необхідно розділити парне. А якщо число N непарне, тоді підлозі періоди відрізняються на один такт сигналу синхронізації.

Режим «4». Строб із програмованим запуском. Поодинокий строб.

Режим «5». З перезапуском цього строба через час, внесений числом до таймера. Строб.

При складанні програми для таймера необхідно мати на увазі таке:

1. Вводити УС для лічильника СТ2, потім СТ0, потім СТ1.
2. Вводиться молодший байт числа у СТ1.
5. Вводиться старший байт числа у СТ1.
6. Вводиться молодший байт числа у СТ2.
7. Вводиться старший байт числа у СТ2.
8. Вводиться молодший байт числа СТ0.
9. Вводиться старший байт числа СТ0.

Пристрій прямого доступу до пам'яті (ПДП).

У проектованій МСУ ПДП використовується висновку інформації на індикатори, тобто. під час роботи оператора з клавіатурою. У пристрій ПДП входить:

- а) генератор із частотою 1200 Гц на елементах R25, C1, DD1.1, DD1.2. Ця частота безперервно подається на вхід тригера DD3 верхнього і через 2

інвертори DD1.3, DD1.4 на лічильник DD6 (один інвертор використаний для розв'язування сигналів, інший для повернення сигналу вихідний стан, тобто для узгодження сигналу);

б) 2 тригери DD3 верхній та нижній;

в) лічильник DD6, який формує безперервно та по черзі на виходах адреси 8 осередків ОЗУ з номерами від 000 до 111;

г) регістр DD8, який фіксує дані однієї з 8 осередків ОЗУ на певний цикл (його виходи з'єднані з сегментами всіх 8 матриць);

д) дешифратор DD7, який по черзі за кодом на вході від лічильника DD6 видає сигнал низького рівня на один із 8 виходів (ці виходи підключені до 8 катодів матриць);

е) елементи DD5.2, DD5.3, DD5.4, які служать для з'єднання шини адреси пристрою ПДП (3-х ліній від лічильника DD6) до 3 ліній шини адреси МСУ, тобто. A0, A1, A2;

ж) частина елемента DD13, який служить для відключення 3-х ліній шини адреси МП A0, A1, A2 від МП під час ПДП;

з) елемент DD4.2, який служить для блокування введення МСУ сигналів $INT_{\text{зовн}}$ і HOLD (запит на захоплення шин від DD3), тобто. якщо надходить сигнал $INT_{\text{зовнішній}}$, сигнал запиту HOLD не буде формуватися (у вихідному стані на верхній вхід DD4.2 надходить $U=1$, через роз'єм X1, тригер DD3 при запиті HOLD видає $U=1$, тобто в цьому випадку на виході DD4.2 з'являється $U=0$, який надходитиме далі на МП);

і) елемент DD5.1, здійснює аналогічне блокування між сигналами HOLD від DD3 та HOLD зовнішній. На вхід RES МП DD2 і вхід інвертора DD1.5 надходить сигнал напруги від кнопки RESET. У вихідному стані цей сигнал дорівнює 0, а при натисканні кнопки RESET він дорівнює 1. При $U=1$ відбувається скидання тригера на вході МП для запиту HOLD та INT. Цей сигнал скидання проходить елементи DD1.5, DD4.1, DD2.1 і надходить на вхід S нижнього тригера DD3. З інверсного виходу цього тригера сигнал надходить на вхід R верхнього тригера і скидає його [14].

Перед вибором даних або адреси або позначення регістрів на екран вони спочатку програмно заносяться в 8 перших осередків ОЗУ з адресою 000Н до 007Н. Ці 8 осередків ОЗП і 8 індикацій дисплея працюють попарно, з 1-ї осередки ОЗУ дані завжди виводяться на 1-й індикатор, а з 8-ї осередки ОЗУ на 8 індикатор. Виведення даних із 8 осередків ОЗП на дисплей відбувається в режимі ПДП. Виведення даних на дисплей у режимі ПДП здійснюється при мультиплексорній роботі індикаторів [16].

Клавіатура МСУ містить 25 клавіш та один тумблер. 24 кнопки утворюють матрицю 3x8. Сканування клавіатури – ідентифікація натиснутої кнопки здійснюється за способом сканування. Сутність цього методу полягає у наступному: клавіатура у вигляді матриці 3x8. Сканування може бути кодоване, коли використовують дешифратор адреси по одному розміру матриці, якщо її розмір дорівнює 8 або сканування. Програмним шляхом по черзі однією з ліній МСУ 13, 14 чи 15 виставляється сигнал $U=0$, але в інших лініях рівний 1. Сигнали йдуть починаючи з меншого номера розряду.

3.5 Розробка блоку виведення сигналів на виконавчий механізм

Блок виведення даних на виконавчі механізми (ІМ), друк та графобудівник містить три групи пристроїв: для виведення керуючих сигналів на ІМ, для виведення даних на друк і для виведення даних на графобудівник (або інший самописець).

Паралельний інтерфейс DD1 використовується для керування ІМ та видачі даних на друк, а саме: порт В (В0 – В7) – 8 виходів забезпечують виведення 8 керуючих сигналів на ІМ (для 8 неререверсивних ІМ), а порт А та порт С (А0 – А7 і С0, С1, С4 і С5) забезпечують обмін сигналами керування та виведення даних на цифродрук через елементи узгодження (по струму та напрузі) DD2, DD3.1, DD3.2, DD4, DD5 і через роз'єм Х5. Дані виводяться через порт А елемента DD1, а керування виведенням на друк здійснюється через порт З допомогою ГІ, СТО, ДП і ЗП.

Паралельний інтерфейс DD6 використовується для виведення даних на графобудівник та на ІМ, а саме: сім ліній виходу порту С (С0 – С6) забезпечують виведення сигналів на ІМ, через висновки порту А (А0 – А7) надходить 8 – розрядний цифровий код технологічного параметра на цифроаналоговий перетворювач (ЦАП) DD7 типу К572ПА1А, а через висновки порту В (В0 – В7) надходить 8-розрядний цифровий код іншого технологічного параметра або поточного часу на інший ЦАП DD9.

Цифроаналогові перетворювачі DD7 та DD9 мають такі висновки: D0 – D9 – входи для введення цифрового коду; вхід 15 – введення опорної напруги; вхід 16 – введення сигналу зворотного зв'язку; виходи О1–О2 – висновки прямого та інверсного вихідного аналогового сигналу. Для формування опорної напруги, що надходить на DD7 і DD9 лініями 19, використовується підсилювач DD11 типу К140УД7, резистори R1, R2, R3 і стабілітрон VD. Резистором R1 задається усунення на вході 2 DD11 по відношенню до потенціалу на вході 3 і величина опорної напруги. Постійність потенціалу на вході 3 DD11 забезпечує стабілітрон VD. Підсилювачі DD8 та DD10 перетворюють бінарні сигнали від ЦАП на унарні сигнали. Ці сигнали являють собою дві поточні координати, які по лініях 17 і 18, лінію групового зв'язку і через роз'єм Х4 подаються на два електроприводи двох координат графобудівника (або іншого самописця). Інвертор DD3.3, тріод VT1 та електромагніт YA1 призначені для підйому пера самописця при його неодруженому ході. Сигнал для керування підйомом пера надходить по лінії 20 паралельного інтерфейсу DD6 і виходу С7 [8].

Виведення керуючих сигналів на реверсивні ІМ може здійснюватися через інтерфейси DD1, DD6 та тригери DD12 та аналогічні їм. На реверсивні ІМ подаються з МСУ сигнали керування 0 або 1 по двох лініях, наприклад, лініями 1 і 2, 3 і 4 і т.д. Тригер DD12 служить для заціпки управляючих сигналів, що видаються з інтерфейсів, а також для виключення одночасної подачі сигналів, рівних 1, при включенні ІМ на відкриття та закриття. При надходженні, наприклад, лінії 1 сигналу керування $U=1$ від інтерфейсу DD1 і

по тактовому сигналу, що надходить на вхід, спрацьовує верхній D-тригер DD12 і на прямому виході 5 формується сигнал $U=1$. На інверсному виході сигнал 6 сигнал змінюється від 1 до 0, надходить на R – вхід нижнього тригера і скидає його в нульове положення (саме по зміні сигналу від 1 до 0 скидається тригер). І тут на виході 9 нижнього тригера встановлюється $U=0$, але в інверсному виході 8 напруга змінюється від 0 до 1 і надходить на R – вхід тригера DD12. Однак при такій зміні сигналу на R – вході тригер не скидається, а залишається в тому ж стані, що було раніше, тобто в одиничному стані. Якщо після цього інтерфейс DD1 на лінію 1 видає сигнал $U=0$, тоді на виході 5 $U=0$, а на вході сигнал 6 сигнал змінюється від 0 до 1, а тому перемикання нижнього і верхнього тригерів не відбувається. Якщо приходить сигнал $U=1$ по лінії 2 тоді процес спрацьовування нижнього тригера і блокування по верхньому тригеру аналогічні процесу при надходженні сигналу по лінії 1 [9].

Транзистори VT1, VT2 та інші призначені для посилення сигналів потужності, достатньої для спрацьовування слаботочних електричних реле KV1 або KV2. Діоди VD1 і VD2, підключені паралельно обмоткам реле, забезпечують більш точне повернення їх у вихідний стан при зніманні сигналів з баз транзисторів. Різниця потенціалів на обмотках реле у разі миттєво вирівнюється після закриття тріодів. Перемикачі SA1, SA2 та інші дозволяють переводити керування з автоматичного на дистанційне, KM1, KM2 та інші магнітні пускачі підводять три фази електроживлення на електродвигуни ІМ. Теплові реле КК1 та КК2 захищають електродвигун ІМ від навантаження або роботи на двох фазах. Запобіжники FU1 – FU3 захищають електричну мережу від коротких замикань у силовому ланцюзі ІМ. Таким чином, для керування реверсивним ІМ використовується два тригери, а для керування нереверсивним ІМ – один тригер.

ЦАП містить 10 електронних підсилювачів з входами 4, 5 – 13 та виходами на загальні лінії 1 та 2 та дільник напруги на резисторах R1 – R20. Дільник напруги формує 10 рівнів потенціалів та подає їх на підсилювачі.

Кожен підсилювач – це один черговий розряд 10 - розрядного коду числа, що подається на ЦАП, який виконує як би роль вмикача відповідного ступеня діляника напруги до вихідних ліній.

3.6 Розробка функціонування підсистем автоматизованої ділянки

У мікропроцесорній системі, що розробляється, є різні підсистеми контролю та керування, які в залежності від часу перехідного процесу при регулюванні параметра відносяться до різних груп (табл.3.7).

Таблиця 3.7 – Підсистеми контролю та керування та приналежність їх до груп

Перелік підсистем	Групи підсистем
– підсистеми контролю рівня рідини (датчики 6а, 11а, 16а, 21а)	4К
– підсистема регулювання рівня рідини (ІМ 6ж, 11ж, 16ж, 21ж)	4У
– підсистема контролю температури електроліту (датчики 5а, 10а, 15а, 20а)	5К
– підсистема контролю кислотності електроліту (датчики 4а, 9а, 14а, 19а)	
– підсистема регулювання температури електроліту (ІМ 5ж, 10ж, 15ж, 20ж)	5У

Залежно від належності датчика до тієї чи іншої групи організується послідовність опитування та збору інформації датчиків технологічних параметрів та виведення керуючих сигналів на ВМ МСУ.

Для обслуговування підсистем при безперервній роботі МСУ вводиться наступна підпрограма ініціалізації таймерів:

MVI A, 95H; – завантажити в акумулятор код УС для СТ2 DD17.

OUT D01BH; – вивести код УС для СТ2 DD17 у регістр УС DD17.

MVI A, 15H; – завантажити в акумулятор код УС для СТ0 DD17.

OUT D01BH; – вивести код УС для СТ0 DD17 у регістр УС DD17.

MVI A, 55H; – завантажити в акумулятор код УС для СТ1 DD17.

OUT D01BH; – вивести код УС для СТ1 DD17 у регістр УС DD17.

<аналогічно виведення всіх УС для лічильника DD18:>

MVI A, B5H;

OUT D017H;

MVI A, 15H;

OUT D017H;

MVI A, 55H;

OUT D017H;

<введення чисел у DD17:>

MVI A, 18H; – завантажити в акумулятор молодший байт числа для СТ1 DD17.

OUT D019H; – вивести число 18 у СТ1 DD17.

MVI A, 25H; – завантажити в акумулятор молодший байт числа для СТ2 DD17.

OUT D019H; – вивести число 25 у СТ2 DD17.

MVI A, 10H; – завантажити в акумулятор число для СТ0 DD17.

OUT D018H; – вивести число 10 у СТ0 DD17.

<аналогічно введення чисел у DD18:>

MVI A, 53H;

OUT D014H;

MVI A, 08H; – молодший байт числа

OUT D016H;

MVI A, 01H; – старший байт числа

OUT D016H;

MVI A, 48H;

OUT D014H;

RET – повернення до основної програми.

Керування ВМ здійснюється портом У паралельного інтерфейсу DD1 і портом З інтерфейсу DD6 (лист 5) та інтерфейсом DD4.

Алгоритм формування та видачі керуючих сигналів на виконавчий механізм (ВМ) представлений рисунку 3.1.

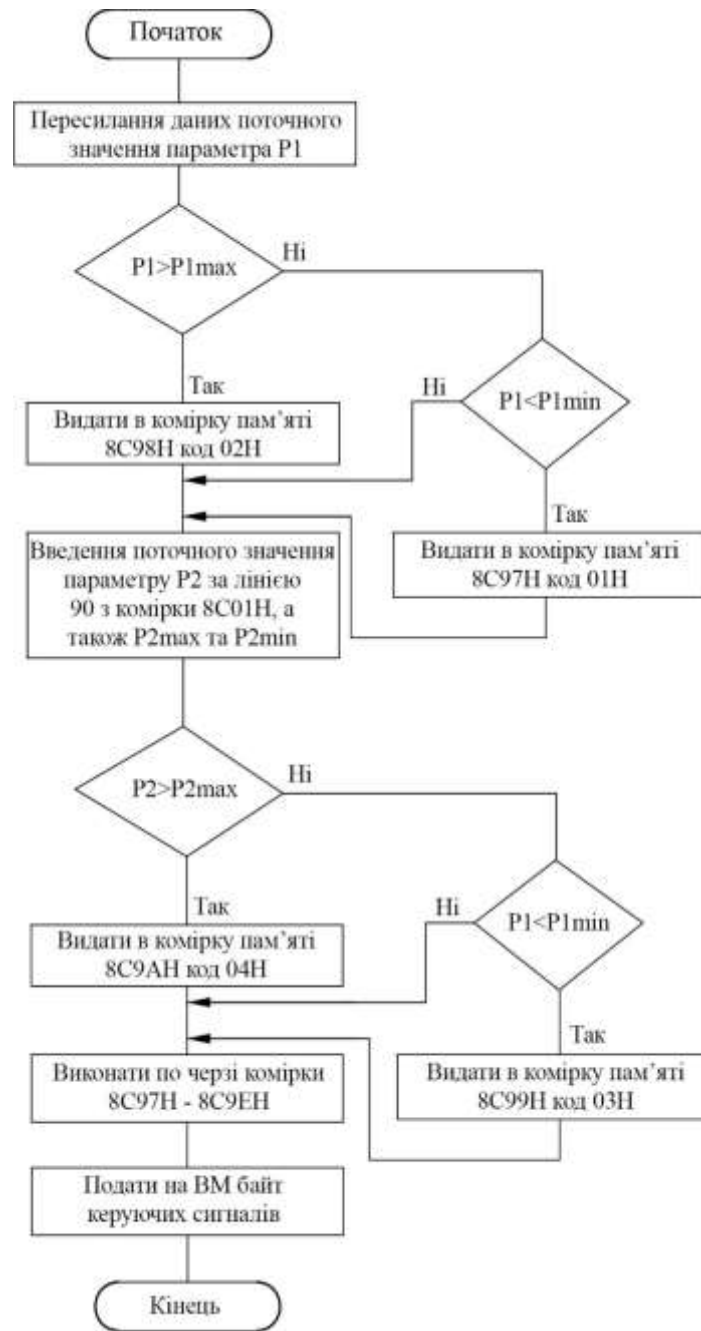


Рисунок 3.1 – Алгоритм формування та видачі керуючих сигналів на виконавчий механізм (ВМ)

Алгоритм введення даних від ІП представлений рисунку 3.2.

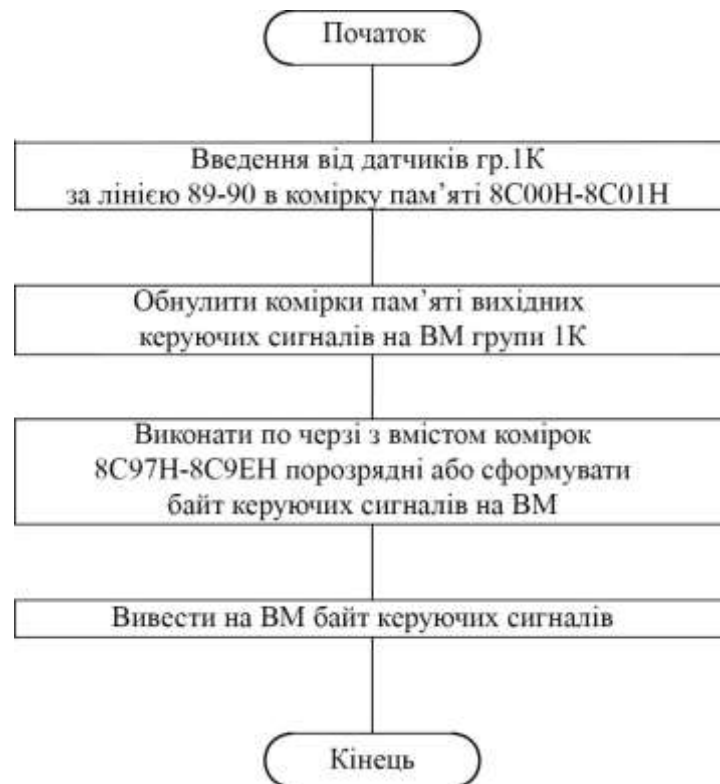


Рисунок 3.2 – Алгоритм введення даних від ІІІ

Висновок за розділом

Запроектовані модулі та блоки, розглянуті в магістерській роботі, узгоджені для роботи в комплекті з мікропроцесором КР580ІК80А. Ця система включає блок нормалізації сигналів від датчиків і введення їх в УВМ; блок мікропроцесора СУ; блок клавіатури, індикації та формування векторів переривання; пристрій виведення сигналів на виконавчі механізми, графобудівник та друк. У ході проектування була розроблена функціональна схема автоматизації, яка включає в себе підсистеми регулювання та контролю щільності струму, температури та рівня електроліту, написані підпрограми та алгоритми керування процесом складання.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розроблено мікропроцесорна система автоматичного керування процесом хромування виробів

У першому розділі було встановлено, що для ремонту зношених деталей машин та обладнання, зміцнення поверхні деталей зі спеціальними властивостями та нанесення шарів у промисловості застосовують різні методи. Хромування передбачає нанесення хрому або його сплавів на металеві вироби для надання поверхні ряду фізико-хімічних властивостей (корозійнастійкість, зносостійкість, жароміцність, високі механічні та електромагнітні властивості). Раціональний контроль і вдосконалення процесів та їх експлуатація в умовах, близьких до оптимальних, були б неможливими без автоматизації цих процесів.

У другому розділі було спроектовано та проаналізовано систему автоматичного регулювання рівня рідини в ванній. Було обрано необхідні елементи системи, пораховано їх передатні функції. Проводилася перевірка системи на стійкість та корекція системи послідовним коригуючим пристроєм для забезпечення кращих параметрів роботи та посилення потужності сигналу. Оцінка показників якості показала, що система не потребує подальшої корекції. Розраховані показники задовольняють необхідні умови.

У третьому розділі запроектовані модулі та блоки, розглянуті в магістерській роботі, узгоджені для роботи в комплекті з мікропроцесором KP580IK80A. Ця система включає блок нормалізації сигналів від датчиків і введення їх в УВМ; блок мікропроцесора СУ; блок клавіатури, індикації та формування векторів переривання; пристрій виведення сигналів на виконавчі механізми, графобудівник та друк. У ході проектування була розроблена функціональна схема автоматизації, яка включає в себе підсистеми регулювання та контролю щільності струму, температури та рівня електроліту, написані підпрограми та алгоритми керування процесом складання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В.І. Схемотехніка електронних систем: Підручник: В 3-х кн. Кн. 2: Цифрова схемотехніка / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, Ю.С. Петергерн, В.М. Співак, Т.О. Терещенко, Ю.І. Якименко./ – 2-ге вид., доп. і переробл. – К.: Вища школа, –2004. – 423 с.
2. Бутиріна Т. Є., Васильєва О. О., Проценко В. С. Електроосадження хрому з розчинів тривалентних сполук хрому з добавками водорозчинних синтетичних поліелектролітів / Т. Є. Бутиріна, О. О. Васильєва, В. С. Проценко // Фізико-хімічна механіка матеріалів, спец. випуск № 4. – Львів – 2004. – С. 675-678.
3. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи. Навч. пос-к. – Полтава: ПолтНТУ, –2005. – 454с.
4. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, –2009. –131 с.
5. Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв : [навч. посібник] / О. В. Лінючева, Л. А. Яцюк, Т. І. Мотронюк, О. І. Букет, С. В. Фроленкова. – К. : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 147 с.
6. Квітка С.О., Яковлев В.Ф., Нікітіна О.В. Електроніка та мікросхемотехніка: Підручник. – К.: за заг. ред. проф. Яковлева В.Ф.– Суми: – 2012. – 350 с.
7. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с.
8. Медяний Л.П. Аналогова схемотехніка: Підручник. – К.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, –2017. – 177 с.

9. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», – 2016. – 150 с.
10. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язев, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, –2019. – 492 с.
11. Основи проектування хімічних виробництв. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів: навч. посіб. / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильєв – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85с.
12. Радченко С. Г. Математичне моделювання та оптимізація технологічних систем. –К.: Політехніка, –2001. – 88 с.
13. Прищепа М.М. Мікроелектроніка: Навчальний посібник / М.М. Прищепа, В.П. Погребняк. – К.: Вища шк., –2004. – 431 с.
14. Подчашинський Ю.О., Тарарака В.Д., Чепюк Л.О. Електроніка та мікропроцесорна техніка. Цифрова електроніка: навч. посібник. – Житомир: Видавець О.О. Євенок. – 2020. – 236 с.
15. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К: Либідь, – 2007, – 656с.
16. Сенько В.І.,Панасенко М.В.,Сенько Є.В.,Юрченко М.М.,Сенько Л.І. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник. Т.3: Цифрові пристрої. – К.: Каравела, – 2018. – 400 с.
17. Таран Ю.М., Калінушкін Є.П., Куцова В.З. та ін. Металознавство і термічна обробка металів і шарів із застосуванням комп'ютерних технологій. –Дніпропетровськ: Дніпрокнига –2002– 360 с.
18. Ткаченко О. В. Ефективні основний та допоміжний електроліти в технології чорного хромування [Електронний ресурс] / О. В. Ткаченко, В. О. Дерлюк // Технології та дизайн. – 2019. – № 4 (33).
19. Чорний. О.П. Моделювання електромеханічних систем: підручник для ВНЗ/ О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовий. – Кременчуг, –2001. – 376 с.

20. Хижняк В.Г., Дегула А.І., Лоскутова Т.В., Курило Н.А. Комплексні зносостійкі шари на основі тугоплавких сполук титану та хрому. Проблеми тертя та зношування. – Київ. – 2008. №49, Том 2. – С. 519-522.

21. Якименко Ю.І. Мікропроцесорна техніка. /Ю.І. Якименко,Т.О. Терещенко, Є.І. Сокол,В.Я.Жуйков, Ю.С. Петергеря / -2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Політехніка НТУУ «КПІ», – 2004. – 440 с.

22. Сучасні технології виробництва [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://extxe.com/2771/harakteristika-sposobov-vosstanovlenija-i-uprochnenija-poverhnostej-detalej>.

23. Хромування деталей: види покриттів і технологій [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://budbud.in.ua/hromuvannyadetalej-vydy-pokryttiv-itehnologiyi.html>

24. Сапфір 22М [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pribortrade.com.ua/datchiki-davleniya-sapfir/sapfir-22-dd-2430/>

25. Пускач ПБР-2М [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ukrenergy.com.ua/pbr-2m.html>

26. Електропривод МЕОФ-40 [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://pribortrade.com.ua/elektroprivod-meof/meof-40/>

ДОДАТКИ

CHAPTER 1

ANALYTICAL PART

1.1 Analysis of methods of restoring and strengthening the surfaces of parts

It is known that the technological process that returns parts to working condition and restores resources after a part of the material that was lost or damaged as a result of wear and tear will be returned to the standard level of properties that have changed during long-term operation is the process of restoring parts.

Also, it makes sense to strengthen the parts, that is, make them more resistant to destruction, excessive deformation or premature wear.

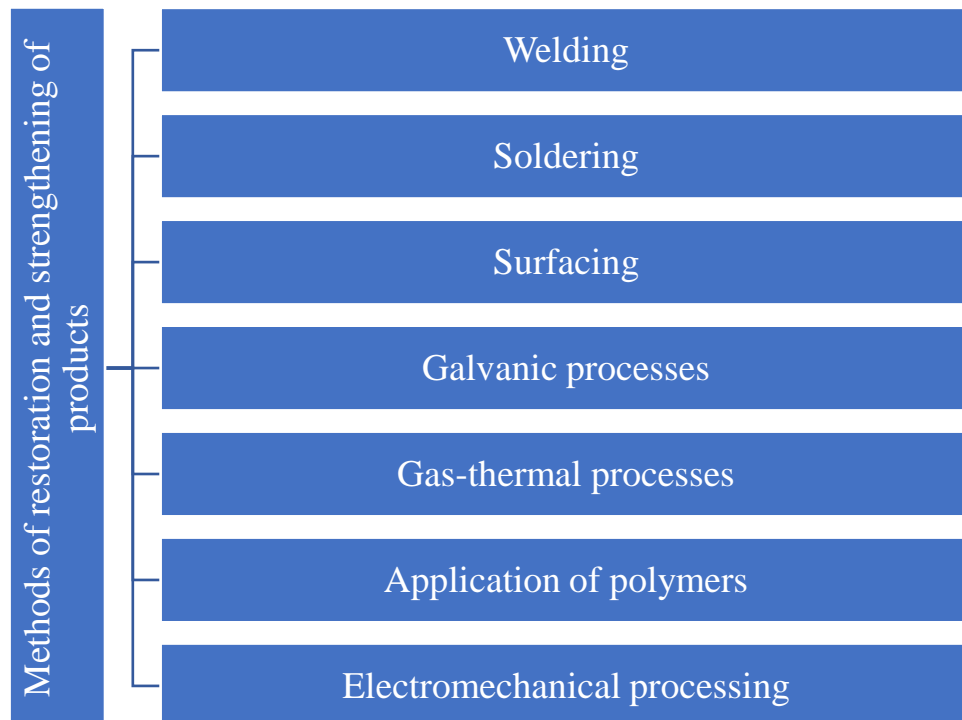


Figure 1.1 – Methods of restoring and strengthening the surfaces of parts

Various methods are used in industry to restore worn parts of machines and devices, as well as to strengthen and apply layers to the surface of parts with special properties [2] .

Electrolytic metal coating - deposition of metal with the formation of a coating on the surface of the product during the passage of current between the anode and cathode, for example: nickel plating, chrome plating.

Chrome plating is the application of chromium or its alloy to a metal product to give the surface a complex of physical and chemical properties: corrosion resistance, wear resistance, heat resistance, high mechanical and electromagnetic properties. Depending on the nature of the interaction of the surface of the product with chromium, the chrome plating process is carried out in various ways, among which the most common are electrolytic and diffusion [7].

Electrolytic chromium plating is the most common galvanic process, which entered industrial practice in the 20s. 20th century Products made of steel and cast iron, as well as alloys based on copper, zinc, nickel, and aluminum, are subjected to chrome plating. Chrome coating is characterized by high chemical resistance, which is due to the ability of chromium to passivate. Due to the difficulty of obtaining a thin, non-porous coating, reliable protection against corrosion can be achieved by applying a more economical three-layer protective and decorative copper-nickel-chrome coating (chromium layer thickness 1 μm). The coated, pre-polished surface of chrome has a mirror shine and a silver color with a bluish tint. To prevent corrosion and give a decorative appearance, many parts of cars, bicycles, tram and railway cars, measuring devices, calculating and typewriters, clocks, pairs of water fittings, medical instruments, etc. are chromed. Another valuable property of chrome coating is high resistance to mechanical wear. To increase surface hardness and wear resistance, parts that rub, for example, cylinders of internal combustion engines, piston rings, calipers, are chromed. In these cases, the coating is applied with a thickness of more than 1 mm. A method of "porous chrome-plating" has been developed, which consists in anodic treatment of chrome-plated parts, in which pores are formed in the coating that hold lubricant. Sometimes steel products are subjected to combined chrome plating, which provides protection of the metal from corrosion and high wear resistance. The main component of the electrolyte during electrolytic chromium plating is chromic acid.

Nickel plating - applying a nickel coating to the surface of products (thickness, as a rule, from 1...2 to 40...50 microns). Products made of steel and alloys based on Cu, Zn and Al are subjected to nickel plating; less often - products made of Mg, Ti, W, Mo and alloys based on them; developed methods of applying nickel on non-metallic surfaces - ceramics, plastics, bakelite, porcelain, glass, etc. protective and decorative purposes [5].

Therefore, electrolytic and chemical nickel plating are the two most common and effective methods. Usually, matte nickel plating is done electrolytically. In practice, the most researched and stable sulfuric acid electrolytes are used. Brilliant nickel plating can be achieved by adding special gloss formers to the electrolyte. Equally important is the porosity of the electrolyte coating, which depends on the thoroughness of the preparation of the original base and the thickness of the coating. To prevent the corrosion process, it is necessary to get rid of surface porosity, for this the surface is treated with copper or a multi-layer coating is applied, which, of course, is more reliable than a single-layer one. Along with that, one of the disadvantages of electrolytic nickel plating is the uneven deposition of nickel on the relief surface and the impossibility of covering holes or cavities.

Let's consider several examples of nickel plating under dry rubbing. Parts of chemical equipment, medical and special instruments, cars, bicycles, measuring instruments, etc., are usually nickel-plated. It is known that nickel coatings lose their luster somewhat over time. That is why it is an established practice to cover nickel-plated surfaces with more stable chromium .

Therefore, chemical metal coating of surfaces is created by precipitation of metal ions from an aqueous solution without the use of electric current.

Chemical coatings are characterized by high uniform deposition over the entire surface. Such coatings are characterized by high protective capacity due to low porosity, which is important during the operation of devices. Nickel coating is actively used to protect power equipment that operates even at a temperature of 600–650 °C in a gas environment. Also, magnesium and titanium parts of helicopter

rotors, aluminum mirrors used on satellites in space, surgical instruments, some watch parts from damage, etc. are coated with nickel .

Recently, the metallization of dielectrics has become a modern chemical coating method that gives the surface conductive properties. The use of metallized plastics, which have high wear resistance, heat resistance, chemical and mechanical strength, is popular. Also, the use of such coatings is gaining momentum due to aesthetic considerations, because they have an attractive appearance and are resistant to light. The automotive industry widely uses metallized plastic in the manufacture of some devices for cars . The above-mentioned coating technology is also used in light industry, because decorative metallized plastics are used for the manufacture of toys, jewelry, furniture decoration and many other household products [17].

There are several methods of chemical deposition of metal coatings from aqueous solutions:

- 1) contact;
- 2) contact-chemical;
- 3) method of chemical recovery.

Hot metal coating by immersion - the formation of a coating by immersing the product in a bath of molten metal.

Zinc plating. Among the numerous processes of applying protective coatings on steel and cast iron products, galvanizing occupies one of the leading places. In terms of volume and nomenclature of products that protect against corrosion, zinc coating has no equal among other metal coatings. This is due to the variety of galvanizing technological processes, their relative simplicity, the possibility of extensive mechanization and automation, and high technical and economic indicators. Practical experience shows that particularly harsh operating conditions are characterized by the oil production industry, shipbuilding and the navy, oil refining and the automotive industry. In this regard, it is of great practical interest to use zinc protective coatings of a new generation under these operating conditions. An analysis of the properties of zinc coatings and the operating conditions of various metal structures and pipelines in the above-mentioned industries shows that the

coating for use in these conditions should not only have increased corrosion resistance, but also be resistant to abrasive wear and have a high degree of adhesion to the surface of the product, which defends. For example, for oil pipelines with threaded ends, the coating should not only protect against corrosion, but also provide the threaded pipe connection with high wear resistance and tightness. A comparison of the main properties and results of corrosion tests of various zinc coatings shows that for harsh operating conditions, diffusion zinc coatings are most suitable, which are applied to products by chemical and thermal treatment with zinc-based powder mixtures or in molten zinc by the hot-dip galvanizing method [18].

Aluminization. According to various studies, aluminum coating is approximately 6 times more stable than zinc for the same weight and 2.5 times for the same coating thickness.

Of all the methods of immersion in molten metal, aluminum was industrially used in the USA in the thirties of the last century. Currently, this process is widely used in many countries that produce sheet metal and pipes. This method is used to cover sheets of sufficient width, as well as to cover products of various shapes. The main difficulties in the development of hot aluminum are the oxidation of steel and molten aluminum, as well as the formation of a brittle FeAl_3 compound at elevated temperatures. Both prevent adhesion of the coating to the base metal.

Aluminized steel is distinguished by a number of valuable properties, including good adhesion of paint coatings (after chromating). In some cases, aluminum steel can replace more expensive heat-resistant alloys. The mechanical properties of aluminized steel at elevated temperatures are significantly higher than those of aluminum. At a temperature above 470°C , aluminum diffuses the intermediate alloy and steel, forming a solid solution. As a result, the heat resistance of the coating increases.

Diffusion saturation of a metal layer at high temperature in a special environment [20].

Chemical-thermal treatment (CHT). In order to increase the wear resistance of the surfaces of machine parts, various types of chemical and thermal treatment

are used. Chemical-thermal treatment is a treatment consisting of a combination of thermal and chemical effects with the aim of changing the composition, structure and properties of the surface layer of steel. One of the types of HTO is diffusion saturation. In CHT, the surface of the steel is saturated with the corresponding element (C, N, Al, Cr, Si, etc.) by its diffusion in the atomic state from the external medium (solid, gas, vapor, liquid) at high temperature.

It is known that chemical and thermal treatment takes place in three stages. At the first stage, active atoms are formed near or directly on the metal surface. At the second stage, active atoms are adsorbed by the saturation surface. At the last third stage, the diffusion-movement of adsorbed atoms in the lattice of the treated metal takes place.

Recently, processes of nitriding, nitrocementation and cementation or carburizing are widely used to increase the durability of the most important parts of machines and plants. At the same time, surface saturation with silicon and boron is rarely used. Such an example is automobile, tractor, machine components, etc. [11].

Vacuum deposition of ions.

It is known that vacuum ion-plasma methods are one of the modern methods of applying protection to the coating. This method is based on the action of high-energy particle streams on the surface of the part. A feature of vacuum ion-plasma methods is the direct conversion of eclectic energy into the energy of technological influence by means of structural-phase transformations in the deposited or surface layer of the part placed in a vacuum chamber.

Let's consider in detail the main advantages of the above methods. One of the advantages will be the creation of a high level of physical and mechanical properties of materials on thin surface layers and the creation of dense coatings from refractory chemical compounds. In addition, these methods can ensure high adhesion of the coating to the substrate, uniformity of the coating thickness, diversity of the composition of the coating within one technological cycle, and high purity of the coating .

Note that the process of applying enamel to a metal surface for further protection against high temperatures, abrasion, and corrosion, as well as for decorative purposes, is an enameling process. The next stage will be enamel firing for its remelting and fixing.

Let's study the properties of enamel in detail. A vitreous substance consisting of oxides that is melted and applied in one or more layers to a metal product is enamel. In the technological process of manufacturing enamel, the physico-mechanical characteristics of the metal and the oxide system are coordinated to ensure strong adhesion and an acceptable level of tension in both components. In this case, the problem of metal-glass joints may arise. So, we came to the conclusion that different metals can be enameled with different enamels [2].

Evaluating the realities of today, we have an increasing tendency to use more easily melting enamels. This technology of enameling light alloys is becoming quite popular. We have several examples. The eutectic melting point in aluminum casting alloys is around 450 °C, while 99.5% pure aluminum has a melting point of 658 °C. To avoid deformation of the products, the temperature of forming the enamel coating of the alloys must differ significantly. When it is necessary to provide electrical insulation or anti-corrosion protection of semiconducting metals, such as silicon or germanium, we will have problems, because their heating temperature usually exceeds 300–350 °C.

Note that the process of metal melting on a surface that has already been melted with the help of gas heat, an electric or plasma arc is called surfacing .

Manual arc welding with covered electrodes (RCD). A universal method, suitable for welding parts of different shapes and purposes in all spatial positions. Alloying of the deposited metal is carried out through the rod of the electrode and (or) through the coating. The current density during surfacing should be no more than 10...12 A/mm² to avoid intensive mixing of the base and surfacing metals [5] .

The advantages of RDN are simplicity, availability and mobility of equipment and technology, the possibility of obtaining deposited metal of almost any alloying system.

Disadvantages - low productivity; difficult working conditions; variability of the quality of the deposited layer; high penetration of the base metal.

Sputtering is the formation of a coating on the surface of the product from particles of the sprayed material heated to melting or close to it, using the heat of the burned gas or electric discharge in gaseous media.

Plasma powder spraying (PPN) is the application of a coating of individual particles of powder material, heated and accelerated using a high-temperature plasma jet.

The method is used in the production of parts with special and decorative surface properties: wear resistance (with the exception of parts subject to shock-abrasive wear), anti-friction, corrosion resistance, heat resistance, cavitation resistance, erosion resistance, electrical insulation, resistance to fretting.

The heating temperature of parts during PPN is absorbed in 100...150 °C. The plasma-forming gas is, as a rule, argon or air. Various materials and alloys, refractory compounds, oxides, polymers and their compositions with particle size up to 100 µm are used as powder material forming the coating.

Compared with gas flame, electric arc and detonation spraying, with deposition and deposition processes, this coating method has the following advantages [7]:

- high coefficient of use of powder (up to 85%);
- adhesion strength of the coating to the base (up to 60 MPa);
- low porosity of the coating;
- high productivity of the process;
- versatility due to obtaining coatings from most materials without limiting their melting points ;
- coating products made of almost any material;
- no restrictions on the size of sprayed products;
- low thermal impact on the sprayed base, which allows you to avoid deformations, changes in the size of products, as well as to exclude unwanted structural transformations of the base metal;

- coating on local surfaces;
- coating with minimal allowances for further mechanical processing;
- low consumption of argon;
- the possibility of automating the process.

Plasma powder spraying is used in mechanical engineering to restore and strengthen sliding bearings, thrust bearings, hydraulic cylinders, plungers, guides of lathes, spindles and shafts, screws of extrusion machines, drawing and bending dies, dies for pressing.

In the automotive industry, PPN is used for the repair of crankshafts, pivot pins, gearbox parts, camshaft cams, engine flywheel hubs, water pump and fan shafts, cylinder block heads, piston rings, internal combustion engine valves, brake drums, steering knuckles [11].

In the electrical and chemical industry, PPN is used for coating capacitors, antenna surfaces, ventilation blades of turbo-generators, end seals of electric machines, belt stretching mechanisms, magnetic heads, wire feed rollers and nozzles of welding machines, impellers and acid shafts.

PPN is also used for the manufacture of household appliances: the bottoms of pots, pans, electric heating devices, etc. are sprayed.

1.2 Technological process of chrome plating of products as an object of automation

The creation of the first chrome-plating production facilities dates back to the end of the 20s of the current century. Over the past period, chrome coatings, compared to other galvanic coatings, have become the most widely used. This position is explained by the valuable properties of chromium, which allow combining good appearance and corrosion resistance with high hardness and wear resistance in the coating [17].

An important area of chrome plating is protective and decorative coatings. Along with this, chrome coatings have become widely used in mechanical

engineering to increase the wear resistance of new parts of machines and tools, as well as to restore worn parts. The latter became especially important in the repair of internal combustion engines in connection with the creation of porous chrome plating technology.

Hexavalent chromium compounds are strong oxidizers. All chromic acids are strong; as their composition becomes more complicated, the degree of their dissociation in dilute solutions increases. Cr_2O_3 oxide has amphoteric properties. Cr^{2+} compounds having basic properties are unstable.

Electroplated chrome has a number of valuable properties: high hardness, wear resistance, heat resistance and chemical resistance.

A well-polished surface of chrome has high decorative qualities, distinguished by stability over time: chrome does not tarnish even after heating to 670-720 K. Sulfuric compounds do not affect chrome [18].

Table 1.1 - Purposes of chrome plating of products

Objectives	Explanation
For protective and decorative purposes	Chrome coating with an underlayer of copper and nickel protects steel well from corrosion, giving products a beautiful appearance. Parts of cars, bicycles, appliances, etc. are subjected to protective and decorative chrome plating
To increase the reflective capacity	The reflectivity of the chromium coating is inferior only to the reflectivity of silver and aluminum, but due to higher resistance to oxidation, the reflectivity of chromium is more stable. Therefore, chrome coating is widely used in the production of mirrors, reflectors, and spotlights
To increase wear resistance	Chromium plating for this purpose is used in tool production in the processing of measuring instruments, dies for drawing metals, etc. Chromium plating of stamps and matrices gives a great effect in the manufacture of various products from rubber, plastics, leather, and glass. In this case, the chrome coating not only provides wear resistance, but also prevents sticking of pressed materials to the surface of the matrices. The chrome coating significantly reduces the wetting of the mold walls by molten glass or metal. A significant increase in wear resistance of rubbing surfaces, cylinder walls and piston rings of internal combustion engines is achieved when using porous chrome plating processes

To restore worn dimensions	Building a layer of chrome on the worn surfaces of heat-treated shafts, bushings allows you to restore the dimensions of the parts and increase the service life of the products
----------------------------	--

Chromium is highly resistant to the effects of many acids and alkalis: it is insoluble in solutions of nitric and sulfuric acids, it dissolves easily in hydrochloric and hot sulfuric acids, it is passivated in air and under the action of oxidizing agents - a thin oxide film forms on its surface.

Chrome coatings are used in the following cases:

3. The nomenclature of parts subjected to chrome plating to increase wear resistance reaches large sizes: parts of measuring instruments, limit gauges, cutting tools - taps, drills, reamers, cutters, broaches, gouges, etc. , tools for cold processing of metals by pressure - drawing eyes dies for sheet stamping, dies for cold stamping, etc.

4. The chrome plating process strongly depends on the temperature of the electrolyte and the current density. Both factors affect the appearance and properties of the coating, as well as the yield of chromium in the current. It must be remembered that with increasing temperature, the current output decreases; with increasing current density, the current output increases; at lower temperatures and constant current density, gray coatings are obtained, and at elevated temperatures, milky coatings [20].

Under certain conditions of electrolysis, four main types of chromium precipitates can be obtained, which are presented in Table 1.2.

Table 1.2 – Types of chromium precipitates

Precipitation type	Explanation
Dairy	at a temperature of 65–70 °C and a current density of 15–25 a/dm ² and are characterized by a microhardness of 250–275 kg/mm ²
Brilliant	at a temperature of 48–60 °C and a current density of 30–100 a/dm ² ; are characterized by a microhardness of 900–1242 kg/mm ² and a widely branched network of cracks
Matte	at a temperature of 40–45 °C and a current density of 45–50 a /dm ² ; are characterized by high microhardness of 1100–1300 kg/mm ² , fragility and the presence of a network of cracks

Porous	at a temperature of 50–60 °C and a current density of 300–100 a/dm ² with subsequent anodic treatment; are characterized by a microhardness of 950–1030 kg/mm ² and a widely developed network of channels or connecting points
--------	---

Types of electrolytes.

Most of the electrolytes proposed for chromium plating have chromic anhydride as the main component and differ in concentration in different electrolytes.

The concentration of chromic anhydride in electrolytes with the addition of sulfuric acid can vary widely (from 100 to 500 g/l). To obtain a coating of good quality, it is necessary that the ratio of the concentrations of $\text{CrO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$ in the electrolyte is kept constant at the level of about 100. A significant decrease in the concentration of sulfuric acid in the electrolyte causes the deposition of gray, low-quality chromium precipitates, and an increase in its concentration causes the deposition of fine-grained shiny precipitates [2].

An increase in the concentration of chromic anhydride increases the electrical conductivity of the solution. A change in the concentration of sulfuric acid within the specified limits practically does not affect the electrical conductivity of the solution.

Dissipative capacity increases noticeably in electrolytes with a reduced concentration of chromic anhydride, and this is especially evident when parts with a developed relief are chrome plated in electrolytes.

Deposition of gray chrome matte coatings on the cathode occurs at low electrolysis temperatures (35°C and below) and any current density. The coatings obtained under these modes of electrolysis in sulfate baths are characterized by high brittleness and weak adhesion.

Shiny chrome coatings are obtained at average electrolyte temperatures of 45–65 °C and a wide range of current densities. Deposition of shiny chromium is also possible at higher electrolyte temperatures from low-concentration solutions at high current densities. Shiny chrome has the highest hardness, good adhesion to the base metal and relatively low brittleness [5].

Lactic chromium deposits are obtained at high electrolyte temperatures (above 65 °C) and current densities of 25–30 A/dm². Milk chrome coatings, compared to others, have low hardness, significant plasticity, lower porosity and, due to this, higher protective capacity.

The electrolyte concentration is selected according to the nature of the coating and the configuration of the parts.

Concentrated electrolytes contain 350–450 g/l of chromic anhydride. They have a relatively low current output and poor dissipation capacity. At the same time, concentrated electrolytes are characterized by a relatively good covering ability, which allows them to be used for decorative chrome plating of complex-shaped parts. Due to the low ohmic resistance, it is possible to establish significant distances (180–200 mm) between the electrodes with a limited current source voltage, and reduced current densities make it possible to simultaneously cover large cathode areas [7].

Electrolytes with a low concentration of chromic acid (low concentration) contain 100–150 g/l of chromic anhydride. Chrome plating mode: 50–120 A/dm² and 55–60°C. A dense anti-corrosion coating is obtained at an electrolyte temperature of 65–70 °C and a current density of 25–30 A/dm²; the rate of chrome build-up is 13–15 μm/h. Chromium coatings obtained from low-concentration electrolytes have high hardness and wear resistance. In low-concentrated electrolytes, the insulation on parts and suspension devices is less destroyed. These electrolytes are used to increase the wear resistance of parts and tools that rub, to restore worn or defective parts, as well as for protective and protective-decorative chrome plating. The disadvantage of low-concentration electrolytes is the need for more frequent adjustment of the electrolyte by adding chromic anhydride.

The main defects of chrome products.

Adherence to the electrolysis regime and timely adjustment of the electrolyte are the key to obtaining a good-quality chrome coating. Low-quality surface preparation before coating and deviation from the established technology are the

main causes of defects. The main defects of chrome coatings are presented in Table 1.3.

Table 1.3 – Main defects of chrome coatings [11]

Type of defect	Cause of occurrence
Peeling off the coating	a) Poor mechanical or chemical preparation of the product surface before coating. b) The part was not heated enough in the electrolyte before chrome plating. The temperature of the electrolyte dropped sharply, for example, due to the addition of cold water during electrolysis. The current density increased sharply. c) Current interruption during the chrome plating process
Exfoliation of chromium together with the nickel sublayer	Insufficient adhesion of nickel with the base metal of the part; incorrect pH of the nickel electrolyte
Cutting ability electrolyte decreased	Strong contamination of the electrolyte with iron or copper
Absence of chrome on the recessed areas of the surface of the product	Poor ability of the covering electrolyte. It is necessary to make a " current surge " before coating
Lack of coating on some parts of the product surface	Shielding of the surface area of the product with another product on the same suspension or an adjacent suspension
No chrome coating around the holes	The holes have not been lined with lead
Gray coating on the lower part of the part	The minimum distance between the lower part of the part and the bottom of the bath. The normal distance between the part and the bottom of the bath should be at least 70–100 mm

Thus, from the analysis of the types of chrome plating and the need for chrome plating of parts, we make the following technological line of bathtubs:

- 1 – bath with water to determine the surface of the part;
- 2 – bath for degreasing parts;
- 3 – bath for washing after degreasing;
- 4 – a bath with a standard electrolyte to obtain shiny and milky chrome;
- 5 – bath for washing products after bath No. 4;

6 – a bath with metachrome electrolyte for black chrome plating of engineering parts;

7 – bath for washing products after bath No. 6;

8 – bath for decorative chrome plating;

9 – bath for washing products after bath No. 8.

Sometimes two washing baths are installed after each bath with electrolyte.

Chrome plating conditions.

Most often, steel and cast iron machine parts are subjected to wear-resistant chrome plating. The chemical composition of the metal of the part to be covered is rarely an obstacle to good adhesion. However, it should be borne in mind that steels with a high content of tungsten and cobalt, as well as high carbon and high silicon cast irons, cannot be coated with chromium. It is also difficult to obtain good adhesion when chrome-plating parts, the surface layer of which is subjected to significant internal stress, for example, as a result of improper hardening [17].

Degreasing

Degreasing with organic solvents. To remove the preservative layer of thick grease, for example, gun fat, technical petroleum jelly or solidol, the parts are placed in a wire basket or hung on hooks and immersed for 10-15 minutes. in a tank with spindle oil heated to 80-90, a thin layer of spindle oil remaining on the parts is removed with gasoline or other solvents.

Chemical degreasing in alkaline solutions is used mainly when processing large batches of small parts. The composition and mode of degreasing depends on the nature of the metal, the nature of the impurities and the method of cleaning. the parts are placed in iron mesh baskets and immersed in a hot alkaline solution. any kind of movement of the washing solution relative to the surface of the parts accelerates the washing effect many times.

Electrodegreasing is the most appropriate due to the speed of the process and high quality of cleaning. Electrochemical degreasing can be carried out on the cathode and anode. Sheets of nickel-plated iron are hung as permanent electrodes.

The role of the alkaline solution is auxiliary and consists in the formation of an emulsion with oil particles [18].

When removing fat contamination from the surface of a part, it should be borne in mind that hardened steel thin-walled parts operating under significant specific loads are not allowed to be degreased on the cathode; in this case, anodic degreasing or chemical degreasing is used.

Chromium plating regimes that provide shiny (harder) and milky (relatively soft and elastic) deposits are chosen depending on the purpose of the parts, their service conditions and the requirements for the coating.

Main characteristics of the process.

The technological process of electrochemical deposition of metal is characterized by a significant number of parameters, the quality and thickness of the galvanic coating depends on the accuracy of their support. The most important of them are current density, current output, duration of the technological process, temperature, chemical composition of the electrolyte, pH-electrolyte, electrolyte level.

The need for automatic control and automatic maintenance of a number of basic parameters arose especially sharply at the stage of creation of galvanic line control systems, in which, based on the personal experience of the operator, as it was before, it is practically impossible to adjust the operating mode of each bath.

Baths should be universal and suitable for processing an arbitrary number of parts of different shapes, the system that provides electrical parameters of the technological process should allow to flexibly change the pattern of electric current distribution in the electrolyte and carry out adjustments based on the values of the average local current densities in the most characteristic areas of the parts. The latter is due to the large difference between the average current density and the average local current densities. The task of obtaining the optimal electric field is particularly difficult, as it depends on a number of factors: the configuration and geometric dimensions of the parts; their location in the bath; from mutual location; the specific electrical conductivity of the electrolyte and the homogeneity of its properties in the

volume of the bath; geometric dimensions of the anodes and their location in the bath; state of the surface of anodes and parts. Therefore, in real systems, it is only possible to obtain local current densities that do not go beyond the given technological tolerances. The absolute value of the average current density depends on the type of coating and the features of the corresponding technological regime.

1.3 Justification of the necessary automation structure

Rational management and improvement of processes and conducting them in modes close to optimal cannot be carried out without automation of these processes.

However, determining the economic optimum in the presence of a number of technological limitations and variable production conditions (method and type of assembly) is an extremely difficult task. Variants of automation schemes must be chosen depending on the type of production, configuration and dimensions of the assembled products, etc.

Using automation tools widely used in the domestic industry, it is possible to fully automate the entire chrome plating process. This task is achieved by the use of microprocessor computing equipment in the automation of the chrome plating process. A wide range of hardware and rich experience in creating microprocessor automatic control systems allow full automation of chrome plating of products.

Advantages of microprocessor control systems:

- 6) the amount of information about the control object increases many times;
- 7) control from the microprocessor control system is carried out according to calculated parameters, and not according to individual parameters, according to complex control algorithms;
- 8) the quality of control improves in terms of accuracy and speed, the stability of the system increases;
- 9) the functional scheme of automation using the MSU is actually one control system containing a large number of subsystems;

10) there is a possibility of connecting the MSU to the computer of the highest rank.

When developing a functional automation scheme, the entire system is divided into a number of subsystems depending on the function performed. Subsystems of local, remote control, signaling and control are distinguished.

In the master's thesis, it is necessary to develop the process of automatic chrome plating of products.

It is necessary to provide in the project:

- current density control and regulation system;
- electrolyte level measurement and regulation system;
- electrolyte temperature control and regulation system;
- electrolyte acidity control and regulation system.

Conclusions by section

Different methods are used in industry to repair worn parts of machines and equipment, strengthen the surface of parts with special properties, and apply layers. Chrome plating involves applying chromium or its alloys to metal products to give the surface a number of physical and chemical properties (corrosion resistance, wear resistance, heat resistance, high mechanical and electromagnetic properties). Rational control and improvement of processes and their operation in conditions close to optimal would be impossible without automation of these processes.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ВИРОБІВ

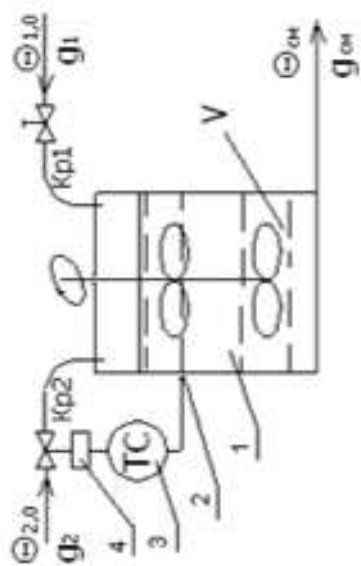


Електролітичне металопокриття – осадження металу з утворенням покриття на поверхні виробу під час пропускання струму між анодом та катодом, наприклад: нікелювання, хромування.

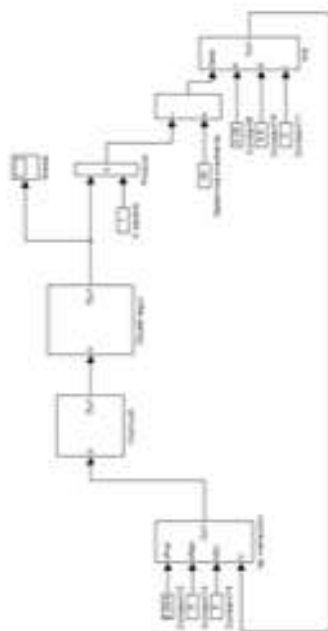
Хромування – нанесення хрому або його сплаву на металевий виріб для надання поверхні комплексу фізико-хімічних властивостей: корозійної стійкості, зносостійкості, жаростійкості, високих механічних та електромагнітних властивостей. Залежно від характеру властивостей поверхні виробу з хромом, процес хромування здійснюється різними способами, серед яких найбільш поширені електролітичний і дифузійний.

Нікелювання – нанесення на поверхню виробів нікелевого покриття (тонциною, як правило, від 1...2 до 40...50 мкм). Нікелюванню піддаються переважно вироби зі сталі та сплавів на основі Cu, Zn та Al; рідше – вироби з Mg, Ti, W, Mo та сплавів на їх основі; розроблені способи нанесення нікелю на неметалічні поверхні – кераміку, пластмаси, бакеліт, порцеляну, скло та ін. захисно-декоративні ціні.

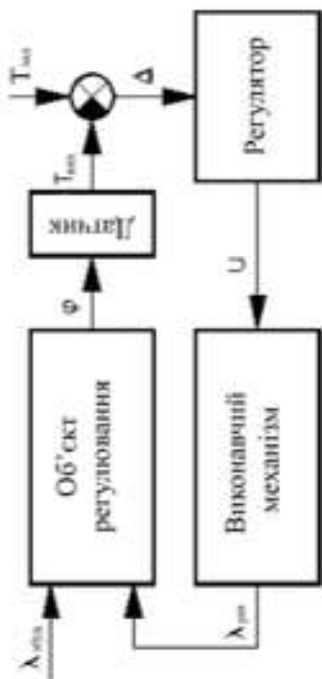
РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОЛІТУ



Принципова схема регулювання температури
 1 – резервуар; 2 – датчик температури; 3 – регулятор;
 4 – виконавчий пристрій

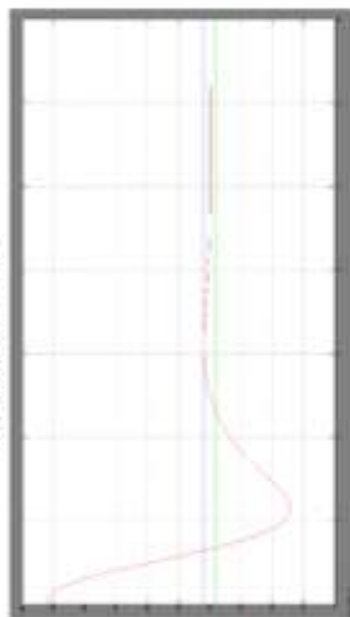


Інструментальна модель об'єкта регулювання



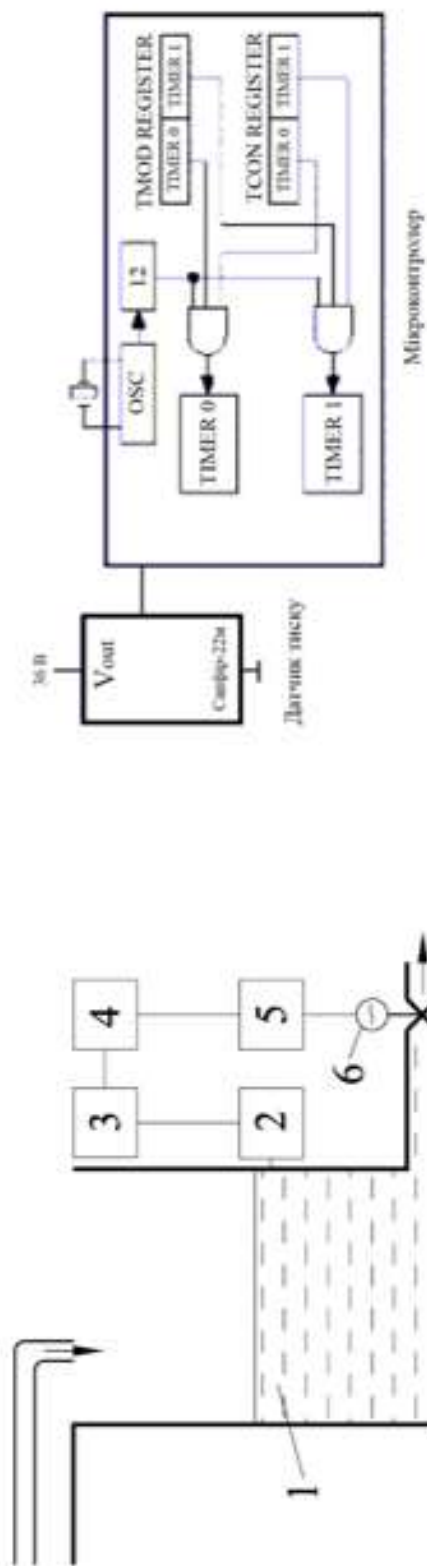
Функціональна схема системи автоматичного управління температурою рідини на виході з теплообмінника

$\lambda_{зад}$ – збурюючий вплив; $\lambda_{ср}$ – регулююча дія; $T_{сн}$ – сигнал температури рідини на виході апарату; $T_{зад}$ – сигнал заданої температури суміші; Δ – неузгодженість;



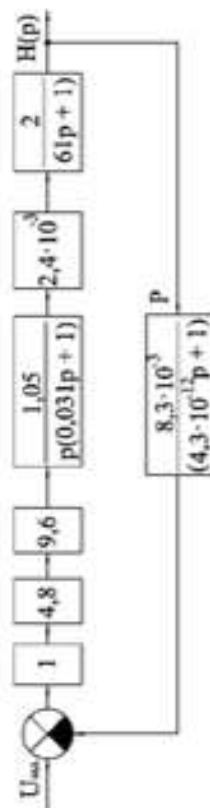
Графік перерегулювання при $P = 0,4; I = 0,1; D = 1$

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ЕЛЕКТРОЛІТУ



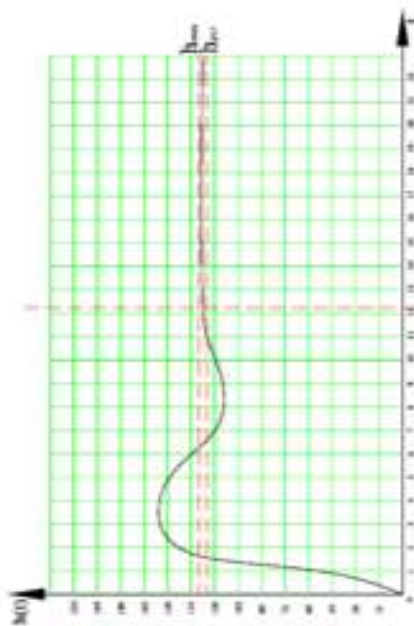
Технологічна схема об'єкта регулювання

- 1 – об'єкт регулювання; 2 – датчик рівня;
- 3 – мікроконтролер; 4 – попередній підсилювач;
- 5 – підсилювач; 6 – виконавчий механізм



Структурна схема системи

Схема сполучення датчика тиску з мікроконтролером



Перехідний процес скоригованої системи

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ХРОМУВАННЯ ВИРОБІВ

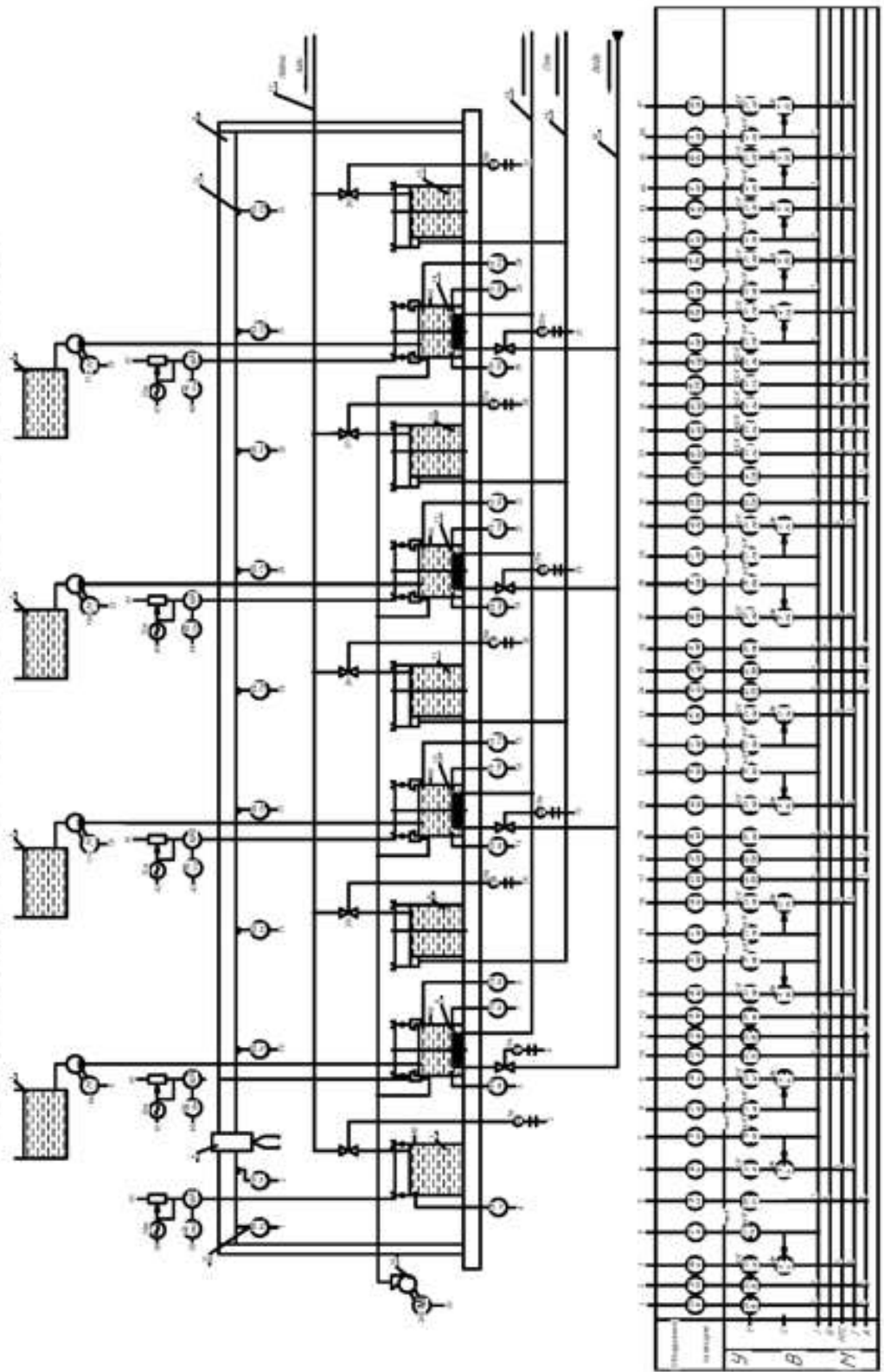


СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА БЛОКУ НОРМАЛІЗАЦІЇ СИГНАЛІВ ВІД ДАТЧИКІВ

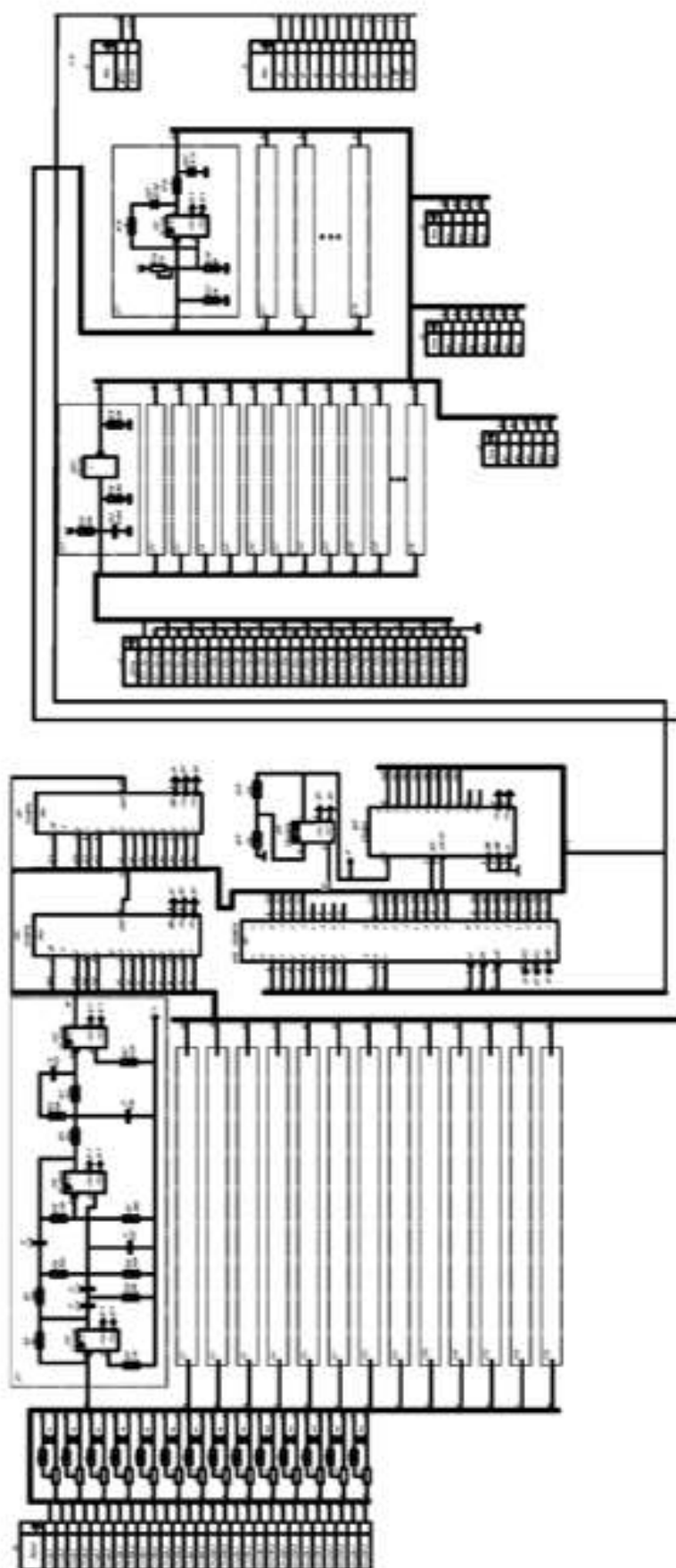


СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА ПРИБОРУ ВИВЕДЕННЯ СИГНАЛУ НА ВИКОНАВЧІЙ МЕХАНІЗМ

