

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “**Автоматизація процесу виробництва суперфосфату із
застосуванням контролерів UnitronicsVision V570 для ПРАТ
"Рівнеазот" ”**

Виконав: студент гр. Акт-42Сп

Спеціальності 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-
інтегровані технології та робототехніка”

(шифр і назва)

Качанович Святослав Мар’янович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Лиса О.В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.

(Прізвище та ініціали)

ЛЬВІВ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Спеціальність 174 – „Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ ____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Качанович Святослав Мар'янович _____

1. Тема роботи: Автоматизація процесу виробництва суперфосфату із застосуванням контролерів Unitronics Vision V570 для ПРАТ "Рівнеазот"

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 25 лютого 2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу виробництва суперфосфату; 2. Функціональні ознаки процесу виробництва суперфосфату;

3. ДСТУ, СНіПи. _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу виробництва суперфосфату як об'єкта керування

2. Техніко-економічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації

3. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: Тема, автор, керівник роботи. Технологічна схема виробництва суперфосфату. Технологічна карта процесу. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами досліджуваного об'єкта. Спрощена функціональна схема автоматизації процесу виробництва суперфосфату. Конфігурація входів та виходів мікроконтролера (V200-18-E5B). Фрагмент програми, де обробляється сигнал температури. Фрагмент програми, де обробляється сигнал рівня. Фрагмент програми для реалізації ПІД-регулятора. Схема під'єднання технічних засобів до мікропроцесорного контролера Unitronics V570. Структурна схема САР при зміні значення рівня. Перехідний процес в САР, отриманий зміною заданого значення рівня на 0,5 м.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки</i>		

7. Дата видачі завдання 8 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При мітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	08.09.24-25.12.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	26.12.24-01.02.25	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	02.02.25-11.04.25	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	12.04.25-21.04.25	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	22.04.25-21.05.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	22.05.25-01.06.25	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	02.06.25-16.06.25	

Студент _____ Качанович С.М.
(підпис)

Керівник роботи _____ Лиса О.В.
(підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація процесу виробництва суперфосфату із застосуванням контролерів UnitronicsVision V570 для ПРАТ "Рівнеазот". Качанович С. М. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Львів, ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025.

60 с. текст. част., 23 рис., 7 табл., 26 літ. джерел.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У першому розділі проведено детальний аналіз технології, описано технологічну схему виробництва, а також визначено матеріальний і тепловий баланси процесу. Встановлено номінальні значення ключових параметрів і межі допустимих відхилень, побудовано структурну схему взаємозв'язків між технологічними величинами.

У другому розділі на основі техніко-економічного аналізу обґрунтовано вибір оптимальної функціональної схеми автоматизації, підбрано відповідні первинні перетворювачі, виконавчі механізми та мікропроцесорні засоби керування. Розроблено конфігурацію системи автоматизації, принципові електричні схеми та програмне забезпечення для мікропроцесорного контролера.

У третьому розділі представлено математичну модель об'єкта регулювання, проведено розрахунки параметрів налаштування регулятора та змодельовано поведінку системи автоматичного регулювання при різних збуреннях. Наведено схеми автоматизації та специфікацію використаних технічних засобів.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто процес автоматизації виробництва суперфосфату як складного керованого об'єкта. Проведено детальний аналіз технології, описано технологічну схему виробництва, а також визначено матеріальний і тепловий баланси процесу. Встановлено номінальні значення ключових параметрів і межі допустимих відхилень, побудовано структурну схему взаємозв'язків між технологічними величинами. На основі техніко-економічного аналізу обґрунтовано вибір оптимальної функціональної схеми автоматизації, підібрано відповідні первинні перетворювачі, виконавчі механізми та мікропроцесорні засоби керування. Розроблено конфігурацію системи автоматизації, принципи електричні схеми та програмне забезпечення для мікропроцесорного контролера. Представлено математичну модель об'єкта регулювання, проведено розрахунки параметрів налаштування регулятора та змодельовано поведінку системи автоматичного регулювання при різних збуреннях. Наведено схеми автоматизації та специфікацію використаних технічних засобів. Результати роботи демонструють можливість підвищення ефективності, стабільності та якості виробництва суперфосфату завдяки впровадженню сучасної автоматизованої системи керування.

THE SUMMARY

The bachelor's qualification work considers the process of automating the production of superphosphate as a complex controlled object. A detailed analysis of the technology is carried out, the technological scheme of production is described, and the material and heat balances of the process are determined. The nominal values of key parameters and the limits of permissible deviations are established, and a structural diagram of the relationships between technological quantities is built. Based on the technical and economic analysis, the choice of the optimal functional automation scheme is justified, the appropriate primary converters, actuators and microprocessor control tools are selected. The configuration of the automation system, the main electrical circuits and software for the microprocessor controller are developed. A mathematical model of the control object is presented, calculations of the regulator setting parameters are carried out and the behavior of the automatic control system under various disturbances is simulated. Automation schemes and specifications of the used technical tools are given. The results of the work demonstrate the possibility of increasing the efficiency, stability, and quality of superphosphate production through the implementation of a modern automated control system.

Зміст

Вступ.....	7
1. Аналіз технологічного процесу виробництва суперфосфату як об'єкта керування	9
1.1. Опис технологічного процесу виробництва суперфосфату	9
1.2. Опис технологічної схеми виробництва суперфосфату	12
1.3. Матеріальний та тепловий баланси процесу.....	16
1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень.....	17
1.5. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу.....	19
2. Техніко-економічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації	21
2.1 Аналіз існуючих технологічних схем процесу	21
2.2. Синтез оптимальної схеми автоматизації для заданих умов роботи об'єкта керування	23
2.3. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів	25
2.4. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації	26
2.5. Розробка конфігурації та програмного забезпечення функціонування мікропроцесорного контролера	31
2.6. Розробка принципових електричних схем зовнішніх з'єднань	34
3. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання.....	36
3.1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання	36
3.2. Розрахунок параметрів налаштування регулятора	40
3.3. Дослідження перехідних процесів в САР для заданих збурень	44
3.4. Опис схем автоматизації.....	47
3.5. Специфікація на засоби автоматизації.....	49
4. Охорона праці	51
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....	51
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці...51	
4.3. Пожежна безпека.....	57
5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації.....	59
Висновок.....	62
Список використаних джерел.....	65

Вступ

У сучасних умовах інтенсифікації промислового виробництва особливої актуальності набуває впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами. Хімічна промисловість, зокрема виробництво мінеральних добрив, вимагає постійного контролю та підтримки оптимальних технологічних параметрів, що забезпечують високу якість продукції, зниження витрат ресурсів та безпечні умови праці. Одним із таких виробництв є процес отримання суперфосфату — одного з найпоширеніших фосфорних добрив.

Актуальність теми полягає в необхідності підвищення ефективності управління процесом виробництва суперфосфату на підприємстві ПРАТ «Рівнеазот» шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації, зокрема контролерів Unitronics Vision V570, які поєднують функції програмованого логічного контролера (ПЛК) та інтерфейсу людина-машина (НМІ).

Добрива для покращення ґрунтів та обробітку сільськогосподарської продукції використовувалися протягом тисячоліть. Це в основному були деревна зола, мергель та органічні залишки сільськогосподарської продукції. В середині XIX століття розвиток природничих наук дав змогу аграріям пізнати суть кореневого і повітряного живлення рослин і обґрунтоване науковими дослідженнями застосування добрив. Добрива призначені для поліпшення живлення рослин та властивостей ґрунтів. Добрива поділяють на прямі, які містять безпосередньо елементи живлення рослин, та непрямі (опосередковані), які (покращують властивості ґрунтів. До них відносять гіпс та вапно.

Оптимальний ріст рослин залежить від кліматичних факторів (світловий, тепловий, водний, повітряний режими), забезпеченості поживними елементами, а також від структури та кислотності ґрунтів, вмісту в них гумусу та інших властивостей. Всі ґрунти мають власний значний запас поживних речовин, але більша частина їх перебуває в малодоступною формі. Тому для оптимізації живлення рослин в ґрунт вносять добрива.

У складі рослин виявлено понад 70 хімічних елементів. Для нормального росту рослин потрібні тільки 15: С, О, Н, N, Р, К, Са, Mg, S, В, Fe, Mn, Cu, Мо,

Zn. Кожен з цих елементів виконує в рослинах свою специфічну роль і не може бути замінений. Так, необхідним елементом для вирощування рису є кремній. Для окремих культур встановлена корисність натрію і хлору. Вода, що є джерелом водню і кисню в більшості випадків є в достатній кількості. Вуглець і кисень поглинаються рослинами з атмосфери у вигляді оксиду CO_2 . Відмітимо, що додаткове забезпечення оксиду CO_2 потрібне тільки в теплицях.

Відомий вислів «Фосфор - елемент життя ...» знаходить повсюдне підтвердження. Фосфор та фосфоровмісні сполуки широко застосовують в сільському господарстві, медицині, наукових дослідженнях, фармацевтичній, харчовій та хімічній промисловості, будівництві, металургії, побуті.

Фосфор - один з найважливіших елементів живлення рослин, тому що входить до складу білків. Якщо азот у ґрунті може поповнюватися з повітря, то фосфати - тільки внесенням у ґрунт у вигляді добрив. Головні джерела фосфору - фосфорити, апатити, а також відходи металургійної промисловості (в основному томасшлак і фосфатшлак). Основними фосфорними добривами є суперфосфат і фосфоритне борошно.

Метою даної роботи є розробка та обґрунтування автоматизованої системи управління процесом виробництва суперфосфату, яка забезпечить підвищення точності контролю параметрів, зниження людського фактору, зменшення енергоспоживання та підвищення безпеки технологічного процесу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виробництва суперфосфату на підприємстві ПРАТ «Рівнеазот».

Предметом дослідження є автоматизована система керування, побудована на базі контролера Unitronics Vision V570, та її взаємодія з первинними перетворювачами, виконавчими механізмами і програмним забезпеченням.

Запропоноване технічне рішення дозволить реалізувати гнучке управління основними параметрами процесу (витрати сировини, температури, рівня, концентрації), а також забезпечити оперативну діагностику та налаштування системи за допомогою зручного інтерфейсу оператора.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СУПЕРФОСФАТУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Опис технологічного процесу виробництва суперфосфату

Бурхливий розвиток промислового виробництва і зростання народонаселення в значній мірі змінюють характер взаємодії людини з навколишнім середовищем. В основі життя лежить кругообіг елементів, який для людини виражається в обміні речовин з природою. Земля, повітря, вода забруднюються промисловими і побутовими відходами, скорочуються лісу і запаси придатних для сільського господарства земель, зникають багато видів тварин і рослин. Під впливом людини середовище змінюється настільки швидко, що рівноваги, які склалися в природі протягом тривалого часу не встигають відновлюватися. В результаті цього погіршуються умови життя людей.

Забезпечення населення харчовими продуктами здійснюється за двома основними напрямками. Першим напрямком є застосування продуктів хімічної промисловості для підвищення продуктивності сільського господарства. Другим - виробництво штучної і синтетичної їжі.

Збільшення продуктивності сільськогосподарського виробництва стає можливим при відповідному розвитку промисловості високоефективних мінеральних добрив, засобів боротьби з шкідниками сільського господарства і створення виробництва стимуляторів росту рослин.

Мінеральні добрива повинні містити максимальну кількість поживних речовин, мати широкий спектр дії, містити найважливіші поживні речовини, в тому числі і мікроелементи. Добрива повинні мати структуру, яка полегшувала б їх зберігання і застосування. Мінеральні добрива повинні легко засвоюватися рослинами, а також покращувати структуру ґрунтів. До складу речовин необхідних для життєдіяльності рослин, входять 30 основних елементів. Понад 90% сухої маси рослин становлять вуглець, водень і кисень, в значних кількостях вони засвоюють азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірку і залізо. Фосфор входить до складу білкових речовин. Середній вміст фосфору в сухому зерні становить 0,7-1,0%, а в сухий соломі 0,2-0,35%. Фосфор прискорює розвиток і

дозрівання рослин, підвищує врожайність і покращує якість сільськогосподарської продукції. В овочах та коренеплодах підвищується вміст цукру та вміст крохмалю в картоплі. Рослини засвоюють тільки розчинні солі фосфору, а нестачу фосфору можна покращити тільки внесенням добрив.

За хімічним складом фосфорні мінеральні добрива поділяють на прості і комплексні. Прості містять тільки одну діючу речовину - фосфор. Комплексні добрива містять два і більше основних діючих компонентів (азот, фосфор і калій). Фосфорні добрива можуть також містити і мікроелементи (бор, мідь, цинк, марганець).

Прості фосфорні добрива мають різну розчинність, яка залежить від природи солі. Тому в залежності від розчинності і засвоюваності рослинами, фосфорні добрива поділяють на групи:

- водорозчинні, в яких велика частина фосфорних сполук розчиняється у воді. До них відносять простий і подвійний суперфосфат та фосфат амонію
- розчинні в органічних кислотах або засвоювані добрива. В них містяться сполуки фосфору, що є розчинними в аміачних розчинах.
- нерозчинні або розчинні тільки в сильних мінеральних кислотах. Вони є нерозчинні у воді і аміачних розчинах цитрату амонію, але розчинні в 2% -ному розчині лимонної кислоти. До них відносять томасшлак і фосфоритне борошно.

За способами виробництва фосфорні добрива поділяють на:

- складні, які отримують в результаті хімічної переробки сировини;
- складно-змішані гранульовані добрива. Їх виробляють мокрим способом шляхом змішування порошкоподібних готових добрив і з введенням рідких реагентів. Такими реагентами є азот, газоподібний або рідкий аміак, різні кислоти. Може додаватися вода і водяна пара.
- змішані добрива. Їх виготовлення здійснюється шляхом механічного змішування різноманітних готових добрив, які можуть бути у вигляді порошкоподібних або гранульованих.

Добриво подвійний суперфосфат являє собою водорозчинне просте фосфорне добриво. Його отримують шляхом розкладання природних фосфатів

фосфорною кислотою. Він є гігроскопічним продуктом сірого кольору. Зазвичай випускається в гранульованому вигляді і в класифікації за способом виробництва відноситься до складних добрив. Подвійний суперфосфат на відміну від простого не містить сульфату кальцію, який не є корисним компонентом (баластом) і тому має більшу концентрацію фосфорного компонента.

Однак, в даний час виробляють і інші фосфорні добрива (наприклад, потрійний суперфосфат), що поступово замінюють прості суперфосфати через їх відносно низького вмісту фосфору. Сам процес виробництва простих та потрійних суперфосфатів дуже близький. Готовий виріб має вигляд сипучого порошку чи гранул сірого кольору. Його основними компонентами є первинний фосфат кальцію ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) та сульфат кальцію ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Звичайно, до складу простого суперфосфату входять також різні добавки, такі як фосфати заліза та алюмінію, діоксид кремнію або фосфорна кислота. Усі види суперфосфатів містять одні й ті самі компоненти, лише у різних пропорціях.

Суперфосфати є найпростішими і найчастіше застосовуваними фосфатними добривами. Вони легко розчиняються у воді, що полегшує всмоктування фосфору рослинами. Цей тип добрив можна використовувати на будь-якому типі ґрунту та при всіх типах вирощування, а також на луках та пасовищах, тому їх і називають універсальними добривами. Їх слід наносити перед посівом, найкраще у поєднанні з калієвими солями, у присутності яких вони діють найефективніше. Фосфор є однією з основних поживних речовин для рослин, а його недолік проявляється їх жорсткістю та схильністю до ламкості, відсутністю блиску, можуть з'являтися також червоні плями на листі. Слід пам'ятати, що фосфорні добрива впливають здебільшого на якість врожаю, а не на його велику кількість.

Для виробництва простого суперфосфату застосовують переважно фосфорити та апатити. Фосфорити – це осадові породи хімічного чи органічного походження, які здебільшого складаються з фосфатів (містять від 12 до 40% P_2O_5). Апатити – це мінерали в основному вулканічного походження. Фосфорити утворюються внаслідок процесу виділення фосфату кальцію з морської води.

Іншою дуже важливим сировиною, необхідним для виробництва суперфосфатів, є сірчана кислота. Тому найзручніше, коли заводи з виробництва сірчаної кислоти та суперфосфатів знаходяться на якомога меншій відстані один від одного. Завдяки цьому можна мінімізувати дуже складний та дорогий процес транспортування H_2SO_4 . Сучасні заводи, що виробляють фосфорні добрива, зазвичай будуються в безпосередній близькості від установок із виробництва сірчаної кислоти.

Для правильного проведення процесу виробництва суперфосфатів важливим є також підбір конструкційних матеріалів обладнання. Зважаючи на застосування сірчаної кислоти та наявності в кінцевих продуктах фтористого водню, обладнання, що використовується в цьому процесі, має бути кислотостійким. Виробництво простого суперфосфату здійснюється в резервуарах, вистелених свинцевим листом, жорстким полівінілхлоридом або тефлоном. Всі труби, що використовуються в цьому процесі, повинні бути виготовлені з кислотостійкої сталі або свинцю (хоча він не використовується в сучасних установках). Крім того, дуже важливо також застосування захисту від корозії (наприклад, гуми або фаоліту) через фтористий водень, що виділяється в процесі.

1.2. Опис технологічної схеми виробництва суперфосфату

Технологічний процес виробництва суперфосфату зводиться до розкладання природних фосфатів сірчаною кислотою. Технологічна схема виробництва суперфосфату показана на рисунку 1.1. Фосфати у вигляді дрібних гранул подаються транспортером 1 в бункер 2. З нього за допомогою системи транспортних установок 3-5 сировину переміщують в бункер стрічкового дозатора 7. Дозатор безперервно подає природні фосфати в змішувач пульпи 8. Надлишкова кількість сировини повертається зворотним шнеком 6 в приймальний бункер 2.

Сірчана кислота концентрацією 75% H_2SO_4 надходить в приймальну ємність 9, а з неї відкачується насосом 10 в ємність 11. Температура кислоти в ємності

підвищується до 40 °С за допомогою гострої пари. Нагріта кислота надходить в змішувач 12, де розбавляється водою до концентрації 68% H_2SO_4 , а звідти через газовий відділювач 14 направляється в змішувач пульпи 8.

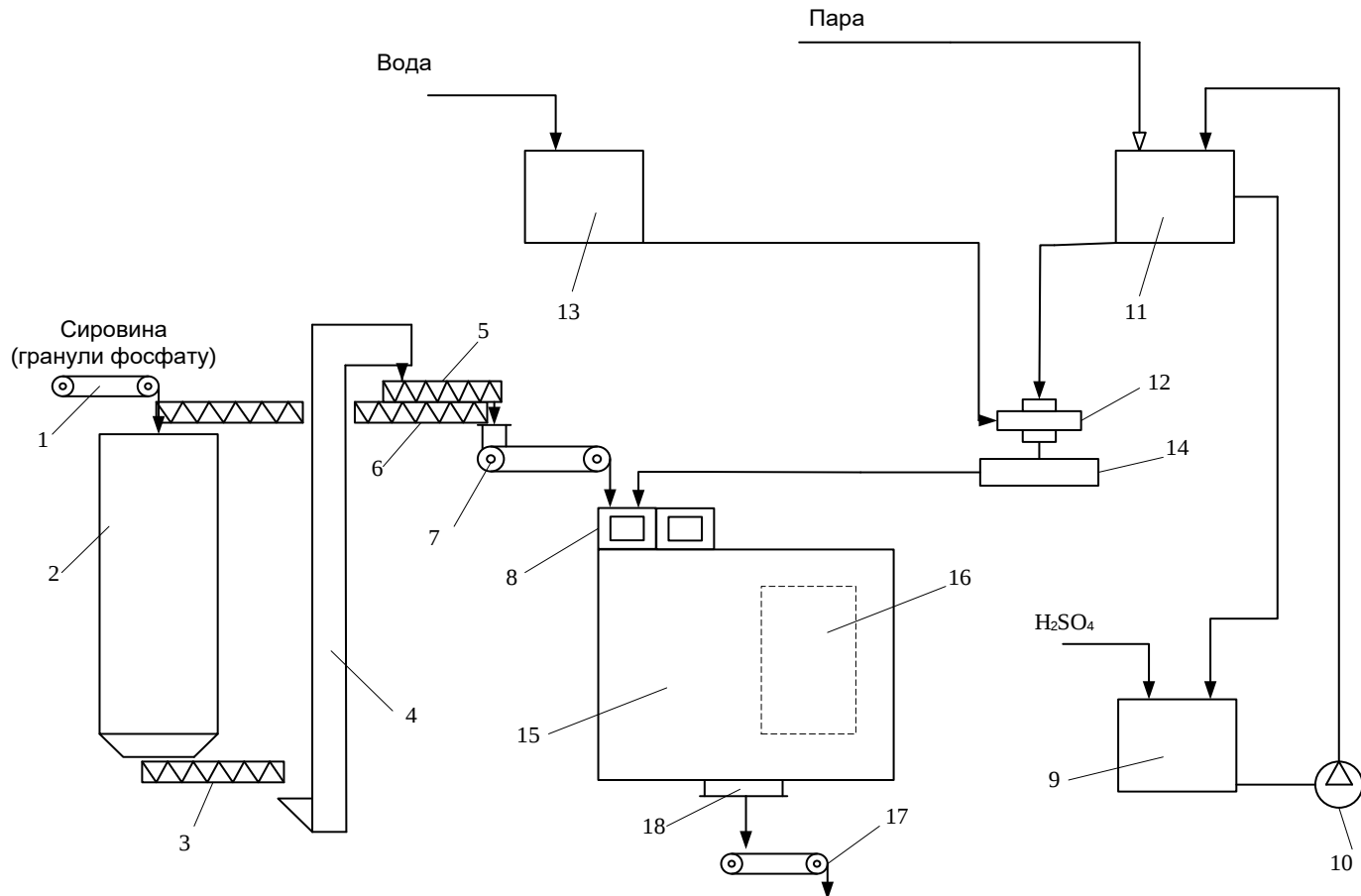


Рис. 1.1. Технологічна схема виробництва суперфосфату: 1, 17 - транспортери; 2 - приймальний бункер; 3, 5 - шнеки; 4 - елеватор; 6 - зворотний шнек; 7 - стрічковий дозатор; 8 - змішувач пульпи; 9 - приймальня ємність; 10 - насос; 11, 13 - напірні ємності; 12 - змішувач; 14 - газовідділювач; 15 - реакційна камера; 16 - фреза; 18 - вивантажна труба

Для безперервного отримання пульпи застосовують камерні змішувачі, що представляють собою дві або три сполучені камери з мішалками, що мають велику швидкість обертання. Час змішування пульпи становить 5-6 хв. З змішувача 8 пульпа безперервно подається в реакційну камеру 15. Реакційною камерою служить вертикальний циліндр, який з невеликою швидкістю обертається навколо нерухомої труби 18, яка призначена для вивантаження. Кришка камери, на якій встановлений змішувач 8, нерухома. Камера робить один

оберт за 1,5-2,5 години. Значення цього часу є достатнім для дозрівання суперфосфатної маси. Дозрілий суперфосфат зрізається ножами фрези 16 і через вивантажувальну трубу 18 потрапляє на транспортер 17.

Отримання простого суперфосфату шляхом впливу сірчаної кислоти на фтористі апатити – це складний і багатоетапний процес. Сама реакція протікає переважно у дифузному середовищі. Першим етапом є підготовка фосфоритів, який полягає у подрібненні їх зерен до розміру менше 0,16 мм. Паралельно з цим процесом можна проводити розведення (до концентрації близько 68%) та охолодження сірчаної кислоти. Залежно від виду сировини застосовують сірчану кислоту з різною температурою. Як правило, це близько 30-40°C у разі фосфоритів і приблизно 60-70°C у разі апатитів. Подрібнену сировину транспортують на ваги та пересипають у змішувач безперервної дії. Потім додають сірчану кислоту. Наступний етап отримання простого суперфосфату полягає у його замішуванні, тобто. механічне змішування всіх компонентів. Вже на цьому етапі починається початкове розкладання фосфоритів. Після змішування вміст змішувача потрапляє в реакційну камеру безперервної дії, де протікають процеси застигання і твердіння. Надалі етапі суперфосфат подрібнюють, а потім зберігають при температурі близько 35-40°C. Так підготовлена маса „дозріває” протягом приблизно 2-3 тижнів і в цей час завершується реакція розкладання фосфоритів. Під час циклу дозрівання зменшується вміст вільної фосфорної кислоти і збільшується кількість оксиду фосфору, який дуже добре засвоюється рослинами. Перемішування суперфосфату під час зберігання додатково прискорює процеси, що відбуваються.

Останнім етапом є грануляція суперфосфату. Це надзвичайно важливий процес з огляду на те, що він впливає на фізичні властивості кінцевого продукту. Весь етап грануляції здійснюється в барабанних грануляторах, що обертаються. Порошкоподібний суперфосфат звожують за допомогою розбризкувачів, а обертальний рух барабана призводить до утворення гранул різного розміру. Таким чином, підготовлений продукт після фінального сушіння поділяють на

фракції з гранулами різного розміру і упаковують у паперові мішки. Зміст фосфору у простому суперфосфаті, як правило, становить 16-20% у перерахунку на оксид фосфору.

Показником ефективності процесу розкладання природних фосфатів сірчаної кислотою є коефіцієнт розкладання, який визначає ступінь переходу нерозчинної форми фосфору в його розчинну форму. Значення коефіцієнт розкладання необхідно підтримувати максимальним. Максимальне значення цього коефіцієнта дає змогу зменшувати час дозрівання суперфосфату на складі (6-25 діб). Основними чинниками, що визначають коефіцієнт розкладання, є концентрація сірчаної кислоти, що подається в змішувач пульпи, співвідношення витрат природних сульфатів і сірчаної кислоти, а також і температурний режим в реакційній камері.

Швидкість протікання хімічної реакції підвищується із збільшенням концентрації сірчаної кислоти. Необхідно враховувати, що при високих концентраціях кислоти на поверхні гранул сировини може утворюватися щільна кірка сульфату кальцію. А це не буде давати можливості фосфорній кислоті дифундувати в частинки природних фосфатів (хідної сировини). Оптимальним значенням концентрації сірчаної кислоти, при якій на поверхні гранул сировини утворюється пористий шар сульфату кальцію, є концентрація 68 %. Для стабілізації концентрації сірчаної кислоти передбачений спеціальний регулятор. Регульованою величиною є густина кислоти після газовідділювача 14. Регулюючий вплив забезпечує зміна витрати води, яка поступає в змішувач 12.

Співвідношення витрат природних фосфатів і сірчаної кислоти, які подаються в змішувач пульпи, має бути постійним і забезпечуватися за допомогою контурів стабілізації витрат цих компонентів.

Стабілізація витрати фосфатів здійснюється неперервним дозатором 7, який забезпечує їх постійну продуктивність.

Температура в реакційній камері також впливає на процес розкладання. Підвищення температури призводить зростання швидкості реакції. При

концентрації сірчаної кислоти в 68% процес розкладання протікає в оптимальному режимі при постійному значенні температури 110 °С.

Температура в камері визначається кількістю тепла, яке надходять в камеру з природними фосфатами сірчаною кислотою, а також кількістю тепла, що виділяється при розкладанні фосфатів.

При постійній витраті фосфатів кількість тепла, що надходить в камеру, є постійною. Тому єдиною можливістю стабілізувати температуру в реакційній камері є зміна витрати сірчаної кислоти, що надходить в камеру, та температура кислоти.

Відмітимо, що зміною витрати сірчаної кислоти недоцільно стабілізувати температуру в реакційній камері 15, оскільки при зміні її витрати буде змінюватися співвідношення витрат фосфатів і сірчаної кислоти. Тому єдиною можливістю для підтримання температурного режиму в реакційній камері є зміна температури сірчаної кислоти, яка надходить в реакційну камеру. Регулююча дія при цьому буде здійснюватися зміною витрати гріючої пари, яка подається в напірну ємність. В деяких випадках для зменшення часу запізнення більш доцільним є стабілізація температури в газовідділювачі 14, а не в реакційній камері.

Для підтримання матеріальних балансів відділення по воді і сірчаній кислоті доцільно встановлювати вузли регулювання рівнів в приймальній 9 і напірній ємності 13.

1.3. Матеріальний та тепловий баланси процесу

Матеріальний баланс виробництва суперфосфату наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1. 1

Матеріальний баланс виробництва суперфосфату

Вхідна сировина			Вихідний продукт		
Найменування	т/год	%	Найменування	т/год	%
1. Дозування сировини:					
а) фосфатна пульпа	60,8	85,3	1. Пульпа на нейтралізацію	71,3	100
б) сірчана кислота	10,5	14,7			

Виконаємо розрахунок питомих витрат теплової енергії на виготовлення 1 т суперфосфату амонійного гранульованого.

Обсяг робочого нейтралізатора $V = 100 \text{ м}^3$.

Температура пульпи $T = 75 \div 90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для виготовлення 1 т гранульованого суперфосфату з вмістом 14% оксиду фосфору P_2O_5 необхідно 1 862 кг пульпи з густиною 1,35 - 1,40 г / см^3

1. Для нагрівання реагентів від температури 60°C до 90°C необхідно затратити таку кількість тепла:

$$Q_1 = 1862 (\text{кг} / \text{т}) \times 0,8 (\text{ккал} / \text{кг} \times ^\circ\text{C}) \times 30^\circ\text{C} = 44\,688 \text{ ккал} / \text{т}.$$

де 0,8 ккал / ($\text{кг} \text{ }^\circ\text{C}$) - питома теплоємність пульпи.

Враховуючи, що ентальпія пари, яка подається на підігрівання становить 668,8 ккал / кг, то для нагрівання реагентів потрібно $44\,688 / 668,8 = 66,82 \text{ кг}$ пари.

Втрати тепла в навколишнє середовище становлять 5 %. Отже, для підігрівання реагентів на $30 \text{ }^\circ\text{C}$ потрібно $66,82 \times 1,05 = 70,16 \text{ кг}$ гріючої пари.

1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень

Вхідна сировина подається в репульпатор, в нього подається і гріюча пара для нагрівання пульпи до температури 110°C . Густина пульпи від 1,270 до 1,290 г / см^3 .

Пульпа вхідної сировини і сірчана кислота надходить у екстрактор, в якому відбувається розкладання природного фосфату сірчаною кислотою.

Реакційна камера і екстрактор з'єднані між собою шляхом перетікання реагентів. Конструктивно це виконано у вигляді лінзового компенсатора для зняття можливих температурних напружень.

Для повноти отримання готового продукту в екстракторі необхідні забезпечити такі умови:

- рівномірний розподіл сірчаної кислоти;
- оптимальний і стійкий температурний режим;
- стійкість технологічного режиму за концентрацією;

- час перебування реагентів;
- циркуляція фосфатної пульпи;

Процес ведеться при інтенсивному перемішуванні для забезпечення повного контакту між реагентами. Технологічний процес отримання суперфосфату складається з таких стадій:

- дозування сірчаної кислоти і дозування фосфатної пульпи;
- нейтралізація фосфатної пульпи газоподібним аміаком;
- гранулювання і сушіння продукту у відповідних установках;
- класифікація гранульованого продукту;
- очищення газів, що відходять;
- транспортування, складування і відвантаження готового продукту.

Для досягнення оптимального протікання технологічного процесу проводять аналіз на основі технологічного регламенту, наукових досліджень, правил експлуатації технологічної апаратури та вимог правил охорони довкілля. За результатами аналізу встановлюють номінальні значення параметрів та їх допустимі відхилення.

Номінальні значення технологічних параметрів та допустимі відхилення від цих значень для технологічного процесу одержання суперфосфату наведено в технологічній карті (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

Технологічна карта

№ п/п	Назва параметра	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	Витрата сировини	кг/с	2	$\pm 0,1$
2	Витрата пульпи	кг/с	2,8	$\pm 0,1$
3	Густина пульпи	г/см ³	1,35	$\pm 0,05$
4	Температура пульпи	°C	110	± 2
5	Рівень води	м	2	$\pm 0,05$
6	Рівень сірчаної кислоти	м	2	$\pm 0,05$

Такі значення технологічних параметрів забезпечать оптимальне протікання процесу з необхідними техніко-економічними показниками досягнемо потрібних результатів.

1.5. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу

Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу показує вплив вхідних параметрів і збурень на зміну вихідних регульованих параметрів (величин).

Структурна схема взаємозв'язку наведена на рисунку 1.2.

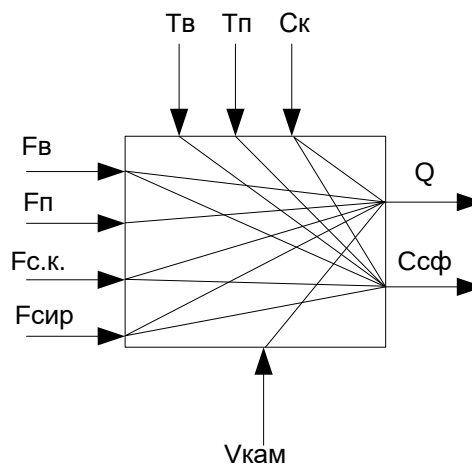


Рисунок 1.2. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами досліджуваного об'єкта

Вхідні параметри:

$F_{\text{в}}$ – витрата води;

$F_{\text{п}}$ – витрата пари;

$F_{\text{с.к.}}$ – витрата сірчаної кислоти.

$F_{\text{сир.}}$ – витрата сировини (природного фосфату).

Збурюючі параметри:

$T_{\text{в}}$ – температура води;

$T_{\text{п}}$ – температура пари;

$C_{\text{к}}$ – концентрація сірчаної кислоти.

Вихідні величини:

Q – продуктивність технологічного процесу;

C_{cf} – концентрація суперфосфату.

Основним збурюючим фактором є витрата сировини, при її відхиленні відбуватиметься зміна концентрації готового суперфосфату, це буде впливати на загальну продуктивність процесу.

На температуру води, температуру пари, концентрацію сірчаної кислоти впливати ми не можемо, тому значення цих параметрів тільки контролюють.

Для ефективної роботи слід підтримувати значення матеріальних потоків у заданих межах для досягнення максимальної продуктивності із заданими значеннями показника якості готової продукції (концентрації вмісту фосфору у суперфосфаті).

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Аналіз існуючих технологічних схем процесу

Основним завданням будь-якої функціональної схеми автоматизації є забезпечення умов протікання технологічного процесу для досягнення високої продуктивності та забезпечення ефективності роботи технологічного обладнання. Врахування вказаних вище чинників дасть змогу забезпечити також і необхідні якісні показники кінцевої продукції. Запропонована функціональна схема автоматизації (ФСА) покликана також здешевити виготовлення продукції та покращити обслуговування технологічного обладнання.

Щоб ФСА виконувала покладені на неї функції, вона повинна бути спроектована з врахуванням конкретних вимог до протікання технологічного процесу. Розроблена ФСА повинна враховувати вплив всіх можливих збурень, що впливають на протікання технологічного процесу. Застосовувані при реалізації ФСА технічні засоби автоматизації повинні забезпечувати достатню точність при вимірюванні значень параметрів технологічного процесу. Налаштування ФСА повинні здійснюватися так, щоб вона забезпечувала необхідні показники якості перехідного процесу. Синтез ФСА повинен здійснювати також із врахуванням сучасних тенденцій у даній галузі промисловості.

В даному розділі роботи мною обрано функціональну схему автоматизації із застосуванням сучасного мікропроцесорного засобу керування - програмованого логічного контролер Unitronic Vision V570.

Сучасні мікропроцесорні засоби керування мають значні переваги в порівнянні з аналоговими. Перевагою мікропроцесорних засобів є гнучкість такої системи автоматизації, є змога її перепрограмування на інші алгоритми роботи. Мікропроцесорний контролер може замінити великі релейні схеми, які потребують значного обслуговування та мають значні габарити. Впровадження

мікропроцесорів замість релейних схем дасть змогу зі значно меншими габаритними розмірами забезпечити високу надійність системи керування.

Мікропроцесорні засоби навіть при застосуванні аналогового регулювання не поступаються локальним аналоговим регуляторам. Сучасні мікропроцесорні засоби мають високу швидкодію, що дає змогу реалізовувати контури регулювання з високою швидкістю. Крім цього такі технічні засоби дають можливість досягнути високої точності регулювання та високих техніко-економічних показників.

Сутність процесу виробництва простого суперфосфату полягає в розкладанні природних фосфатів у середовищі сірчаної кислоти. Таке розкладання є по суті багатофазним гетерогенним процесом.

Сировиною для виробництва мінерального добрива суперфосфату є природні фосфати. До них відносять фосфорити і апатити. Для розкладання природних фосфатів застосовується баштова сірчана кислота.

Процес розкладання природних фосфатів протікає у дві стадії. Першою стадією є реакція обмінного розкладання. Вона проходить на поверхні твердих частинок природних фосфатів при надлишку сірчаної кислоти. В результаті протікання цієї реакції утворюється вільна фосфорна кислота. Початок цієї реакції відбувається відразу після змішування природного фосфату з сірчаною кислотою. Тривалість реакції - від 20 до 40 хвилин. Температура в зоні реакції повинна знаходитися в межах від 110 до 120 ° С. Після закінчення першої стадії має прореагувати вся сірчана кислота і починається друга стадія процесу. На цій стадії процесу розкладання фосфати, що утворилися на першій стадії, насичуються фосфорною кислотою.

В результаті утворений на другій стадії продукт знаходиться спочатку в вигляді розчину. При перенасиченні цього розчину відбувається його кристалізація. Друга стадія процесу розкладання природного фосфату є досить тривалою і протікає в часовому інтервалі від 6 до 25 діб.

Технологічна схема виробництва суперфосфату включає в себе велику кількість операцій. Основними операціями виробництва є подрібнення природних фосфатів, після цього необхідно забезпечити дозування сірчаної кислоти і природних фосфатів. Після дозування компонентів забезпечують змішування реагентів в змішувачі. В результаті цієї операції утворюється пульпа. Наступний етап - захоплювання і затвердіння змішаних компонентів (суперфосфатної маси) в реакційній камері. Заключною операцією є дозрівання суперфосфату в складських приміщеннях. Попереднє дозрівання суперфосфату починається вже в реакційній камері. Після попереднього дозрівання процес остаточного дозрівання відбувається в складських приміщеннях. В них суперфосфат вилежується і перемішується. При цьому завершується взаємодія природного фосфату з сірчаною кислотою.

Для поліпшення фізичних властивостей суперфосфат піддають процесу грануляції в спеціальних апаратах, які називаються грануляторами.

Зміст фосфору в добривах обчислюють у відсотках оксиду фосфору P_2O_5 . Згідно нормативних документів в готовому суперфосфаті з апатитів вміст оксиду фосфору становить 19-20%, а з фосфоритів - близько 14-15%.

При розкладанні природних фосфатів сірчаною кислотою як допоміжний продукт виділяється значна кількість фтористоводневого компонента і тетрафториду кремнію. При взаємодії цих двох компонентів утворюється кремнійфтористоводнева кислота. Гази, що виділилися в процесі протікання реакції, поступають на процес водної абсорбції або на виробництво кремнійфториду натрію.

2.2. Синтез оптимальної схеми автоматизації для заданих умов роботи об'єкта керування

Аналіз існуючих схем автоматизації процесу виробництва суперфосфату дає змогу зробити висновок, що для забезпечення ефективного протікання технологічного процесу і забезпечення необхідних техніко-економічних

показників доцільно вибрати спрощену функціональну схему автоматизації, яка зображена на рисунку 2.1.

Запропонованою схемою автоматизації передбачено такі основні контури регулювання:

1. Контур регулювання витрати вхідної сировини (гранул природного фосфату).
2. Контур регулювання витрати пульпи.
3. Контур регулювання температури пульпи.
4. Контур регулювання густини пульпи.
5. Контур регулювання рівня води в напірній ємності.
6. Контур регулювання рівня сірчаної кислоти в ємності.

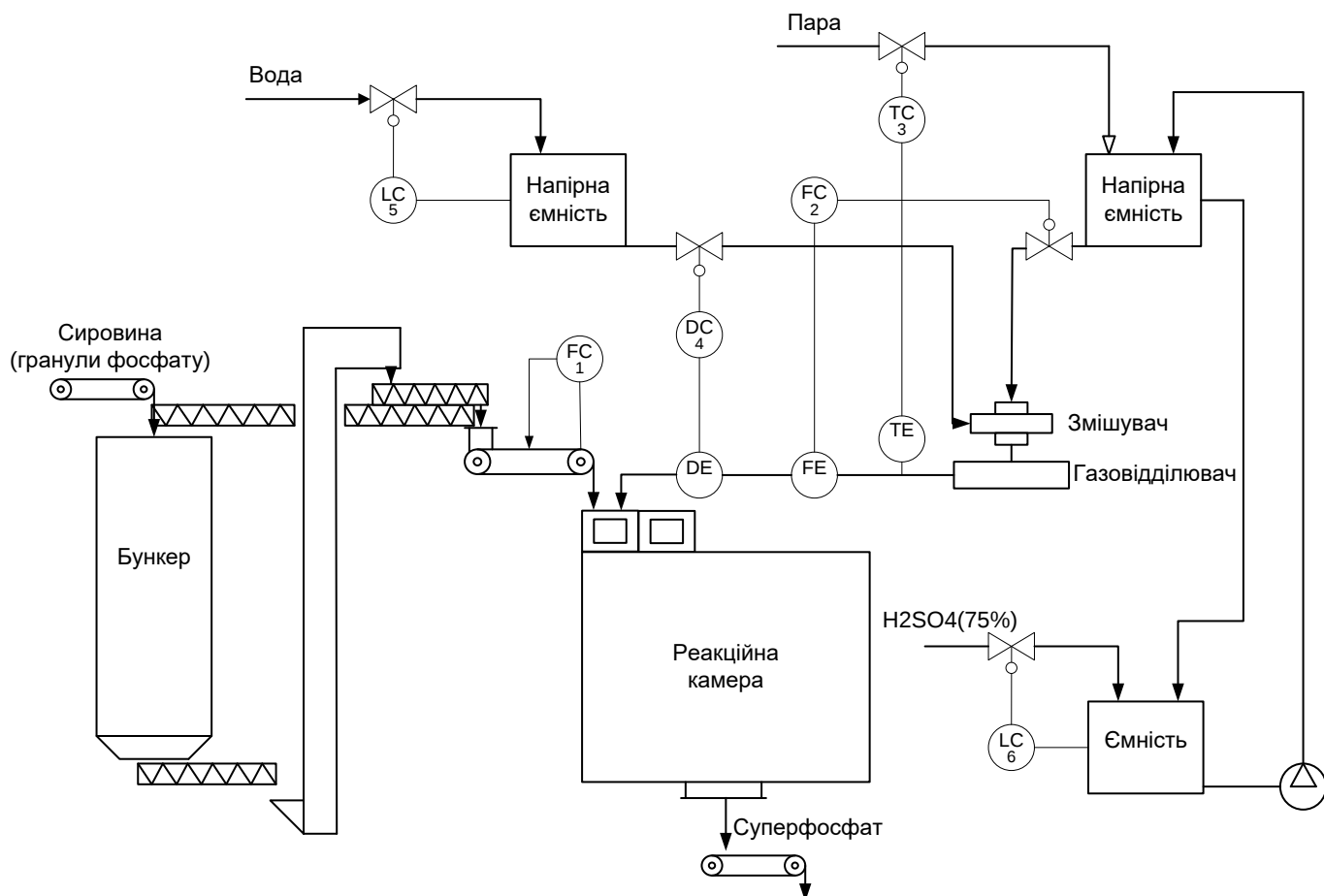


Рис. 2.1. Спрощена функціональна схема автоматизації процесу виробництва суперфосфату

2.3. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів

Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів виконано для всіх контурів системи автоматизації.

1. **Витрата в трубопроводі** вимірюється електромагнітним витратоміром фірми Siemens. Давач витратоміра - MAG 1100, перетворювач MAG 5000.

Технічні характеристики витратоміра:

- Напруга живлення 24 В постійного струму.
- Діаметр умовного проходу 50 мм.
- Максимальний тиск 40 бар.
- Діапазон температур -20...200 °C
- Похибка вимірювання ± 0.5 %.
- Вихідний сигнал 1 аналоговий, 1 імпульсний, 1 релейний
- Ступінь захисту корпусу IP67

2. Для вимірювання **температури** застосовано термоперетворювач опору платиновий типу SITRANS T з номінальною статичною характеристикою (НСХ) Pt100 (опір при нулю градусів Цельсія -100 Ом), класом допуску В з діапазоном вимірювання -50...+600°C. Перетворювач виконано у вибухозахищеному виконанні. Для отримання уніфікованого вихідного сигналу застосовано нормуючий перетворювач типу SITRANS TH200.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення 24 В постійного струму.
- Діапазон вимірювання -200...650°C .
- Похибка вимірювання $\pm 0,1$ % .
- Вихідний сигнал (4-20) мА
- Клас допуску В

3. Для вимірювання **рівня у ємностях** застосовано ємнісний рівнемір фірми Siemens, серії Sitrans LC 500.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення 24 В постійного струму.

- Діапазон вимірювання 0,1-5,5 м.
- Похибка вимірювання $<0,1\%$ від значення вимірюваної величини.
- Вихідний сигнал (4-20) мА.

4. Для зміни положення регулюючих клапанів (SAMSON 3251) застосовано пневматичний сервопривід з електропневматичним позиціонером типу SAMSON 3767.

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання і допустимий перепад тиску: 4-6 бар і 2,5 бар
- Діапазон робочих температур $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $220\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Аналоговий вхідний сигнал 4-20мА, 0-20 мА.
- Кількість виходів 2 аналогових виходи.

2.4. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації

Для реалізації автоматичного функціонування контурів регулювання вибраної технологічної схеми застосовано мікропроцесорний контролер Unitronics Vision V570. Загальний вигляд контролера показано на рисунку 2.2.



Рис.2.2. Загальний вигляд контролера Unitronics Vision V570

За допомогою цього контролера здійснюється регулювання та сигналізація.

Контролери Vision V570 являють собою програмовані логічні контролери, які мають вбудовані операційні панелі V570 57 C30B і V570 57 T40B, мають

кольоровий сенсорний екран, на якому відображається віртуальна клавіатура. Вона потрібна для того, щоб оператор міг вносити необхідні для протікання технологічного процесу дані.

Для реалізації даної спрощеної ФСА потрібно підібрати мікропроцесорний засіб, який мав би не менше:

- 6 аналогових вхідних сигнали
- 2 дискретних вхідних сигнали
- 2 аналогових вихідних сигнали
- 2 дискретних вихідних сигнали

Вибираємо модель контролера Unitronics V570 модель V200-18-E46B, яка має: 9 аналогових вхідних сигналів; 18 дискретних вхідних сигналів; 2 аналогових вихідних сигналів; 15 дискретних вихідних сигналів; 2 транзисторні виходи.

Перевірені на практиці рішення ПЛК Unitronics реалізовані на багатьох об'єктах в різноманітних галузях промисловості, включаючи хімічну та нафтогазову промисловість, автомобілебудування, виробництво харчових продуктів, пластичних мас, текстильну, енергетичну галузі, охорону навколишнього середовища, водопостачання, тощо. Їх доцільно застосовувати на тих об'єктах, де потрібно забезпечити автоматизацію процесів виробництва.

Unitronics V570 – нова серія програмованих логічних контролерів з кольоровим сенсорним екраном, можуть також вбудовуватися модулі розширення вводу / виводу.

Нижче наведено функції основних елементів структури контролера.

Пристрій HMI забезпечує зручний інтерфейс для візуалізації виробничих процесів. Користувач може самостійно завантажити до тисячі графічних елементів, а в межах одного проєкту – використовувати до пів тисячі зображень одночасно. На екрані можна переглядати тренди й графіки з можливістю кольорового виділення для кращої наочності. У системі передбачено інформаційні вікна, що містять дані про алгоритмічну логіку. Працювати з текстами також зручно — доступна бібліотека функцій для текстових елементів

із можливістю легкої локалізації. Крім того, оператор має інструменти для швидкого пошуку і діагностики несправностей безпосередньо з панелі.

Програмований логічний контролер (ПЛК) має низку потужних функцій. Він підтримує роботу з високошвидкісними входами та виходами, що дозволяє точно підключати датчики температури та інші вимірювальні пристрої. У ПЛК вбудовано ПІД-регулювання з автоматичним підбором параметрів — система здатна одночасно працювати до двох десятків незалежних ПІД-контурів. Для зручності передбачено можливість введення, збереження та редагування рецептів, дані з яких зберігаються в таблицях. Підтримується також мікроSD-карта для запису, копіювання або резервного зберігання інформації. А налаштування таймерів і контроль часу можна виконати буквально за три кліки мишкою. Система зв'язку підтримує широкий спектр сучасних технологій — серед них GPRS, GSM та CDMA, що дозволяє забезпечити стабільний мобільний доступ до пристрою. Передбачено Ethernet-з'єднання через протокол TCP/IP, завдяки чому можливий швидкий обмін даними в локальній або глобальній мережі. Вбудований веб-сервер дозволяє як використовувати готові HTML-сторінки, так і створювати власні для перегляду або редагування інформації з ПЛК через інтернет. Система також підтримує надсилання електронних листів і обмін SMS-повідомленнями. Реалізовано можливість віддаленого доступу, що зручно для моніторингу та обслуговування. Підтримуються ключові промислові протоколи, зокрема MODBUS і DF1 Slave. У стандартній комплектації є два ізольовані порти RS232/RS485, а за потреби можна додатково інтегрувати ще один послідовний Ethernet-порт.

VisiLogic — це спеціалізоване програмне забезпечення, призначене для створення, редагування, тестування та завантаження проєктів керування в контролери серії Vision від Unitronics. Воно об'єднує інструменти програмування ПЛК і HMI в єдиному середовищі, що значно полегшує розробку комплексних систем автоматизації. Цей програмний продукт забезпечує зручне конфігурування апаратної частини: користувач може легко визначати типи входів/виходів, які будуть використовуватись, завдяки інтеграції модулів

вводу/виводу безпосередньо у корпус контролера або шляхом підключення зовнішніх модулів розширення. Така гнучкість дозволяє адаптувати систему до специфічних вимог кожного проєкту. VisiLogic також підтримує розробку ПІД-регуляторів з функцією автоналаштування. Кількість незалежних ПІД-контурів у проєкті визначається обсягом доступної оперативної пам'яті контролера. Стан використання пам'яті можна легко перевірити у вкладці RAM через меню Вид > FB Information, що дозволяє оптимізувати ресурс системи на етапі проєктування.

Додатково VisiLogic містить вбудовані бібліотеки функцій, графічних елементів інтерфейсу та шаблонів, що пришвидшує розробку. Завдяки наочному інтерфейсу, гнучким інструментам для діагностики та відлагодження, а також підтримці завантаження програм через стандартний кабель зв'язку, VisiLogic є ефективним інструментом як для досвідчених інженерів, так і для початківців у сфері автоматизації.

Контролер підтримує широкий набір операндів для зберігання й обробки даних. Є 4096 бітів пам'яті, які використовуються для зберігання логічних станів. Для числових значень доступні 2048 осередків пам'яті під 16-бітні цілі числа, а також 256 комірок для довгих 32-бітних цілих чисел (Long Integers). Також реалізована підтримка 64 значень типу Double Word — це 32-бітні беззнакові дані. Числа з плаваючою крапкою представлені 24-ма 32-бітними змінними типу Memory Float. Для відстеження часу передбачено 192 таймери (32-бітні), а для підрахунків — 24 лічильники з 16-бітною розрядністю. Усе це забезпечує гнучке й точне керування процесами на рівні програмної логіки.

До стандартного комплекту входить усе необхідне для швидкого запуску й підключення контролера Vision. У наборі сам ПЛК, батарея (йде окремо, не встановлена), а також триконтактний конектор для підключення живлення. Для програмування передбачено спеціальний кабель із RS232-адаптером. Також у комплекті є п'ятиконтактний роз'єм для підключення до шини CAN, монтажні кронштейни (4 штуки) для зручного встановлення пристрою, та узгоджувальний резистор для забезпечення стабільної роботи мережі CAN. До комплекту додається установочний диск із програмним забезпеченням Unitronics.

Контролери Vision підтримують масштабовану систему введення та виведення даних — до 1711 аналогових і цифрових каналів. Це реалізується завдяки різним варіантам підключення модулів. Один із варіантів — вбудовані модулі вводу/виводу, які вставляються безпосередньо в задню частину пристрою, що дозволяє створити компактну інтегровану конфігурацію. Інший спосіб — використання модулів розширення. Через спеціальний адаптер до контролера можна підключити до восьми додаткових модулів, кожен з яких забезпечує до 128 додаткових точок введення або виведення. Такий підхід дозволяє гнучко адаптувати систему під потреби конкретного об'єкта чи проєкту.

Інформаційний режим відкриває доступ до низки корисних функцій безпосередньо з пристрою. Завдяки сенсорному екрану можна зручно керувати параметрами — переглядати й редагувати операнди, налаштовувати порти зв'язку (COM), змінювати параметри реального часу (RTC), а також регулювати яскравість і контрастність дисплея. Крім того, у цьому режимі доступні команди запуску, зупинки та перезавантаження контролера, що дозволяє швидко втручатися в роботу системи без підключення зовнішніх засобів.

На установочному диску Unitronics користувач знайде повний набір програмних інструментів для розробки, налагодження й обслуговування системи. Основне середовище — VisiLogic — дозволяє швидко створювати як логіку керування, так і графічний інтерфейс HMI. Програма має зручний інтерфейс і включає бібліотеки даних, що суттєво полегшують налаштування складних функцій, зокрема ПД-регулювання. Створене програмне забезпечення можна завантажити на контролер через кабель, який постачається в комплекті.

Крім того, диск містить корисні сервісні утиліти. Серед них — UniOPC-сервер для організації обміну даними, Remote Access для віддаленого налаштування й діагностики, а також DataXport — програма для збирання та реєстрації даних у реальному часі. Усе це створює потужне середовище для розробки та підтримки автоматизованих систем.

2.5. Розробка конфігурації та програмного забезпечення функціонування мікропроцесорного контролера

Конфігурація входів та виходів мікроконтролера наведена рисунках 2.3-2.5..

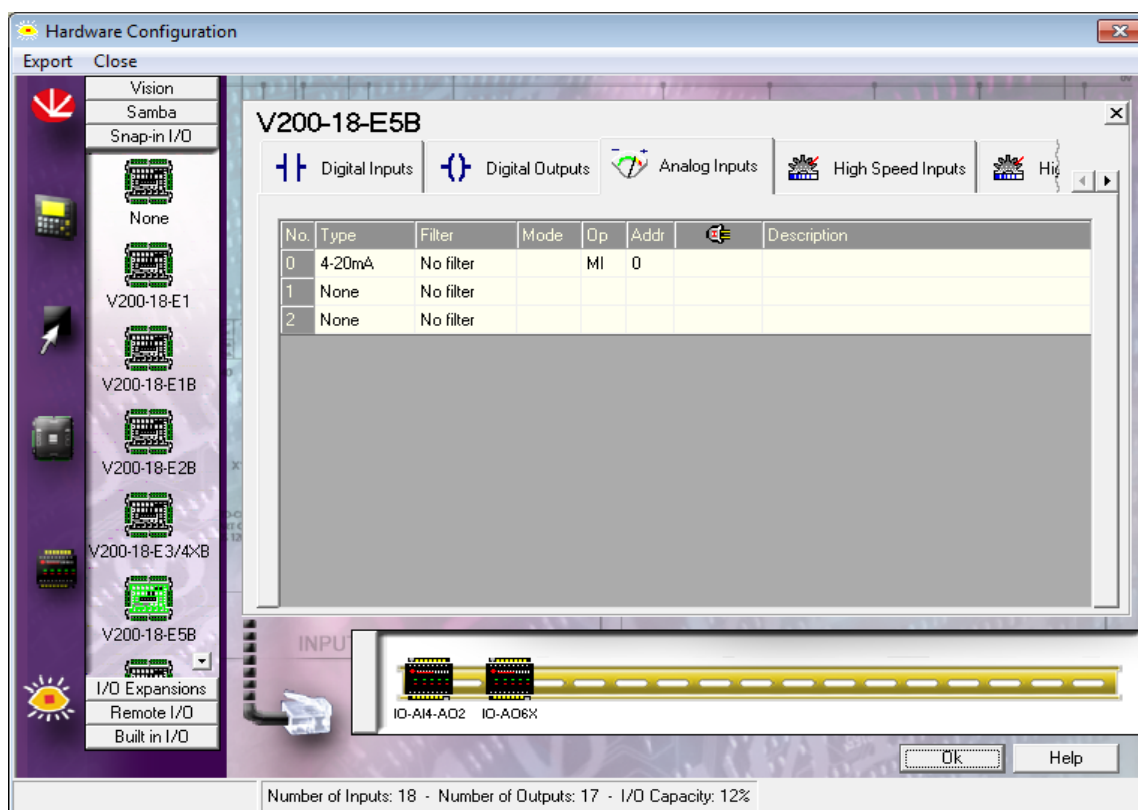


Рис. 2.3. Конфігурація входів та виходів мікроконтролера (V200-18-E5B)

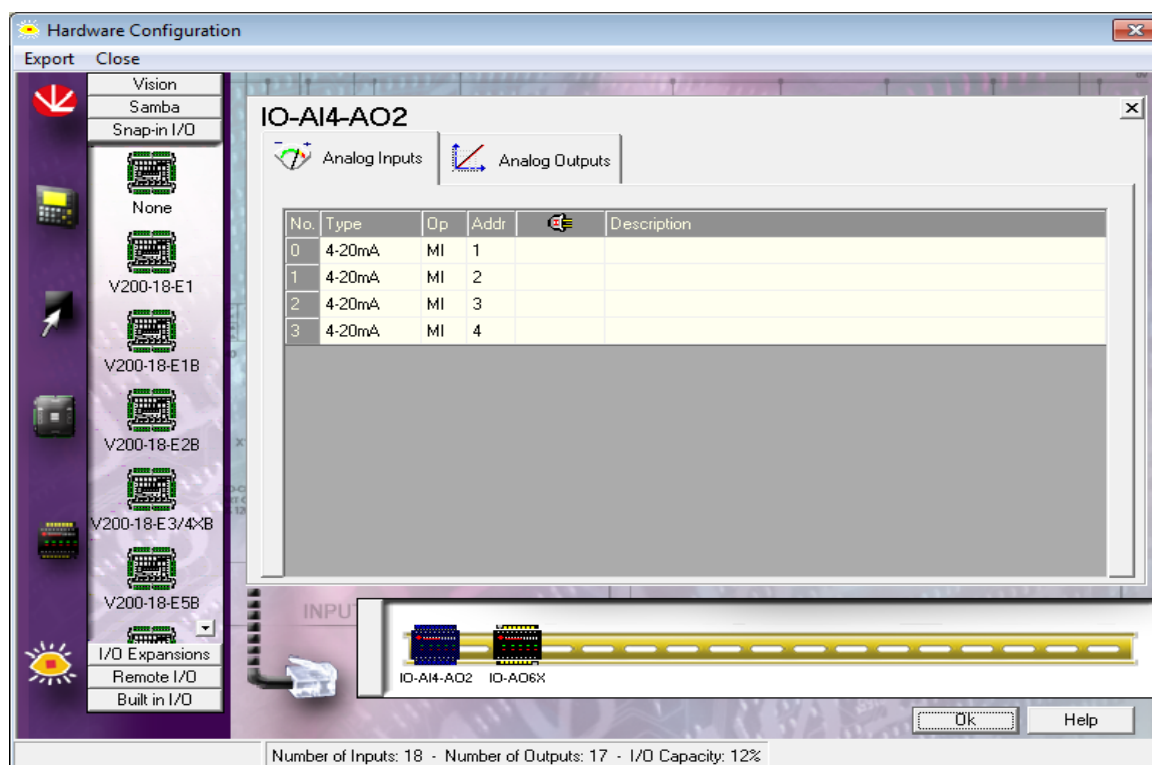


Рис. 2.4. Конфігурація входів та виходів мікроконтролера(IO-AI4-AO2)

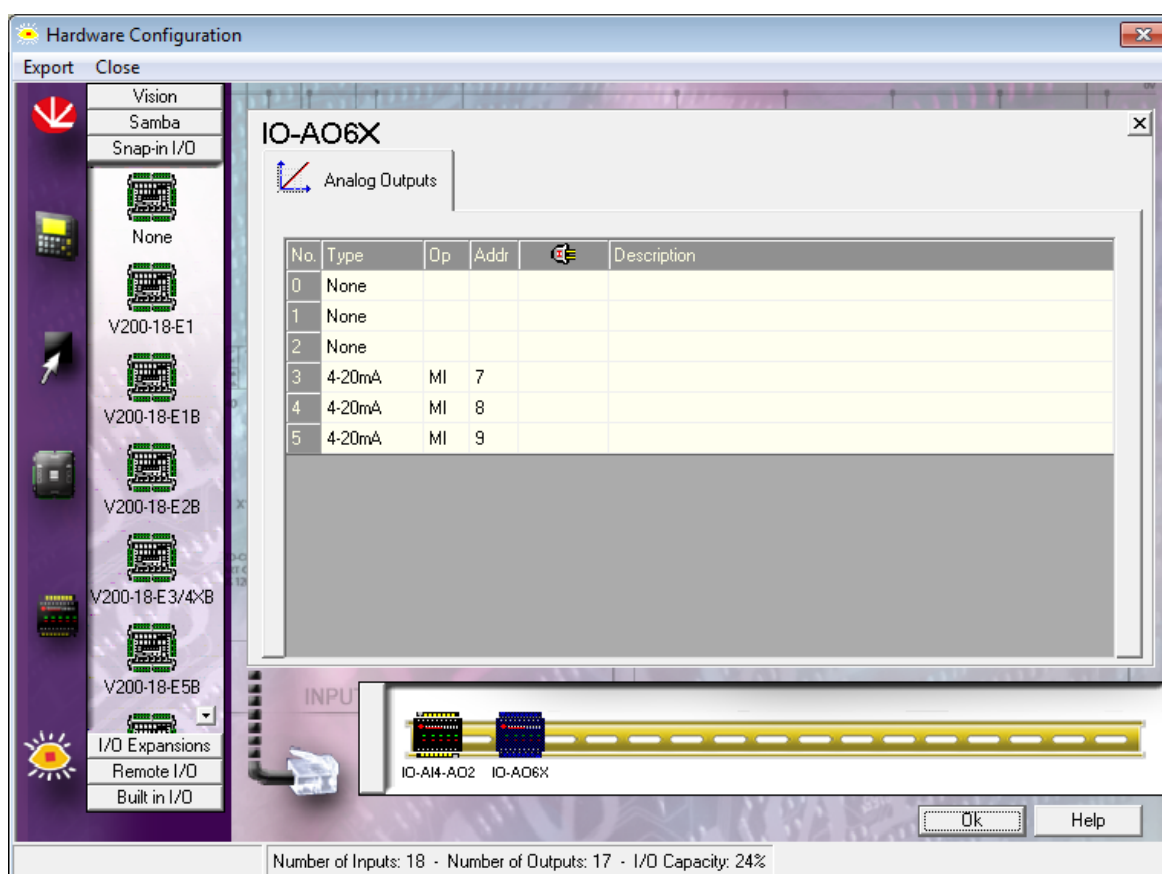


Рис. 2.5. Конфігурація входів та виходів мікроконтролера (IO-AO6X)

Розробка програми функціонування вибраних засобів автоматизації

Опис програми регулювання температури

На рисунку 2.6 наведено фрагмент програми, де обробляється сигнал про значення температури. За допомогою блоку «STORE» присвоюємо сигнал в інший біт, далі за допомогою блоку «LINEAR» лінеаризуємо сигнал.

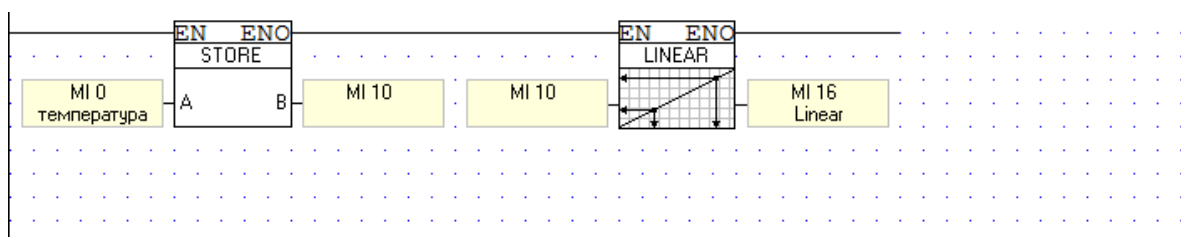


Рис. 2.6. Фрагмент програми, де обробляється сигнал температури

На рисунку 2.7 наведено фрагмент програми де обробляється сигнал рівня. За допомогою блоку «STORE» присвоюємо сигнал в інший біт, далі за допомогою блоку «LINEAR» лінеаризуємо сигнал.

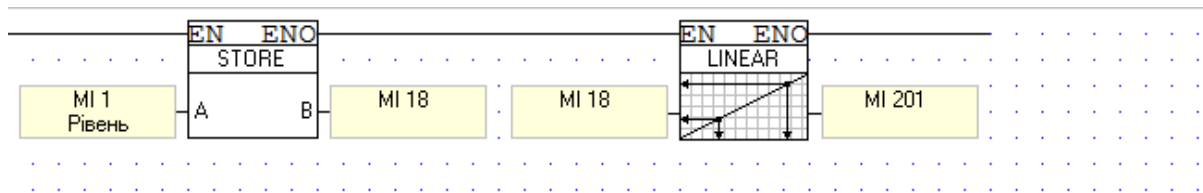


Рис. 2.7. Фрагмент програми, де обробляється сигнал рівня

На рисунку 2.8 наведено фрагмент програми де обробляється сигнал витрати. За допомогою блоку «STORE» присвоюємо сигнал в інший біт, далі за допомогою блоку «LINEAR» лінеаризуємо сигнал.

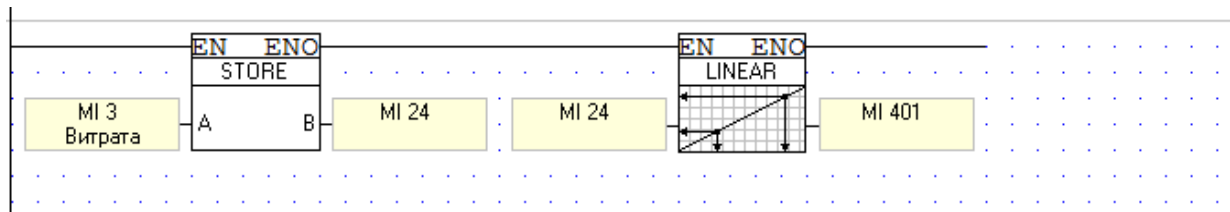


Рис. 2.8. Фрагмент програми, де обробляється сигнал витрати

На рисунку 2.9 наведено фрагмент програми де обробляється сигнал густини. За допомогою блоку «STORE» присвоюємо сигнал в інший біт, далі за допомогою блоку «LINEAR» лінеаризуємо сигнал.

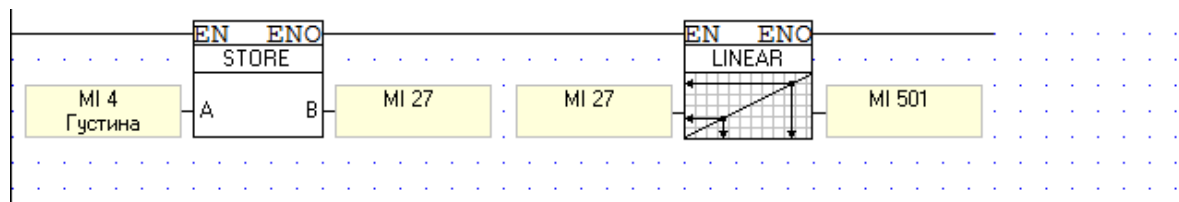


Рис. 2.9. Фрагмент програми, де обробляється сигнал густини

Необхідні складові для реалізації ПД регулятора наведено на рисунку 2.10:

- блок конфігурації (завдання основних параметрів регулятора);
- блок паузи І- та Д-складової;
- блок перевірки статусу регулятора;
- блок запуску регулятора.

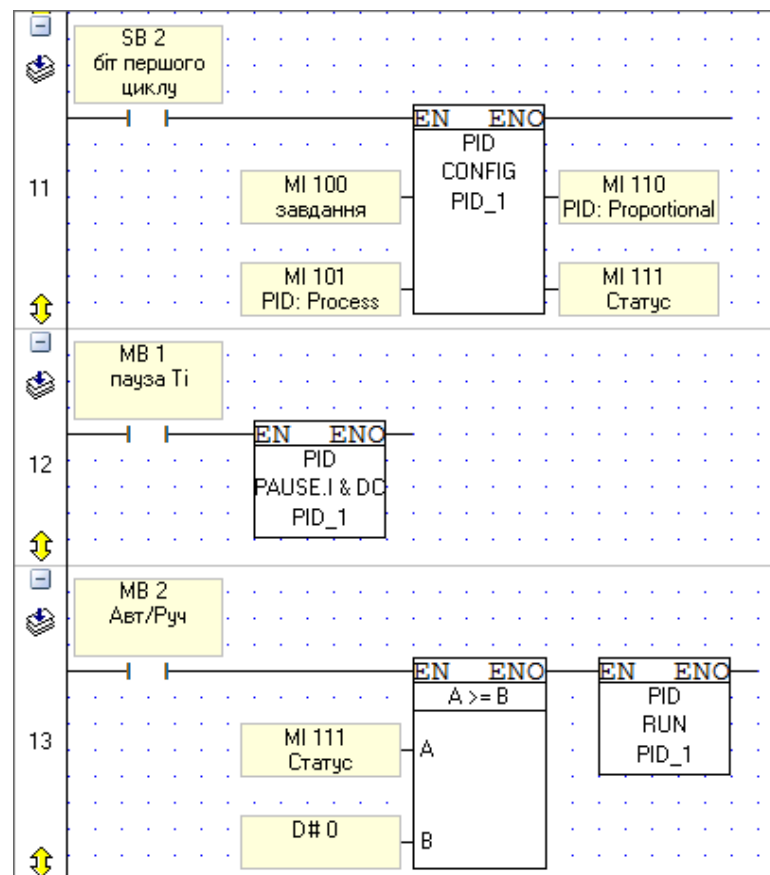


Рис. 2.10. Фрагмент програми для реалізації ПІД-регулятора

2.6. Розробка принципових електричних схем зовнішніх з'єднань

У даному пункті розглянуто принципову електричну схему зовнішніх з'єднань контролера *Unitronics V570* з локальними технічними засобами. Розглянуто підключення таких технічних засобів:

- термоперетворювачів опору 7MC 1006-4DA11 і нормуючих перетворювачів *Sitrans TH100*;
- давача рівня *Sitrans LC 500*;
- давача витрати *Sitrans FM MAGFLO*;
- давача густини *Sitrans MASSFLO 2100*;
- пневматичного сервоприводу з електро-пневматичним позиціонером *tuny SAMSON 3767*;

До аналогових входів контролера *Unitronics V570* приєднуються проводи нормуючого перетворювача *Sitrans TH100*.

До контролера *Unitronics V570* приєднано два додаткових модулі аналогових входів/виходів типу *IO-AI4-AO2* та *IO-AO6X*.

До першого модуля додаткових аналогових входів *IO-AI4-AO2* приєднано два давачі вимірювання рівня *Sitrans LC 500*, давач вимірювання витрати *Sitrans FM MAGFLO* та давач вимірювання густини *Sitrans MASSFLO 2100*.

До другого модуля додаткових аналогових виходів *IO-AO6X* приєднано п'ять пневматичних сервоприводів з електро-пневматичним позиціонером типу *SAMSON 3767*.

Живлення контролера *Unitronics V570* здійснюється напругою 24 В постійного струму, яка надходить від трансформатора змінного струму напругою 220/24 В. Він перетворює змінну напругу 220 В, в постійну напругу 24 В для живлення контролера.

Схема під'єднання технічних засобів до мікропроцесорного контролера наведена на рисунку 2.11.

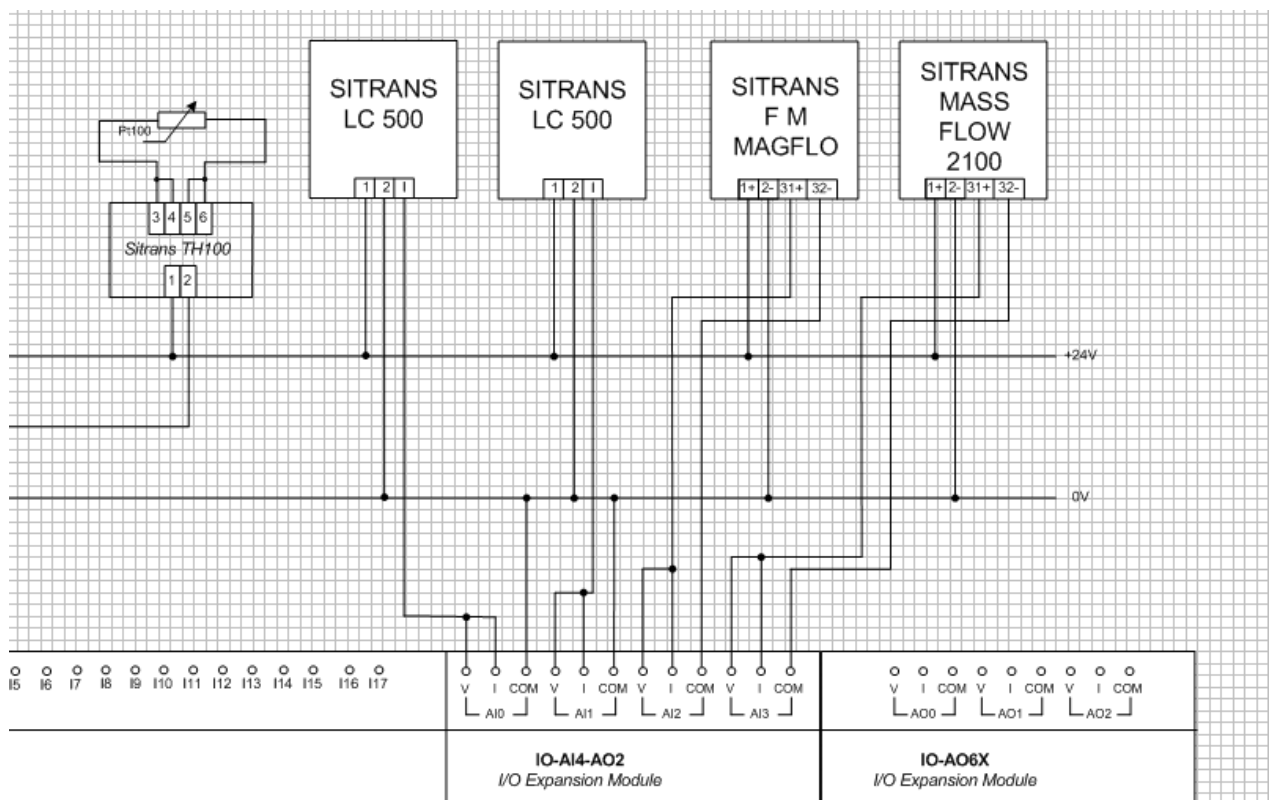


Рис. 2.11. Схема під'єднання технічних засобів до мікропроцесорного контролера *Unitronics V570*

3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання

У цьому розділі роботи розрахована система автоматичного регулювання рівня у ємності (контур № 5 на ФСА) та виконано імітаційне моделювання системи.

Відповідно до технологічної карти та регламенту технологічного процесу задаємо такі показники якості процесу регулювання:

1. Допустиме максимальне динамічне відхилення $X_{\max \text{ доп}} = 0,2 \text{ м}$.
2. Допустима похибка регулювання $\Delta_{\text{доп}} = 0,05 \text{ м}$.
3. Допустимий час регулювання $t_{\text{р доп}} = 300 \text{ с}$.
4. Ступінь коливальності $m = 0,4$.

Об'єктом регулювання (ОР) в досліджуваній системі автоматичного регулювання є значення рівня у напірній ємності. *Регульованою величиною* є рівень сірчаної кислоти, яку необхідно стабілізувати на заданому значенні. Рівень в ємності змінюється в межах від 1,95 – 2,05 м. *Регулюючою величиною*, яка впливає на рівень кислоти у ємності є зміна витрати сірчаної кислоти. *Збурююча величина* – зміна температури на вході в напірну ємність.

Для знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання було знято експериментальні криву розгону зміни значення рівня при стрибкоподібній зміні регулюючої величини на 10 %.

В таблиці 3.1 наведено дані для кривої розгону зміни значення рівня при зміні регулюючої величини на 10% .

Таблиця 3.1

Дані для кривої розгону зміни значення рівня

$t, \text{ с}$	0	40	80	120	160	200	240	280	320
$L, \text{ м}$	2	2,09	2,23	2,34	2,41	2,45	2,47	2,48	2,49
$t, \text{ с}$	360	400	440	480	520	560	600		
$L, \text{ м}$	2,495	2,498	2,499	2,499	2,5	2,5	2,5		

Математичну модель об'єкта регулювання знаходимо інженерним методом побудови моделі за експериментальною перехідною функцією. Задачі знаходження математичної моделі об'єкта за його експериментальною перехідною функцією зазвичай розв'язуються в три етапи:

1. Виходячи з характеру експериментальної кривої і приймаючи до уваги відомі взаємозалежності між передавальними функціями і перехідними функціями, вибирають передбачувану структуру моделі об'єкта регулювання і відповідну до неї передавальну функцію в загальному вигляді.

2. Знаходять числові значення параметрів моделі об'єкта за обраною методикою і отримують конкретну передавальну функцію моделі.

3. Знаходять розрахункові значення перехідної функції обраної моделі і перевіряють точність апроксимації, порівнюючи теоретичну криву з експериментальною.

Модель по каналу основної величини знаходимо у вигляді послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з однаковими сталими часу і часом запізнення. Для заданого об'єкта регулювання передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{(Tp + 1)^n}, \quad (3.1)$$

де T – стала часу; n – кількість аперіодичних ланок.

Теоретично перехідна функція для моделі (5.1) описується рівнянням

$$h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{i!} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^i. \quad (3.2)$$

З рівняння (3.2) для різних значень n і заданих значень перехідної функції можна розрахувати відношення t/T . Задаючись, що $h(t) = 0.5$ і $h(t) = 0.9$ з рівняння (3.2) можна знайти відношення t_{05}/T , t_{09}/T , де t_{05} і t_{09} – значення часу, що відповідають значенням перехідної функції $h(t_{05}) = 0.5$ і $h(t_{09}) = 0.9$, а також розрахувати значення відношення t_{05}/t_{09} . В таблиці 3.2 наведені результати таких розрахунків.

Таблиця 3.2

Значення $h(t_{05}) = 0.5, h(t_{09}) = 0.9$ і t_{05}/t_{09}

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_{05}/T	1.68	2.67	3.67	4.67	5.67	6.67	7.67	8.69	9.69
t_{09}/T	3.89	5.32	6.68	7.99	9.27	10.53	11.77	12.99	14.21
t_{05}/t_{09}	0.43	0.5	0.55	0.58	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68

За наведеними даними побудуємо нормовану криву розгону та знайдемо значення часу, що відповідають значенням перехідної функції $h(t_{05})=0,5$ і $h(t_{05})=0,9$. Нормована експериментальна крива розгону зображена на рисунку 3.1.

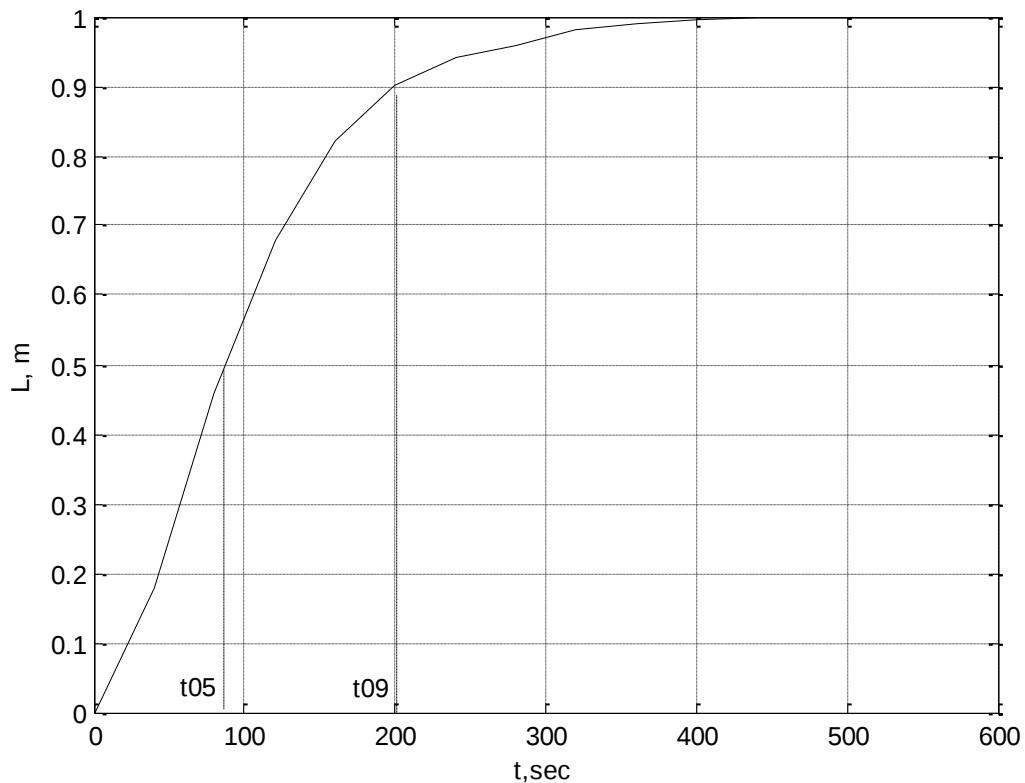


Рис. 3.1. Нормована експериментальна крива розгону об'єкта регулювання
З рисунка 3.1 визначаємо:

$$t_{05} = 87;$$

$$t_{09} = 200$$

Розраховуємо відношення $t_{05}/t_{09} = 0,435$.

Перевіряємо виконання умови $0,43 \leq t_{05}/t_{09} \leq 0,68$

Порядок математичної моделі $n = 2$.

Обчислюємо параметри передавальної функції об'єкта регулювання:

$$\frac{t_{05}}{T} = 1,68; \quad \frac{t_{09}}{T} = 3,89 \quad \rightarrow \quad T = 51,6$$

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{0,5}{10} = 0,05 \text{ м/\%}$$

Тоді передавальна функція об'єкта регулювання:

$$W_{OP}(p) = \frac{0,05}{(51,6p + 1)^2}$$

Порівнюємо експериментальну та теоретичну криву розгону об'єкта регулювання (рисунок 3.2).

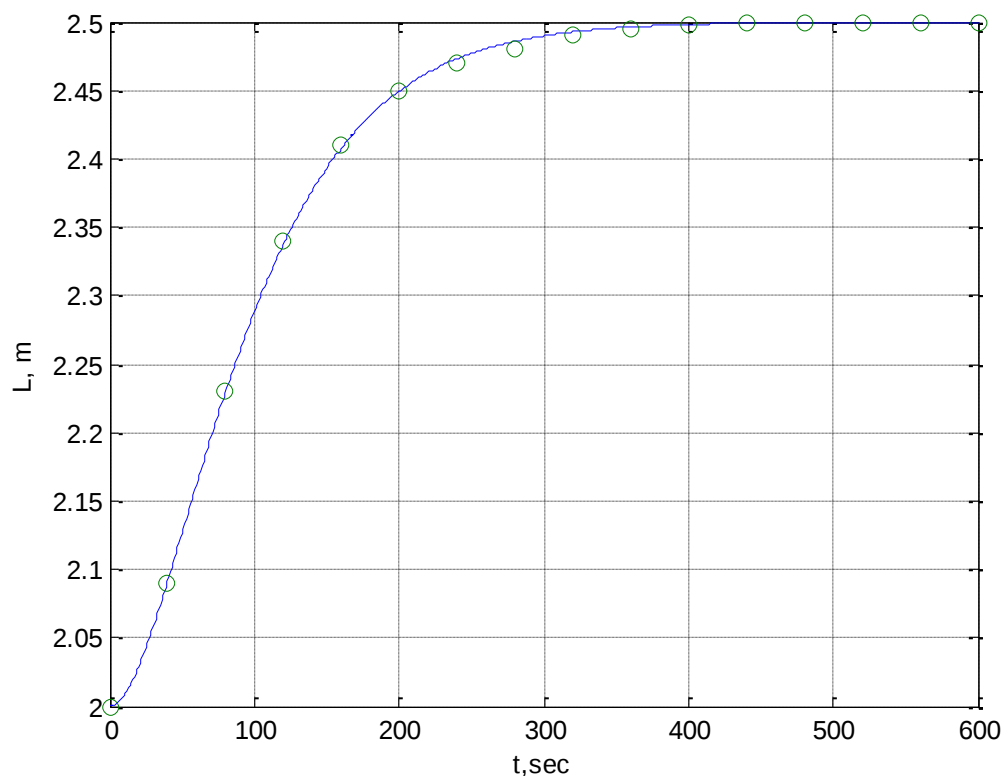


Рис. 3.2. Криві розгону об'єкта регулювання: суцільна лінія – розрахункова, точки – експериментальна

Перевірка адекватності моделі

Для об'єктів із самовирівнюванням модель вважається адекватною, якщо максимальна зведена похибка $\delta = \Delta \times 100\%$ не перевищує 5%.

Максимальне відносне відхилення теоретичної кривої розгону від експериментальної:

$$\delta = 1,64 \text{ \%}.$$

Можна зробити висновок, що оскільки зведена похибки апроксимації не перевищують 5% (становить 1,64 %), то отримана модель є адекватною заданій експериментальною кривою розгону.

3.2. Розрахунок параметрів налаштування регулятора

Розрахуємо параметри налаштування ПІ-регулятора одноконтурної системи автоматичного регулювання (САР) за допомогою методу розширених частотних характеристик .

Передавальна функція ПІ-регулятора:

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{iz} p},$$

де, k_p - пропорційна складова, $\frac{k_p}{T_{iz} p}$ - інтегральна складова.

Для розрахунку параметрів налаштування ПІ регулятора для заданого об'єкта спочатку необхідно знайти діапазон частот ω^* та ω^{**} , в яких будуть знаходитися їх оптимальні значення.

Програма для побудови розширеної фазо-частотної характеристики
:(РФЧХ) ОР в середовищі MatLab:

```
clear,clc;
m=0.4;
K=0.05;
T1=51.6;
w=[0:0.001:0.1];
p=-m.*w+i.*w;
W_op=K./(T1.*p+1).^2;
Fi_op=phase(W_op);
Fi1=-pi/2+atan(m);
Fi2=-pi;
plot(w,Fi_op,[0 0.1],[Fi1 Fi1],[0 0.1],[Fi2 Fi2]); grid;
xlabel('w,rad/c'); ylabel('Fi');
```

Результати виконання програми наведено на рисунку 3.3.

Частоти ω^* та ω^{**} :

$$\omega^* = 0,0103; \quad \omega^{**} = 0,0484.$$

В діапазоні частот від ω^* до ω^{**} проводимо розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора. За результатами розрахунку будуємо границю області запасу стійкості САР з ПІ-регулятором (див. рис.3.4).

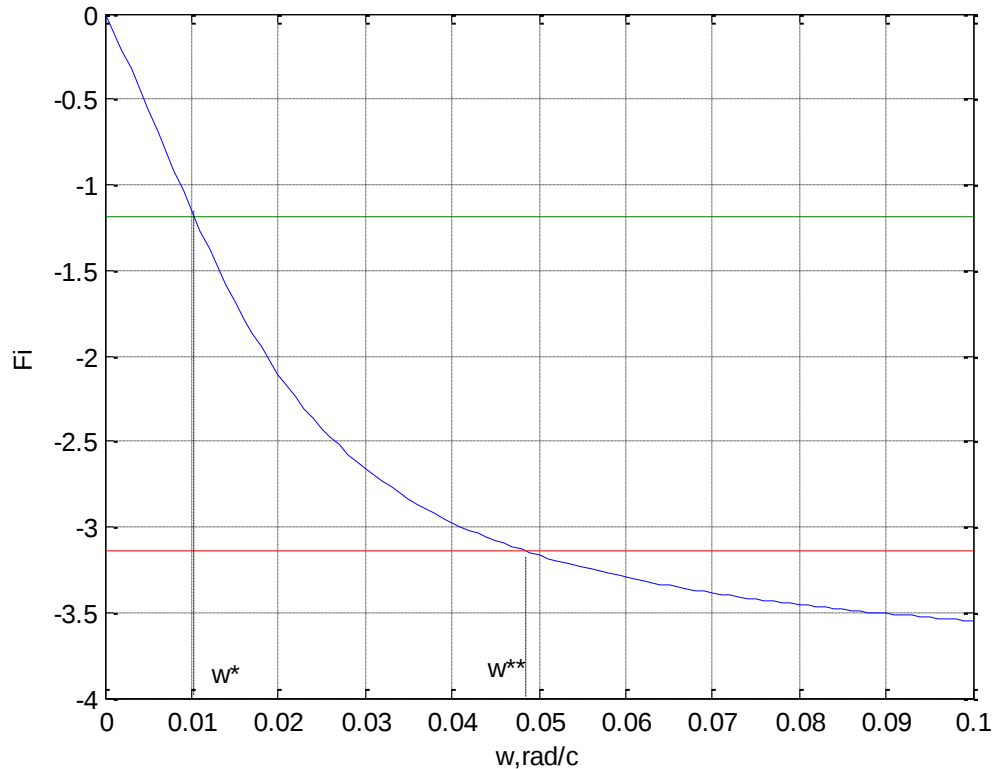


Рис.3.3. Розширена ФЧХ об'єкта регулюванн.

Програма побудови в середовищі MatLab:

```
clear,clc;
m=0.4;    K=0.05;
T1=51.6;
w=[0.0103:1e-6:0.0484];
p=-m.*w+i.*w;
W_op=K./(T1.*p+1).^2;
Fi_op=phase(W_op);
A_op=abs(W_op);
kp_Tiz=-(w.*(m.^2+1).*sin(Fi_op))./A_op;
kp=(-cos(Fi_op)-m.*sin(Fi_op))./A_op;
plot(kp,kp_Tiz,'-r',62.2,0.8325,'ok'); grid;
xlabel('kp'); ylabel('kp/Tiz');
```

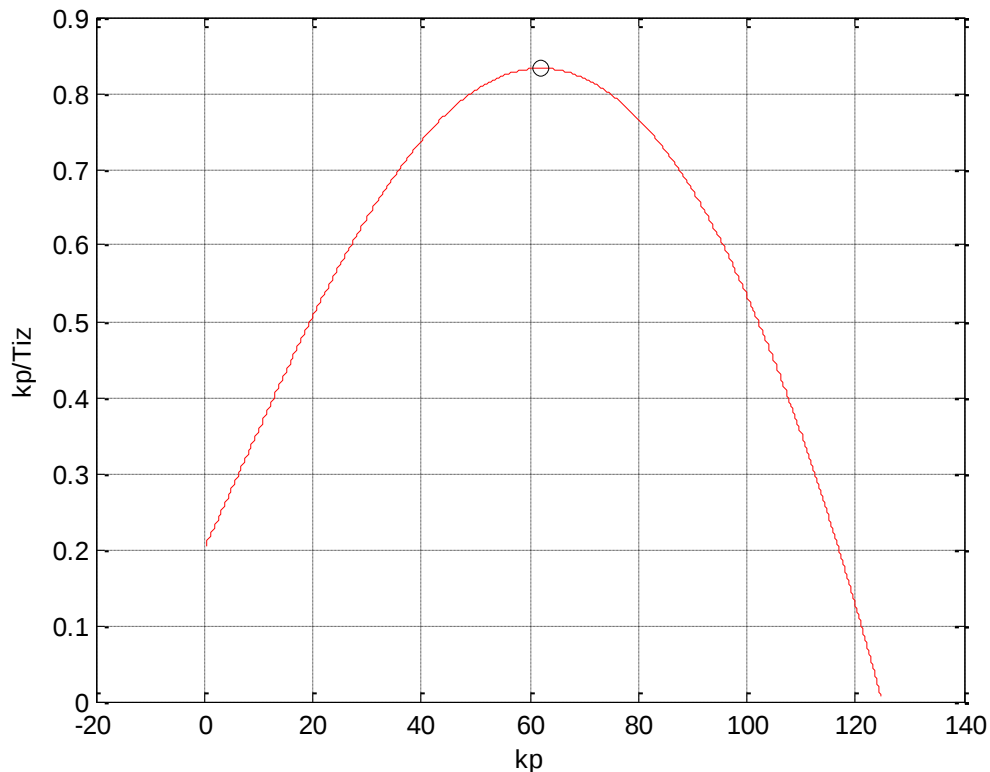


Рис.3.4. Границя області запасу стійкості для $t=0,4$.

З графіків 3.3 і 3.4 видно, що параметри налаштування ПІ регулятора та його передавальна функція у розмірній формі будуть мати вигляд:

$$K_p = 62,2 \text{ \%}/^{\circ}\text{C};$$

$$K_p / T_{iz} = 0,8325 \text{ \%}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{с}).$$

$$W_{AP}(p) = 62,2 + \frac{0,8325}{p} = 10 \cdot \left(1 + \frac{0,0134}{p}\right) = 10 \cdot \left(1 + \frac{1}{74,7 \cdot p}\right)$$

Проведемо дослідження одноконтурної САР рівня із розрахованими параметрами налаштування ПІ-регулятором. Для цього будемо структурну схему САР у середовищі Simulink. Структурна схема одноконтурної САР рівня у середовищі Simulink зображена на рисунку 3.5.

Графік перехідного процесу в одноконтурній САР із ПІ-регулятором, отриманий шляхом зміни регулюючої величини на 10 % наведено на рисунку 3.6. Показники якості процесу регулювання рівня, визначені з графіка на рисунку 3.6:

Процес №	$X_{\max}$	t_p ,
1	0,14	130

Згідно вимог до якості процесу регулювання:

- допустиме максимальне динамічне відхилення $X_{\max \text{ доп}} = 0,2 \text{ м}$.

- допустимий час регулювання $t_{p \text{ доп}} = 300 \text{ с.}$

Аналіз отриманих показників якості показує, що одноконтурна САР забезпечує вимоги до якості перехідного процесу.

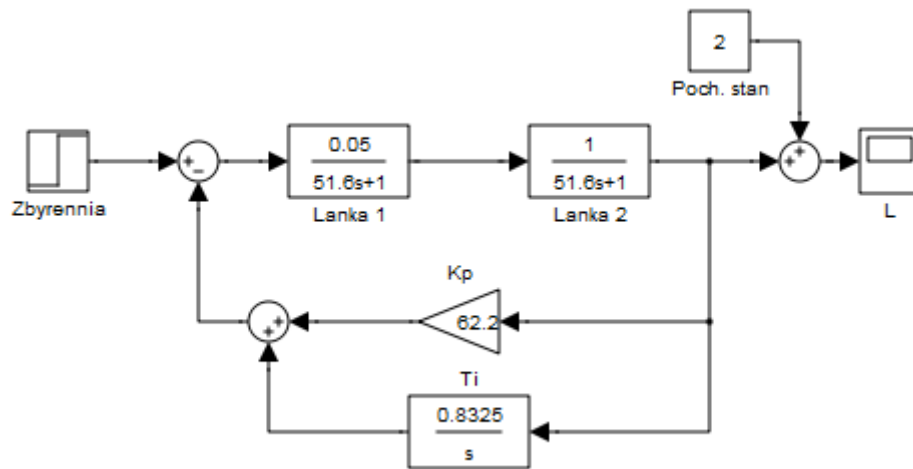


Рис.3.5. Структурна схема одноконтурної САР рівня

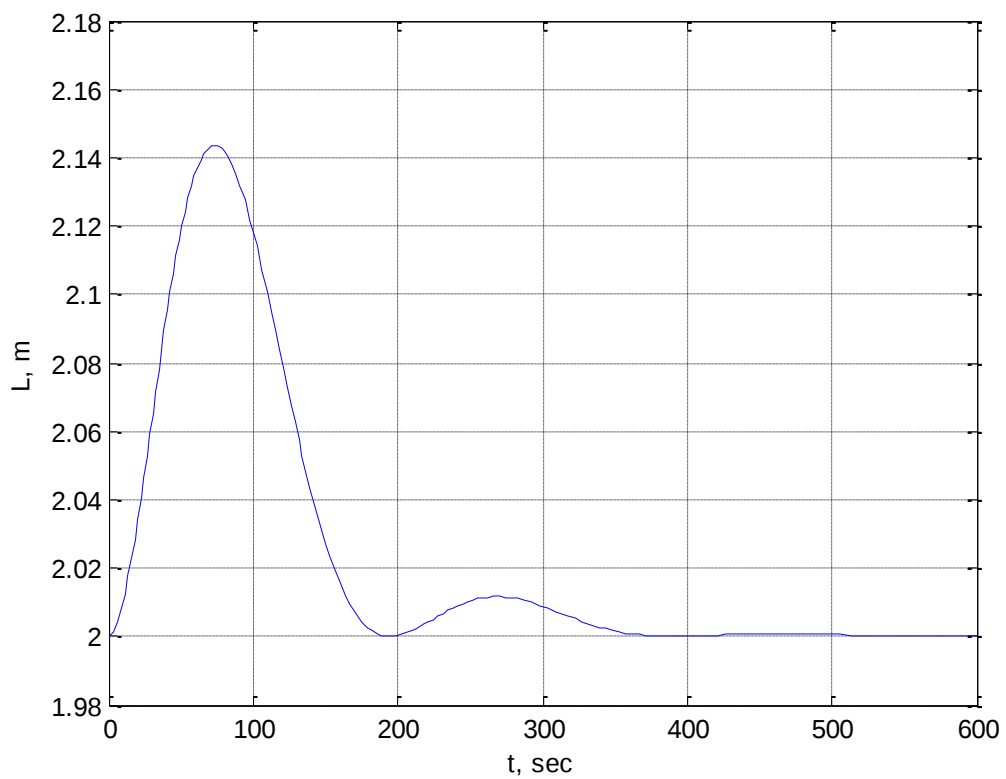


Рис.3.6. Графік перехідного процесу в одноконтурній САР із ПІ-регулятором, отриманий шляхом зміни регулюючої величини на 10 %

3.3. Дослідження перехідних процесів в САР для заданих збурень

В даній САР збуренням є зміна температури зміна температури на вході в напірну ємність. Передавальна функція каналом збурення :

$$W_{зб}(p) = \frac{0,02}{(17p + 1)^2}$$

Для дослідження перехідного процесу САР побудовано структурну схему системи з каналом збурення у середовищі Simulink. Структурна схема зображена на рисунку 3.7.

Графік перехідного процесу в САР, спричиненого зміною температури на вході в напірну ємність наведено на рисунку 3.8.

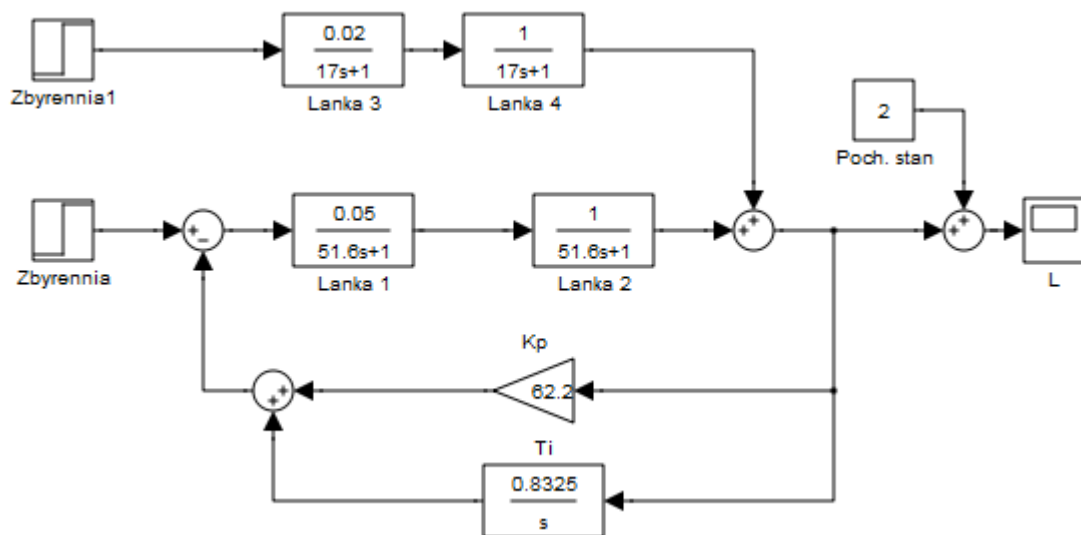


Рис. 3.7. Структурна схема для моделювання перехідного процесу САР каналом збурення

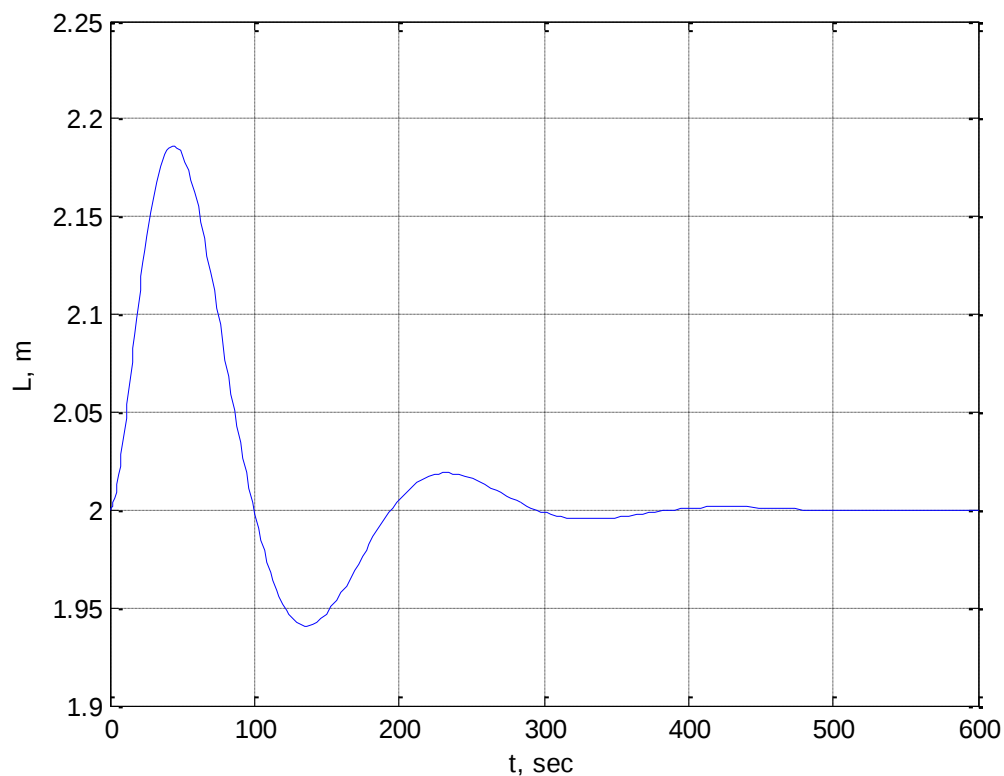


Рис. 3.8. Графік перехідного процесу в САР, спричиненого зміною температури на вході в напірну ємність

Виконаємо також дослідження САР при зміні заданого значення рівня у ємності на 0,5 м. Для цього побудуємо структурну схему у середовищі Simulink (рисунок 5.9). Результати дослідження наведено на рисунку 3.10.

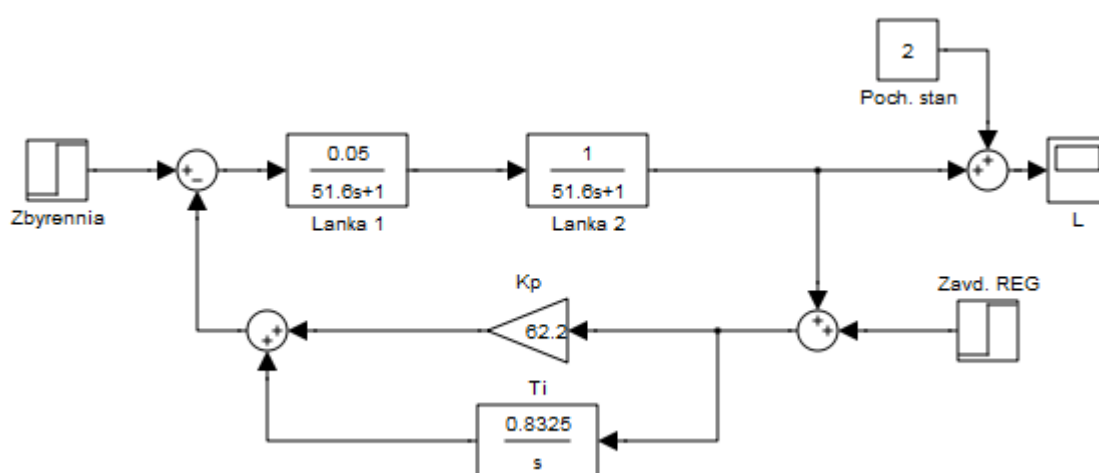


Рис. 3.9. Структурна схема САР при зміні заданого значення рівня

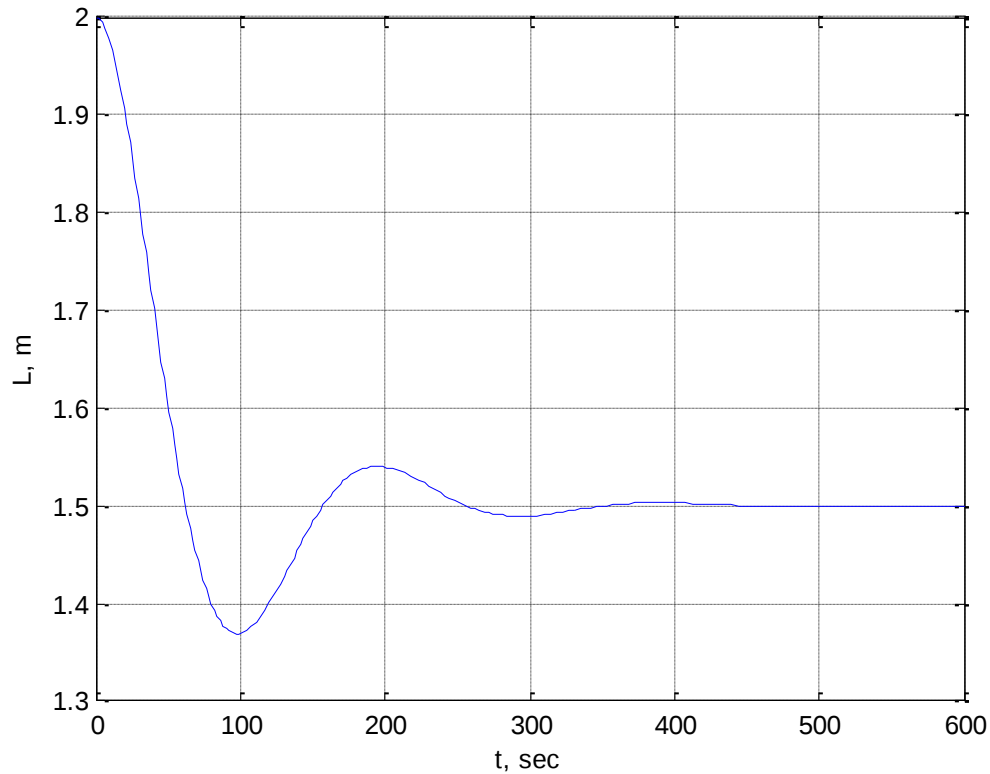


Рис.3.10. Перехідний процес в САР, отриманий зміною заданого значення рівня на 0,5 м

. З отриманих перехідних процесів, наведених на рисунках 3.8 та 3.10) визначаємо, чи в даній САР забезпечуються вимоги до якості процесу регулювання.

Таблиця 3.3

Показники якості процесу регулювання

Процес	$X_{\max}$	t_p , с
Каналом збуренням	0,18	150
Зміною завдання регулятора	0,13	135

Згідно вимог до якості процесу регулювання:

- допустиме максимальне динамічне відхилення $X_{\max \text{ доп}} = 0,2$ м;
- допустимий час регулювання $t_{p \text{ доп}} = 300$ с.

Аналізуючи отримані показники якості робимо висновок, що одноконтурна САР забезпечує вимоги до якості перехідного процесу.

3.4. Опис функціональної схеми автоматизації

На основі опису технологічного процесу складемо функціональну схему автоматизації. Дана система буде мати 5 контурів регулювання, які стабілізують такі параметри технологічного:

1. Витрата пульпи.
2. Густина пульпи.
3. Температура пульпи.
4. Рівень води в напірній ємності.
5. Рівень сірчаної кислоти в ємності

• *Контур регулювання витрати пульпи*

До стабілізації витрати висуваються доволі жорсткі вимоги. Номінальна витрата $F_{\text{ном}}$ становить 2,8 кг/с. Підвищення витрати пульпи не допускається, оскільки це буде призводити до погіршення показників якості суперфосфату, тобто концентрація оксиду фосфору зменшиться.

Витрата в трубопроводі вимірюється електромагнітним витратоміром фірми Siemens MAGFLO (давач MAG 1100, перетворювач MAG 5000), далі сигнал подається на мікропроцесорний контролер Unitronics Vision V570. В ньому формується аналоговий сигнал для зміни положення регулюючого клапану (SAMSON 3251) на лінії подачі пульпи. Для керування регулюючим клапаном застосовано пневматичний сервопривід з електро-пневматичним позиціонером типу SAMSON 3767.

• *Контур регулювання густини пульпи*

Вимірювання густини в трубопроводі виконується за допомогою масового витратоміра фірми Siemens MASSFLO давач витрати MASS 2100, перетворювач в уніфікований сигнал MASS 6000). Уніфікований вихідний сигнал подається на мікропроцесорний контролер Unitronics Vision V570, в ньому формується аналоговий сигнал для зміни положення регулюючого клапану (SAMSON 3251). Для керування клапаном застосовано пневматичний сервопривід з електро-пневматичним позиціонером типу SAMSON 3767.

- *Контур регулювання температури пульпи*

Для вимірювання температури застосовано термоперетворювач опору платиновий SITRANS T з HCX Pt100 та перетворювач в уніфікований сигнал SITRANS TH200. Цей сигнал подається на мікропроцесорний контролер Unitronics Vision V570, в якому формується аналоговий вихідний сигнал для зміни положення регулюючого клапану (SAMSON 3251). Для керування клапаном застосовано пневматичний сервопривід з електро-пневматичним позиціонером типу типу SAMSON 3767.

- *Контур регулювання рівня води в напірній ємності*

Для вимірювання рівня води у ємності застосовано ємнісний рівнемір фірми Siemens, серії Sitrans LC 500. Вихідний сигнал якого подається на мікропроцесорний контролер Unitronics Vision V570. В ньому формується аналоговий сигнал для зміни положення регулюючого клапану (SAMSON 3251). Для керування клапаном застосовано пневматичний сервопривід з електро-пневматичним позиціонером типу типу SAMSON 3767.

- *Контур регулювання рівня сірчаної кислоти в ємності*

Для вимірювання рівня сірчаної кислоти в ємності застосовано ємнісний рівнемір фірми Siemens, серії Sitrans LC 500, Вихідний сигнал з рівнеміра подається на мікропроцесорний контролер Unitronics Vision V570. В ньому формується аналоговий сигнал для зміни положення регулюючого клапану (SAMSON 3251). Для керування клапаном застосовано пневматичний сервопривід з електро-пневматичним позиціонером типу типу SAMSON 3767.

3.5. Специфікація на засоби автоматизації

Специфікація на засоби автоматизації наведена в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ позиції	Технологічний параметр, його номінальне значення	Місце встановлення	Назва та коротка технічна характеристика	Тип	К-ть
1	2	3	4	5	6	7
1	1-1	Витрата в трубопроводі 2,8 кг/с	По місцю	Магнітно-індуктивний вимірювальний давач витрати. Діаметр $D_N=50$ мм. Допустима температура: $-20...150^{\circ}\text{C}$.	SIEMENS MAGFLO MAG 1100	1
2	1-2	Витрата в трубопроводі	По місцю	Вимірювальний перетворювач для магнітно-індуктивний витратомірів. Виходи: 1 струмовий(4-20 мА), 1 цифровий, 1 релейний, основна похибка 0,25%.	SIEMENS MAGFLO MAG 6000	1
3	2-1	Густина пульпи в трубопроводі 1,35 г/см ³	По місцю	Вимірювальний давач витрати. Діаметр $D_N=25$ мм. Допустима темп.: $-50-180^{\circ}\text{C}$. Діапазон вимірювання: 0,1 – 2,9 г/см ³ .	SIEMENS MASSFLO MASS 2100	1
4	2-2	Густина пульпи в трубопроводі	По місцю	Вимірювальний перетворювач для витратомірів. Виходи: 1 струмовий(4-20 мА), 1 цифровий, 1 релейний, основна похибка 0,25%.	SIEMENS MASSFLO MASS 6000	1
5	3-1	Температура пульпи 110°C	На трубопроводі	Термоперетворювач опору платиновий, вибухозахищений номінальна статична характеристика Pt100; діапазон вимірювання $-50...+600^{\circ}\text{C}$; клас допуску В.	SITRANS T	1

6	3-2	Температура пульпи	По місцю	Перетворювач температури Вихідний уніфікований струмовий сигнал 4-20мА; Максимальний діапазон вимірювання -200...+850 °С; Абсолютна похибка 0,1°С;	SITRANS TH200	1
7	4-1, 5-1	Рівень води в напірній ємності 2 м; рівень сірчаної кислоти 2 м.	По місцю	Ємнісний рівнемір. Діапазон вимірювання: 0,1-5,5 м. Точність вимірювання: 0,1% від вимірюваного значення величини. Вихідний сигнал: 4-20 мА, основна похибка 0,5 %.	SIEMENS Sitrans LC 500	2
8	1-3, 2-3, 3-3, 4-2, 5-2.		По місцю	Електро-пневматичний позиціонер типу 3767. Вхідний сигнал 4-20 мА.	Samson 3767	5
9	1-4, 2-4, 3-4, 4-3, 5-3.		По місцю	Пневматичний регулюючий клапан типу 3251 з пневматичним сервоприводом 3277 і/р. Тиск живлення: 4-6 бар.	Samson 3277, 3251	5
10				Мікропроцесорний контролер	Unitronics Vision V570	1
11				Додатковий модуль аналогові входи: 4; аналогові виходи: 2.	IO-AI4-AO2	1
12				Додатковий модуль аналогові входи: 6.	IO-AO6X	1

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розробляється автоматизація процесу виробництва суперфосфату. Щоб забезпечити оптимальне та безаварійне протікання технологічного потрібно проводити контроль за технологічним процесом та обладнанням, забезпечити сигналізацію та дотримуватись усіх заходів з охорони праці.

Потенційні небезпечні та шкідливі фактори, що можуть загрожувати здоров'ю робітникам, які працюють на об'єкті:

- Небезпека аварії та вибуху у разі підвищення тиску в апаратах.
- Запиленість приміщення, оскільки технологічний процес базується на утворенні пилу, що може викликати антракоз.
- Недостатня кількість освітлення приміщень, а особливо біля пульта оперативного керування, що може призвести до погіршення зору;
- У разі пошкодження ізоляції кабелів або при неправильному заземленні існує можливість ураження електричним струмом.
- Дія шумових та вібраційних факторів на робітників, що може призвести до порушення здоров'я.
- Дія термічних факторів (надмірний або недостатній нагрів виробничих і операторських приміщень);
- Погіршення здоров'я оператора, внаслідок тривалої роботи за комп'ютером.
- Можливі травми та пожежонебезпека у разі недотримання правил техніки безпеки.

4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Згідно статті 13 закону України про охорону праці «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», третього розділу «Організація охорони праці», роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному

підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Згідно статті 6 закону України про охорону праці «Права працівників на охорону праці під час роботи», другого розділу «Гарантії прав на охорону праці», умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

А відповідно до статті 8 закону України про охорону праці «Забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкроджувальними засобами» на роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкроджувальні засоби.

Норми виробничого мікроклімату регламентують державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6-042-99.

Показниками, що характеризують мікроклімат є температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря та теплове навантаження.

Оптимальними вважаються такі умови праці, при яких буде найвища працездатність і хороше самопочуття.

Приміщення повинні бути достатньо освітлені, вдень по максимуму природним світлом, а в нічний та в вечірній часи електричним освітленням. Освітленість повинна відповідати нормативним значенням за ДБНВ 2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Вентиляційна система повинна відповідати передбаченим нормативам, створювати на робочих місцях нормальні метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища, що відповідає діючим санітарним нормам.

Електробезпека на виробництві забезпечується відповідною конструкцією

електроустановок; застосуванням технічних засобів і засобів захисту, організаційними та технічними заходами, граничні величини шуму на робочих місцях та рівень вібрації на виробництві регламентуються згідно чинних нормативних документів.

Пожежобезбека повинна відповідати будівельним нормам ДБН В 2.5-13-98 «Пожежна автоматика будинків і споруд». Однією з умов успішного використання вогнегасників є виконання правил розміщення вогнегасників на об'єкті.

Техніка безпеки являє собою комплекс технічних і організаційних заходів, які спрямовані на попередження обслуговуючого персоналу від травматизму, шкідливого впливу, які викликані умовами праці.

Приміщення підприємства повинні розміщатись відповідно до вимог, затверджених у встановленому порядку будівельних норм і правил, санітарних і протипожежних норм проектування.

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, подання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих. Керівники підприємств в свою чергу зобов'язані забезпечити своєчасне і якісне проведення інструктажу робітників по безпечним прийомам і методам роботи, які регулярно проводяться на всіх підприємствах незалежно від ступеня небезпеки підприємств. Після навчання весь персонал повинен здати іспити по техніці безпеки.

З метою визначення здатності персоналу по стану здоров'я займатися обслуговуванням, ремонтом, перевіркою систем вимірювання і автоматизації всі робітники повинні пройти медичний огляд згідно статті 17 закону України про охорону праці «Обов'язкові медичні огляди працівників певних категорій», який роботодавець зобов'язаний забезпечити за свої кошти. Повторні періодичні медичні огляди проводяться не рідше одного разу на рік.

Вентиляція та опалення

Необхідно, щоб повітря робочої зони виробничих приміщень відповідало вимогам ДСН 3.3.6.042-99.

Під час перевищення у приміщеннях норм концентрації шкідливих газів і пилу, що передбачаються санітарними нормами, необхідно негайно вивести людей в безпечну зону та вжити заходів щодо ліквідації загазованості та запиленості повітря.

Для локалізації пиловиділень необхідно передбачати герметизацію та аспірацію устаткування, застосування зволоження, сигналізацію про відхилення основних параметрів, регулярне прибирання приміщень.

Всмоктуючі та видувні отвори вентиляторів повинні бути загороджені решітками. Відбір зовнішнього повітря не повинен виконуватись на висоті менше ніж 2 м від землі і в місцях, забруднених різними шкідливими речовинами. Для опалення приміщень повинні бути передбачені системи, теплоносії і пристрої, які не створюють додаткових виробничих шкідливих факторів. Температура повітря в приміщеннях в холодну пору року не повинна бути нижче 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C при роботі середньої важкості і 8°C при тяжкій роботі.

Вібрації та шум

Рівні вібрації та шуму, що впливають на працівників, повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України. Вентилятори, димососи, повітродувки, рівні шуму яких перевищують допустимі норми, необхідно розташовувати у звуко ізолювальних камерах або у звуко ізолювальних кожухах (укриттях), обладнувати глушниками шуму з боку всмоктування та нагнітання, а також засобами віброізоляції, що запобігають передачі вібрацій трубопроводам і фундаментам.

В даному процесі шумові характеристики можуть перевищувати гранично допустимі норми, тому їх необхідно оснащувати засобами зниження шуму або розміщувати у звуко ізолювальних боксах, або ж ізолювати звуко ізолювальними

перегородками або екранами. Операторські пункти повинні також бути звукоізованими. Для усунення шкідливого впливу на працівників підвищеного рівня шуму повинні застосовуватись засоби індивідуального захисту.

Освітлення

Робоче освітлення повинно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість і яскравість відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд» та ДБН В.2.5-28-2006 «Природне штучне освітлення». Джерела живлення аварійного освітлення повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів.

Налаштування, монтаж і експлуатація силового та освітлювального устаткування необхідно згідно чинних нормативно-правових актів.

Показники освітлення території підприємства, допоміжних приміщень і робочих місць у цехах повинні відповідати встановленим нормам.

У структурних підрозділах підприємства необхідно застосовувати робоче, аварійне та евакуаційне освітлення.

Робоче освітлення повинно забезпечувати освітленість і яскравість на робочих поверхнях не нижче нормативної. Аварійним освітленням необхідно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість не менше 5% від нормативної, установленної для цих поверхонь. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість на підлозі основних шляхів пересування працівників, на східцях сходів не менше 3 лк (люксів). Оскільки маємо справу з виробництвом суперфосфату, де можливе накопичення пилу, системи електроосвітлення повинні бути зроблені у вибухобезпечному виконанні.

Миття вікон повинне проводитись не рідше ніж 4 рази в рік.

Ергономічні вимоги

Ергономічні вимоги до робочих місць під час виконання робіт у сидячому положенні повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів. На постійному робочому місці оператора за пультом або щитом повинні бути регульовані крісла з підлокітниками, з опорою для спини та з підставкою для ніг.

Заходи безпеки

У приміщеннях з підвищеним пило виділенням електропроводка та електропускові пристрої необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечувалася можливість вологого прибирання приміщень. В електромашинних приміщеннях необхідно передбачати прибирання пилу з електроустаткування пилососом.

Органи керування на пульті та на щиті повинні розташовуватись в послідовності запуску і зупинки обладнання.

Кнопки запуску повинні бути втоплені на 3-5 мм за габарити пускової коробки, а кнопки зупинки повинні бути червоного кольору і виступати на 3 мм.

Органи керування на пульті або на щиті повинні розташовуватись на відстані не більше ніж 800 мм від вертикальної осі сидіння.

Електричні прилади та щити необхідно заземлювати відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів. Контрольно-вимірювальні прилади повинні освітлюватися відповідно до норм освітленості.

Стан і робота приладів, засобів автоматизації, сигналізації, дистанційного керування та пристроїв захисних блокувань повинні постійно контролюватися.

Регулювання та ремонт приладів і засобів автоматизації повинні виконувати тільки працівники служби контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

На всіх засобах вимірювання, що контролюють граничні значення параметрів технологічного процесу, червоною фарбою повинні помічатися гранично допустимі значення параметра, що вимірюється.

Устаткування перед пуском у роботу необхідно перевіряти на його безпечність під час роботи на ньому, наявності та цілісності огорож, надійності дії пускових і гальмівних пристроїв, заземлення, справності запобіжних кожухів, справності ізоляції, сигналізації пуску та зупинки, автоблокування.

У разі виявлення несправностей або недоліків у забезпеченні безпечної експлуатації устаткування робота на ньому повинна бути негайно припинена.

Органи аварійного виключення (кнопки, важелі) повинні бути червоного кольору, мати покажчики їхнього розташування, написи про призначення.

Загальні вимоги до технологічного процесу

Кінцева якість готового продукту може піддаватися значним коливанням, тому для уникнення цього необхідне розроблення нової системи автоматизації, яка усуне вказані недоліки. Технологічні апарати необхідно розташовувати в окремому приміщенні та відділяти від інших дільниць цеху капітальними шумоізолювальними стінами. Відстань між габаритами обладнання необхідно брати не менше, ніж 5м, а між стіною та обладнанням - не менше 2 м.

Перед пуском обладнання необхідно переконатися в надійності та справності огорож, надійності кріплення технологічного обладнання, готовності до роботи всіх складових процесу, відсутності працівників у небезпечній близькості від обладнання. Проходи біля обладнання повинні бути захищені зверху і збоку металевою сіткою. Для проведення ремонтних робіт, підйому кришок люків для завантаження реагентів в приміщенні мають бути встановлені вантажопідйомні машини.

Експлуатація обладнання при несправних і відключених пиловловлюючих і аспіраційних системах забороняється. При зупинці технологічного обладнання на ремонт або огляд, електродвигуни приводів мають бути від'єднані від електромережі, запобіжники вийняті з електророзподільних пристроїв, муфти роз'єднані, а на пускові пристрої вивішений заборонний знак безпеки з пояснюючим написом: «Не вмикати — працюють люди».

4.3. Пожежна безпека

Виробництво мінеральних добрив, зокрема суперфосфату, пов'язане з використанням хімічних речовин, що за певних умов можуть бути джерелом займання або спричинити вибухонебезпечні ситуації. У зв'язку з цим питання забезпечення пожежної безпеки має першочергове значення на всіх етапах технологічного процесу, включаючи проєктування системи автоматизації.

Під час автоматизації виробництва суперфосфату на базі контролера Unitronics Vision V570 передбачено низку технічних і організаційних заходів для

запобігання пожежам та забезпечення надійної роботи обладнання в умовах потенційно небезпечного середовища:

- Електробезпека та іскрозахист. Контролери Vision V570 розміщуються в герметичних електрошкафах з відповідним рівнем захисту (не нижче IP65), що запобігає проникненню пилу, вологи та агресивних газів. За потреби застосовується додаткове іскрозахищене обладнання у вибухонебезпечних зонах, відповідно до вимог ДСТУ EN 60079.

- Застосування автоматичних засобів виявлення аварійних ситуацій. В системі передбачено підключення датчиків температури, диму та витоку газів до цифрових входів ПЛК. У разі перевищення допустимих значень система переходить в аварійний режим, зупиняє подачу реагентів та надсилає сигнал оператору.

- Програмні механізми захисту. Логіка управління, реалізована в середовищі VisiLogic, включає аварійні сценарії, що забезпечують блокування технологічного обладнання (механізмів змішування, транспортування, дозування) у разі виявлення небезпеки. Також реалізована функція зупинки системи за натисканням аварійної кнопки (Emergency Stop).

- Сумісність з пожежною сигналізацією. Система автоматизації інтегрується з загальноцеховою пожежною сигналізацією та може забезпечувати передачу аварійних повідомлень на центральний пункт спостереження або через GSM/Email-канали зв'язку.

- Регламентовані заходи пожежної безпеки. Персонал, що обслуговує автоматизовану систему, проходить навчання з пожежної безпеки та інструктажі згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016 та наказами ДСНС. На території виробництва встановлено первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, пісок, азбестові покривала тощо), розроблено план евакуації.

Загалом реалізація автоматизованої системи управління із застосуванням контролерів Unitronics Vision V570 дозволяє не лише підвищити ефективність виробничого процесу, але й забезпечити високий рівень техногенної безпеки, що відповідає сучасним нормативним вимогам.

5. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Проектування та впровадження системи автоматизації процесу виробництва суперфосфату на підприємстві ПРАТ "Рівнеазот" із застосуванням програмованого логічного контролера Unitronics Vision V570 та сучасних засобів вимірювання і регулювання забезпечує низку технологічних та економічних переваг. Основною метою є підвищення ефективності технологічного процесу, зменшення втрат сировини, забезпечення стабільності продукції та зниження енергетичних витрат. Також автоматизація дозволяє зменшити залежність від людського фактору, зменшити кількість аварійних ситуацій та покращити умови праці персоналу.

Таблиця 5.1.

Деталізація витрат на вимірювальні прилади та контролери

№	Найменування обладнання	Тип	Орієнтовна вартість за одиницю, грн	Кількість	Загальна вартість, грн
1	Магнітно-індуктивний витратомір DN50	SIEMENS MAGFLO MAG 1100	70 000	1	70 000
2	Перетворювач для MAG 1100	SIEMENS MAGFLO MAG 6000	45 000	1	45 000
3	Масовий витратомір DN25	SIEMENS MASSFLO MASS 2100	95 000	1	95 000
4	Перетворювач для MASS 2100	SIEMENS MASSFLO MASS 6000	60 000	1	60 000
5	Термоперетворювач Pt100 вибухозахищений	SITRANS T	18 000	1	18 000
6	Перетворювач температури	SITRANS TH200	9 000	1	9 000
7	Ємнісний рівнемір	SIEMENS Sitrans LC 500	38 000	2	76 000
8	Електро-пневматичний позиціонер	Samson 3767	22 000	5	110 000
9	Пневматичний регулюючий клапан з сервоприводом	Samson 3277, 3251	40 000	5	200 000
10	ПЛК із сенсорним екраном	Unitronics Vision V570	28 000	1	28 000
11	Модуль аналогових входів/виходів	IO-AI4-AO2	6 500	1	6 500
12	Модуль аналогових входів	IO-AO6X	6 500	1	6 500
	Разом:				744 000 грн

Ціни наведено за орієнтовною ринковою вартістю станом на 2025 рік і можуть коливатися в залежності від постачальника, курсу валют та умов доставки. Для зменшення витрат можлива закупівля деяких компонентів в альтернативних постачальників або через офіційні тендери.

Загальна вартість комплексу обладнання залежить від комерційних цін постачальників, але умовно оцінюється в межах:

- Вимірювальні прилади та контролери — $\approx 600\text{--}700$ тис. грн
- Монтажні роботи, прокладка кабельних ліній, монтаж шафи — $\approx 100\text{--}150$ тис. грн
- Послуги інженерів (налаштування, програмування, пусконаладження) — $\approx 80\text{--}100$ тис. грн
- Додаткові матеріали (кабелі, з'єднувачі, фільтри тощо) — $\approx 20\text{--}30$ тис. грн

Сумарна оцінка витрат: приблизно 900–1 000 тис. Грн.

Після впровадження автоматизованої системи очікуються наступні позитивні економічні ефекти:

- Зниження втрат сировини за рахунок точного дозування і регулювання витратних потоків – до 5–7% економії на рік.
- Оптимізація споживання енергії через раціональне керування насосами, мішалками та підігрівом – до 10–12% економії енергоресурсів.
- Зменшення кількості аварійних ситуацій, що спричиняють зупинки виробництва.
- Скорочення чисельності обслуговуючого персоналу на зміні на 1–2 особи, що дає $\approx 300\text{--}400$ тис. грн/рік економії на зарплатах.
- Підвищення якості продукції, що зменшує витрати на переробку некондиційної продукції або рекламації.

Оцінимо щорічну економію:

- Економія сировини: 250 тис. грн
- Економія енергії: 150 тис. грн
- Економія на персоналі: 350 тис. грн
- Разом: ≈ 750 тис. грн/рік

Строк окупності = $1\,000\,000 / 750\,000 \approx 1,33$ року

Запропонована система автоматизації процесу виробництва суперфосфату є економічно доцільною. Завдяки оптимізації технологічного процесу, точному контролю параметрів і зменшенню людського фактору досягається швидка окупність проєкту (приблизно за 13–16 місяців) та подальше зниження операційних витрат. Впровадження автоматизації також підвищує загальну конкурентоспроможність підприємства на ринку мінеральних добрив.

ВИСНОВОК

В роботі було досліджено технологічний процес виробництва суперфосфату та автоматизацію цього процесу.

Технологічний процес виробництва суперфосфату зводиться до розкладання природних фосфатів сірчаної кислотою. Показником ефективності процесу розкладання природних фосфатів сірчаної кислотою є коефіцієнт розкладання, який визначає ступінь переходу нерозчинної форми фосфору в його розчинну форму. Значення коефіцієнт розкладання необхідно підтримувати максимальним.

Основними вхідними параметрами є витрати ключових компонентів: води (F_v), пари (F_p), сірчаної кислоти ($F_{с.к.}$) та сировини — природного фосфату ($F_{сир.}$). Ці параметри безпосередньо регулюються автоматизованою системою за допомогою витратомірів, регулюючих клапанів і виконавчих механізмів. Зокрема, витрата сірчаної кислоти та фосфату визначає хімічну рівновагу процесу, а витрата води й пари — теплові умови реакції, що впливають на швидкість і повноту розкладання фосфатів.

Збурюючі параметри — температура води (T_v), температура пари (T_p) і концентрація сірчаної кислоти (C_k) — є змінними, які не завжди піддаються прямому керуванню. Вони можуть коливатися внаслідок зовнішніх умов (наприклад, зміни температури теплоносіїв) або нестабільності вхідної сировини. Ці фактори впливають на стабільність процесу та якість кінцевого продукту. З метою компенсації таких збурень система автоматизації реалізує функції зворотного зв'язку та корекції режимів роботи обладнання.

Вихідними величинами, що характеризують ефективність та якість процесу, є продуктивність (Q) — тобто кількість суперфосфату, що виробляється за одиницю часу, та концентрація готового продукту ($C_{сф}$). Саме ці показники є ключовими для оцінки оптимальності технологічного режиму. На їх підтримання в заданих межах спрямоване управління всією системою: коригується витрата реагентів, підбір температурних режимів, тиск пари тощо.

Засвоївши принципи побудови та програмування систем автоматизації з використанням мікропроцесорних засобів, було розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації процесу виробництва суперфосфату та вибрано необхідні засоби автоматизації. Запропонованою схемою автоматизації передбачено такі основні контури регулювання:

1. Контур регулювання витрати вхідної сировини (гранул природного фосфату).
2. Контур регулювання витрати пульпи.
3. Контур регулювання температури пульпи.
4. Контур регулювання густини пульпи.
5. Контур регулювання рівня води в напірній ємності.
6. Контур регулювання рівня сірчаної кислоти в ємності.

Для всіх контурів автоматизації було підібрано відповідні первинні вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми. Витрату води та кислот вимірюють електромагнітні витратоміри Siemens (давач MAG 1100, перетворювач MAG 5000) з живленням 24 В, діаметром DN50, точністю $\pm 0.5\%$ і стандартним аналоговим сигналом. Температуру контролюють платинові термоперетворювачі Pt100 типу SITRANS T з нормуючим перетворювачем SITRANS TH200, які мають широкий діапазон температур (до $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$), клас точності В та аналоговий вихід 4–20 мА. Для контролю рівня в ємностях застосовано ємнісні рівнеміри Siemens Sitrans LC 500 з діапазоном до 5,5 м і точністю $<0,1\%$. Регулювання потоку реалізується через клапани SAMSON 3251 із сервоприводами SAMSON 3277 та електропневматичними позиціонерами SAMSON 3767, що працюють у діапазоні 4–6 бар та реагують на аналоговий сигнал 4–20 мА.

Розроблено програму функціонування вибраного мікропроцесорного контролера Unitronics Vision V570 та принципову електричну схему зовнішніх з'єднань мікропроцесорного контролера із обраними засобами автоматизації. Застосування автоматичного регулювання із застосуванням мікропроцесорної техніки дає змогу скоротити витрати матеріальних та енергетичних ресурсів,

покращити показники якості готового продукту та зменшити вплив людського фактору на протікання процесу.

Розроблено математичну модель САР рівня у ємності з сірчаною кислотою (контур № 5 на ФСА). На основі кривої розгону, знятої при зміні регулюючої дії на 10 % було реалізовано математичні моделі об'єкта регулювання.

Функція передачі об'єкта регулювання рівня в ємності з кислотою:

$$W_{OP}(p) = \frac{0,05}{(51,6p + 1)^2}$$

Маючи функцію передачі об'єкта регулювання і вимоги до якості процесу регулювання було розраховано оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора для одноконтурної САР.

- передавальна функція ПІ-регулятора в одноконтурній САР

$$W_{AP}(p) = 62,2 + \frac{0,8325}{p}$$

Проводилося моделювання САР при зміні регулюючої дії на 10%, зміні завдання регулятора та при наданні збурення каналом збурення.

Проведено розрахунок та моделювання системи регулювання рівня в ємності з сірчаною кислотою. Дослідивши перехідний процес в САР із оптимальними параметрами налаштування ПІ-регулятора зроблено висновок, що ПІ-регулятор забезпечує необхідні показники якості перехідного процесу відповідно до вибраних критеріїв якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Лящук О.Л. - Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.-344 с.
3. Безвесільна О.М., Толочко Т.О. "Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник". – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2023.
4. Батрак В. Г., Стукало В. М. Автоматизація технологічних процесів: навч. посібник. – Київ: Каравела, 2016. – 320 с.
5. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
6. Дрозд, В.Т., Семенов, І.М. Основи автоматизації технологічних процесів. — Київ: Вища школа, 2019. — 368 с.
7. Єрмоленко, С.А., Мірошніченко, О.М. Прилади і засоби автоматизації: навчальний посібник. — Київ: Ліра-К, 2018. — 192 с.
8. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-XII. – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
9. Колесніков О.В. *Контролери і системи автоматизації*. – К.: Ліра-К, 2021. – 352 с.
10. Лавриненко, П.М., Зінченко, В.П. Основи автоматизованого управління технологічними процесами. — Харків: НТУ "ХП", 2020. — 290 с.
11. Леонтьєв О. Є. "Теорія автоматичного керування: навчальний посібник". – Суми: Сумський державний університет, 2024.
12. Михайлов Г. П. Автоматичне регулювання та керування: підручник. – Київ: Каравела, 2019. – 328 с.
13. Наказ МНС № 1417 від 30.12.2014 "Правила пожежної безпеки в Україні". – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-1>
14. ПАТ «Рівнеазот». Загальна технологічна схема виробництва суперфосфату. — Технічна документація підприємства, 2023.
15. Пархоменко І. В. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. – Харків: ХНАМГ, 2020. – 234 с.
16. Пономаренко М. П., Назаренко А. О. Основи проектування автоматизованих систем керування. – К.: Либідь, 2020. – 244 с.
17. Сидоренко В. В. Основи автоматизації технологічних процесів. – Львів: Новий світ–2000, 2021. – 276 с.
18. Тесленко В. М. Основи автоматизації технологічних процесів: навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2021. – 340 с.

19. Тимченко С. М. Теоретичні основи автоматизованого керування технологічними процесами: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 290 с.
20. Трофименко, С.В., Кучерявий, О.В. Системи автоматичного керування: підручник. — Львів: ЛНУ, 2021. — 356 с.
21. Siemens AG. SITRANS Instrumentation Catalog 2022. – Офіційний сайт Siemens.
22. Siemens AG. MAGFLO Flow Measurement User Manual MAG 1100 / MAG 6000. – Siemens Industrial Automation, 2022.
23. Siemens AG. SITRANS TH200 Manual. — Siemens Industrial Automation, 2023.
24. Samson AG. Product Catalogue – Control Valves, Positioners (Models 3251, 3277, 3767). — SAMSON Group, 2022. — www.samson.de
25. Unitronics Ltd. Vision V570 PLC+HMI Technical Manual. — Unitronics, 2022. — www.unitronicsplc.com
26. Unitronics Ltd. VisiLogic Software Help Documentation. — Unitronics, 2022.