

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

МАЛИЙ ВАЛЕРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ БАЗОВИХ
ПАРАМЕТРІВ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ/ COMPUTER-INTEGRATED
CONTROL SYSTEM OF BASIC PARAMETERS AT A SUGAR FACTORY

спеціальність: 174 — Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

освітньо-професійна програма - Автоматизація та програма комп'ютерно-
інтегровані технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-21
В.Л. Малий

Науковий керівник:
к.т.н., доц. Пітух І.Р.

Магістерську роботу допущено до захисту:

;____;_____ 2025р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2025

АНОТАЦІЯ

Малий В.Л. Комп'ютерно-інтегрована система контролю базових параметрів на цукровому заводі. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У роботі проведено дослідження технологічного процесу виробництва цукру та вимог до контролю його основних параметрів. Проаналізовано існуючі архітектурні рішення вирішення задач контролю базових параметрів. Оцінено алгоритмічні та апаратні рішення, обґрунтовано моделі формування базових показників в режимі реального часу. Визначено контроль стану обладнання виробничих процесів. Здійснено програмно-технічну реалізацію елементів комп'ютерно-інтегрованої системи, побудовано схеми SCADA та модулі систем підтримки прийняття рішень.

ANNOTATION

Malyi V.L. Computer-integrated control system of basic parameters at a sugar factory. – Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Master» with the title 151 Automation and Computer-integrated Technologies. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The work studies the technological process of sugar production and the requirements for controlling its main parameters. Existing architectural solutions for solving basic parameter control problem are analyzed. Algorithmic and hardware solutions are evaluated, and models for forming basic indicators in real time are substantiated. The condition control of production process equipment has been determined. The software and hardware implementation of the elements of the computer-integrated system has been carried out, SCADA schemes and modules of decision support systems have been built.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ ТА ВИМОГИ ДО КОНТРОЛЮ ЙОГО ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	9
1.1. Характеристики досліджуваного об'єкта.....	9
1.2. Існуючі архітектурні рішення вирішення задач контролю базових параметрів на підприємстві.....	18
1.3. Вимоги до комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів...23	
2. ОЦІНКА АЛГОРИТМІЧНИХ І АПАРАТНИХ РІШЕНЬ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ДОСЛІДЖУВАНОМУ ОБ'ЄКТІ.....	31
2.1. Теоретичне обґрунтування методів розв'язку задач.....	31
2.2. Моделі формування базових показників в режимі реального часу.....	37
2.3. Контроль стану обладнання виробничих процесів.....	42
3. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНО- ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ТА ОЦІНКА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА.....	46
3.1. Побудова системи контролю параметрів виробництва в SCADA.....	46
3.2. Модульна система підтримки прийняття рішень виробничих процесів...52	
3.3. Перспективні напрямки застосування архітектурних рішень в організації виробництва.....	56
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

ПЗ – програмне забезпечення

ОУ – об'єкт управління

ШК – шафа керування

ТЗ – технічне завдання

КВ – керуючий вплив

ЧР – часові ряди

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

HMI – Human-Machine Interface

СППР – система підтримки прийняття рішень

ВСТУП

Сучасне цукрове виробництво є складним багатостадійним технологічним процесом, ефективність якого визначається стабільністю та точністю контролю ключових параметрів — температури, тиску, концентрації сухих речовин, витрат сировини та енергоносіїв. На роботу основних технологічних вузлів істотно впливають варіації якості бурякової сировини, коливання характеристик теплоносіїв, нестаціонарність процесів випаровування та кристалізації, а також зовнішні збурення, притаманні сезонному виробництву. Сукупність цих факторів робить технологічний процес цукроваріння складним для стабільного керування та потребує впровадження сучасних комп'ютерно-інтегрованих систем контролю. Такі системи забезпечують оперативний моніторинг параметрів, підвищують точність регулювання, мінімізують втрати та сприяють енергоефективності й конкурентоспроможності виробництва.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та розробка комп'ютерно-інтегрованої системи контролю базових параметрів виробництва, що дозволить здійснювати безперервний моніторинг за ключовими параметрами заводу і забезпечить оперативне регулювання для ефективності технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- Дослідити ТП виготовлення цукру на заводі, проаналізувати архітектуру та принцип дії систем контролю виробництва.
- Дослідити існуючі системи автоматизації ОУ та визначити відділи, що потребують впровадження систем контролю параметрів.
- Оцінити алгоритмічні та апаратні рішення задач контролю технологічного процесу на досліджуваному об'єкті.
- Розробити структуру системи збору даних, та обґрунтувати технічні засоби автоматизації для збору даних.
- Розробити математичну модель та провести аналіз її характеристик.

— Побудувати систему контролю параметрів виробництва в SCADA та модульну систему підтримки прийняття рішень в організації виробництва.

Об’єкт дослідження – контроль базових параметрів у ключових відділах цукрового заводу.

Предмет дослідження – методи збору та обробки інформації, алгоритми людино-машинної взаємодії.

Методи досліджень: аналіз існуючих систем, огляд відкритих джерел, безпосереднє вивчення технологічних процесів на заводі та технічного завдання, методи математичного та комп’ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. Запропоновано математичну модель керування технологічними процесами. Для заданої структури АСУ виконано оптимізацію параметрів ПД-регулятора. Реалізовано програмний код та принципові схеми виконання алгоритмів. Побудовано схеми SCADA та проаналізовано результати.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження можуть бути використані для модернізації АСУТП на цукрових заводах, підвищення ефективності виробництва та зменшення експлуатаційних витрат. Застосування оптимізованого ПД-регулювання забезпечує зменшення механічних та електродинамічних навантажень, підвищення стабільності подачі бурякової стружки, зниження енерговитрат і підвищення технологічної безпеки

Публікації та апробація кваліфікаційної роботи.

1. Малий В.Л. Комп’ютерно-інтегрована система відео спостереження розподілених об’єктів // Збірник матеріалів проблемно-наукової конференції «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2024), Тернопіль, 2024. – С. 50-54.

2. Малий В.Л. Комп’ютерно-інтегрована система контролю базових параметрів на цукровому заводі // Збірник матеріалів проблемно-наукової конференції «Технології інтернету речей: системи та рішення» (ТІР:СТ - 2025), Тернопіль, 2025. – С. 108-113.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ ТА ВИМОГИ ДО КОНТРОЛЮ ЙОГО ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

1.1. Характеристики досліджуваного об'єкта

Вся використана інформація про мережу цукрових заводів ТЗОВ «Радехівський цукор» не являється професійною чи комерційною таємницею і попередньо узгоджена з керівництвом підприємства.

Раціон сучасної людини неможливо уявити без цукру. Так, в 30-х роках ХХ століття на території України почала стрімко розвиватися цукрова промисловість. А вже в 60-х будівництво цукрових заводів набуває масового характеру. Якраз найбільше їх було зведено на території Західної України. Тільки до 1970 року вже функціонувало 10 заводів і їхня виробнича потужність могла конкурувати з найбільшими підприємствами того часу.

Серед сучасних українських підприємств харчової промисловості, що займаються переробкою цукрових буряків помітно виділяється компанія ТЗОВ «Радехівський цукор», що випускає свою продукцію під торговою маркою «DIAMANT». Станом на 2024 рік це найбільший виробник цукру на території Західної України. Окрім цукру, на заводах виробляється і побічна продукція, така як меляса та сирій і гранульований жом. Серед основних постачальників можна виділити великі фермерські господарства, що займаються вирощуванням буряків на великих територіях і поодинокі приватні фермери, що вирощують буряк на власних паях, часто невеликих площ. Звідси випливає, що логістика сировини і вихідного продукту відбувається теж по-різному. Великі ФГ доставляють буряки великими вантажівками, типу DAFXF 105, менші фермери часто використовують КАМАЗ 55102, чи навіть ЗіЛ 130, що зображені на рисунках 1.1. та 1.2. Така суттєва різниця між розміром вантажівок веде до проблем зі скиданням і прийомом вантажу. До цього варто додати, що і сам цукровий буряк буває різний, адже такі господарства

відрізняються методами вирощування і часто мають різні параметри чистоти, цукристості і хімічного складу сировини. [1]



Рисунок 1.1 – ЗіЛ 130, поширений транспорт невеликих фермерів



Рисунок 1.2 – DAFXF 105, розповсюджений транспорт великих ФГ

Структура підприємства складається з 6-ти функціонуючих цукрових заводів: Радехівський, Чортківський, Збаразький, Гнідавський, Козівський і Хоростківський цукрові заводи. Їхня сумарна переробна потужність складає понад 26 тисяч тон цукрових буряків за добу. В перерахунку на вихідну продукцію це приблизно від 3,5 до 4,5 тисяч тон чистого цукру-піску за добу варіння або 340 тисяч тон за рік, з урахуванням того, що завод працює хоч і цілодобово, але не круглорічно, найактивніше приблизно 3 місяці. Цілодобова робота впливає не з комерційного інтересу, а з технологічних особливостей заводу і неможливості «заглушити» виробництво, коли заманеться. Вихід продукції, зазвичай, складає 13-18% від маси цукрового буряка. При цьому слід враховувати такі мінливі показники як цукристість, хімічний склад, ґрунтово-кліматичні умови вирощування та інші.

Втім в заводських лабораторіях ці параметри можна лише визначити, але не можна впливати на них. Адже ніякий завод, навіть із якісним сучасним обладнанням нездатний виправити помилки агрономів, що ведуть до зниження цукристості, чи вплинути на клімат, що погіршує якість самого продукту. Проте, вміст цукру іноді може сягати аж 19%. Тому задля збільшення виходу чистого продукту підприємства проходять постійну модернізацію з метою оптимізації виробництва і покращення технологічного процесу. Це дає можливість витягнути максимум із наявної продукції і запобігти непотрібним виробничим втратам.

Для кращого розуміння підрозділів підприємства і виконуваних ним основних функцій необхідно зрозуміти саму суть переробки цукрового буряку і процесу виробництва цукру, описати технологічну схему і розглянути всі операції на кожному етапі. Отож, щоб отримати цукор-пісок необхідно виконати такі операції:

1. Прийняти сировину (цукровий буряк)
2. Очистити буряки від бруду та інших домішок.
3. Подрібнити їх до отримання стружки необхідної фракції.
4. Отримати сік методом дифузії.

5. Очистити отриманий сік.
6. Провести процедуру випарювання соку.
7. Очистити і уварити сироп.
8. Отримати утфель (кристалізувати).
9. Центрифугувати і вибілити.
10. Просушити цукор-пісок.



Рисунок 1.3 – Цукровий буряк на полі та готова продукція

Нижче подано принципову технологічну схему (1.4) виробництва цукру на цукровому заводі. Також детально описано кожен етап з попередньо наведених обов'язкових пунктів.

або з підйомом передньої частини вгору, оскільки самостійно висипати буряки на високу кагату просто неможливо.



Рисунок 1.5 – Приклад розвантаження методом кагатування

Тепер же, в цьому немає необхідності, адже всі вантажівки обладнані функцією підйому причепа (самоскид). Власне і сам метод кагатування вже не використовується. Сировина зсипається до рову, де за необхідності вона подається на завод за допомогою води під тиском (гідротранспортування). Саме так відбувається і другий етап переробки: очистка від бруду і домішок. Наступний етап подрібнення відбувається після того, як брудна вода стече до водовідділювача. Звідти чисті буряки подаються елеваторами в бурякорізку. Це автоматичний апарат, що адаптується до якості і розміру буряка. [2] Справа в тім, що буряк треба правильно нарізати. Ідеальна товщина 0,5-1 мм, ширина пластини 2,5-3 мм. Це дуже важливо, адже занадто тонкі смужки швидко заб'ють фільтри дифузійного апарату, а із занадто товстих – гірше вибивається сік, що веде до стрімкого зменшення виходу продукту. З бурякорізки вже

виходить нарізаний на смужки буряк (далі стружка) і елеваторами подається далі на наступні етапи, що видно на рисунку 1.6.



Рисунком 1.6 – Елеватор з буряковою стружкою. Збараський цукровий завод. Ліворуч блоки фільтрів МВЖ для згущення суспензії

Далі сировина потрапляє в дифузійний апарат. Саме в ньому відбувається основний процес виділення цукру. Працює це таким чином: до бурякової стружки під високим тиском подається вода з температурою 72-75 градусів за Цельсієм і так ніби вибиває з неї цукор. Сам висолоджений буряк вже майже не несе цукрової цінності, втім задля підвищення ефективності виробництва він буде проходити процес висолодження ще раз. І так знецукрована стружка з характерним запахом називається жомом, зберігається в жомових ямах і використовується для різних потреб, зокрема для годівлі великої рогатої худоби або інших сільськогосподарських тварин. Але головна цінність тепер у воді, а точніше у тому, що називається дифузійним соком, який стікає з апарату при досягненні температури 45 °С.

З цього моменту починається 5-ий етап: очистка. Загалом очистка – це довгий і багатоетапний процес, що включає в себе дефекацію, сатурацію, сульфитацію і фільтрацію. Якщо коротко, щоб не вдаватися в хімію, то дефекація відбувається за рахунок додавання в дифузійний сік негашеного вапна. Так в небажаних домішках руйнуються хімічні зв'язки і вони опадають в осад. Втім це розв'язує одну проблему, але створює нову – сахарит кальцію.

Щоб вивести звідти таку сполуку необхідний наступний етап очистки – сатурація. Простіше кажучи, це працює як в газованих напоях. Дифузійний сік штучно насичується вуглекислим газом і в результаті хімічної реакції створює карбонат кальцію, який легко відділити від цукрового соку. До речі, сам CO₂ виробляється на тих же заводах шляхом спалювання вапняку в печах з високою температурою.

Таким чином, ми отримали густу масу, тепер її слід знебарвити, знезаразити і зменшити її в'язкість. Для цього використовується обробка діоксидом сірки (SO₂). Цю сполуку так само як і вуглекислий газ видобувають прямо на заводі шляхом спалювання сірки в печі.

На останньому етапі очистки хімічно чистий сік піддається фільтрації. Зазвичай це відбувається методом відстоювання та фільтрування при температурі 80-90°C під тиском 0,3-0,4 МПа. [3]

Наступною важливою ланкою у виробництві цукру є випарювання сахарози з вже очищеного дифузійного соку. В ньому міститься 15-16% сухих речовин, 14% з яких сахароза. Тому для випарки сік необхідно спочатку згустити. Коли концентрація корисних речовин досягне 65%, сік буде піддано повторній очистці і направиться у вакуум-випарний апарат, що зображений на рисунку 1.7, де і буде виварюватися утфель і кристалізуватися сироп. Цей процес відбувається при температурі 75-80 °C поки концентрація сухих речовин не досягне 92-93%. Це утфель першої кристалізації – густа, в'язка маса з кристалів цукру. Звідси впливає небажаний чинник – попередня карамелізація цукру. Щоб запобігти цьому явищу при атмосферному тиску, сироп повинен уварюватись в умовах вакууму. Втім для кристалізації сиропу

потрібно за щось зачепитися, тому в якості затравки додають цукрову пудру тонкого подріблення. Саме вона стає осередками кристалізації і збирає навколо себе згустки цукрового розчину.



Рисунок 1.7 - Вакуум-випарний апарат збараського цукрового заводу

Таким чином на заводі досягається можливість виділити кристалічний цукор з утфелю. Але навіть після такого способу, цукор залишається змішаним, він ніби плаває в сиропі. Тому дев'ятий етап – відділення кристалів твердої фази від рідкого сиропу, називається центрифугуванням. Принцип дії простий: цукрова маса потрапляє до ротора центрифуги, який обертається з високою швидкістю. Відцентрова сила, що значно перевищує силу тяжіння розшаровує цукор, чітко відділяючи з нього рідку масу. Ця маса називається зеленою патокою і вона теж несе цінність для виробництва цукру. Тому вона зливається і проходить етап повторного уварювання і кристалізації. Так формується утфель другої кристалізації, який потім відправляється на центрифугування і клеровку. Після очистки він змішується з основною масою дифузійного соку і проходить цикл, почавши від першого випарювання, ще раз.

Але повернемося до центрифуги, адже там сформувався чистий, хоча і досі вологий 0,5 – 1,5% і нагрітий до 70-80 °С цукор. В такому стані його не можна зберігати чи транспортувати, оскільки в ньому утворюються грудки, що

при механічному впливі веде до руйнування кристалів. Тому останній етап виробництва цукру – сушіння. Апарат для сушки являє собою барабан, всередині якого знаходиться цукор. Там же вбудований інший барабан, основна функція якого охолодження. Далі здрібнений і охолоджений готовий цукор упаковується в паперові і поліетиленові пакети та розсипається по мішках різної ємності. І так готова продукція покидає завод через 2-3 тижні після прибуття, пройшовши довгий шлях від прийому і сортування буряків до фасування цукру в звичний для нас мішок.

1.2. Існуючі архітектурні рішення вирішення задач контролю базових параметрів на підприємстві

Досліджуючи будь-яку локальну мережу, можна виявити, що її побудова неможлива без використання активного мережевого обладнання. Основою будь-якої архітектури є комутатори 2го і 3го рівня, керовані і некеровані. Втім для промислового підприємства не завжди підходить таке рішення. Справа в тім, що мережеві комутатори на заводі мають дещо інші функції, підключаються до інших пристроїв і механізмів та виконують задачі, які не під силу звичайним свічам D-Linkабо Cisco. Крім того, вони повинні кріпитися на DIN рейку для стандартизації обладнання у шафах керування. Тому контроль параметрів та управління виробничими процесами відбувається з використанням дублюючих систем або з паралельною підпорядкованістю звичайним і промисловим комутаторам. [4]

Яскравим представником цього класу є індустріальні комутатори компанії MOXA (1.8). Вони спеціально розроблені для автоматизації промислового виробництва і систем управління з підтримкою plug-n-play. Важливою перевагою перед іншими свічами є технологія TurboRing. Для цукрового заводу це вкрай важливо, адже там виникає гостра необхідність будувати кільцеві резервні архітектури. Нагадаю, що в звичайних комутаторах два приходи в один хост – це петля, негативне явище, при якому всі канали забиваються широкомовним трафіком, що веде до зниження пропускної

спроможності або і повної відмови окремих компонентів чи системи в цілому. Але тут зберігається можливість підключити до одного пристрою кілька проводів і перенаправляти потоки інформації, обходячи компоненти, які вийшли з ладу. Таким чином управління стає більш гнучким і підвищується надійність системи контролю параметрів підприємства.



Рисунок 1.8 – Приклад промислового комутатора MOXA

Втім не варто забувати, що цукровий завод – це розподілений об’єкт з рознесеними компонентами на достатньо великі відстані. Для передачі сигналу більше як на 100 метрів недоцільно використовувати виту пару. Для цього застосовуються промислові медіа конвертори і оптоволокно. Наприклад, застосована на підприємстві автоматизована система розпізнавання номерних знаків теж потребує бути онлайн 24/7, адже там використовуються цифрові мережеві камери спостереження з вбудованою функцією розпізнавання рухомих об’єктів. Таким чином на бурякоприймну тягнеться оптика, а вже там сигнал конвертується в звичний для нас ETHERNET.



Рисунок 1.9 – Мережеве обладнання на DIN рейці. Збарзький цукровий завод

На досліджуваному об’єкті для оптимізації управління використана модульна система управління (детальніше в розділі 3.2). Це означає, що контролери об’єднані в шафи керування і займають своє місце, оператори – своє, свічі – своє, що і видно з рисунку 1.10.

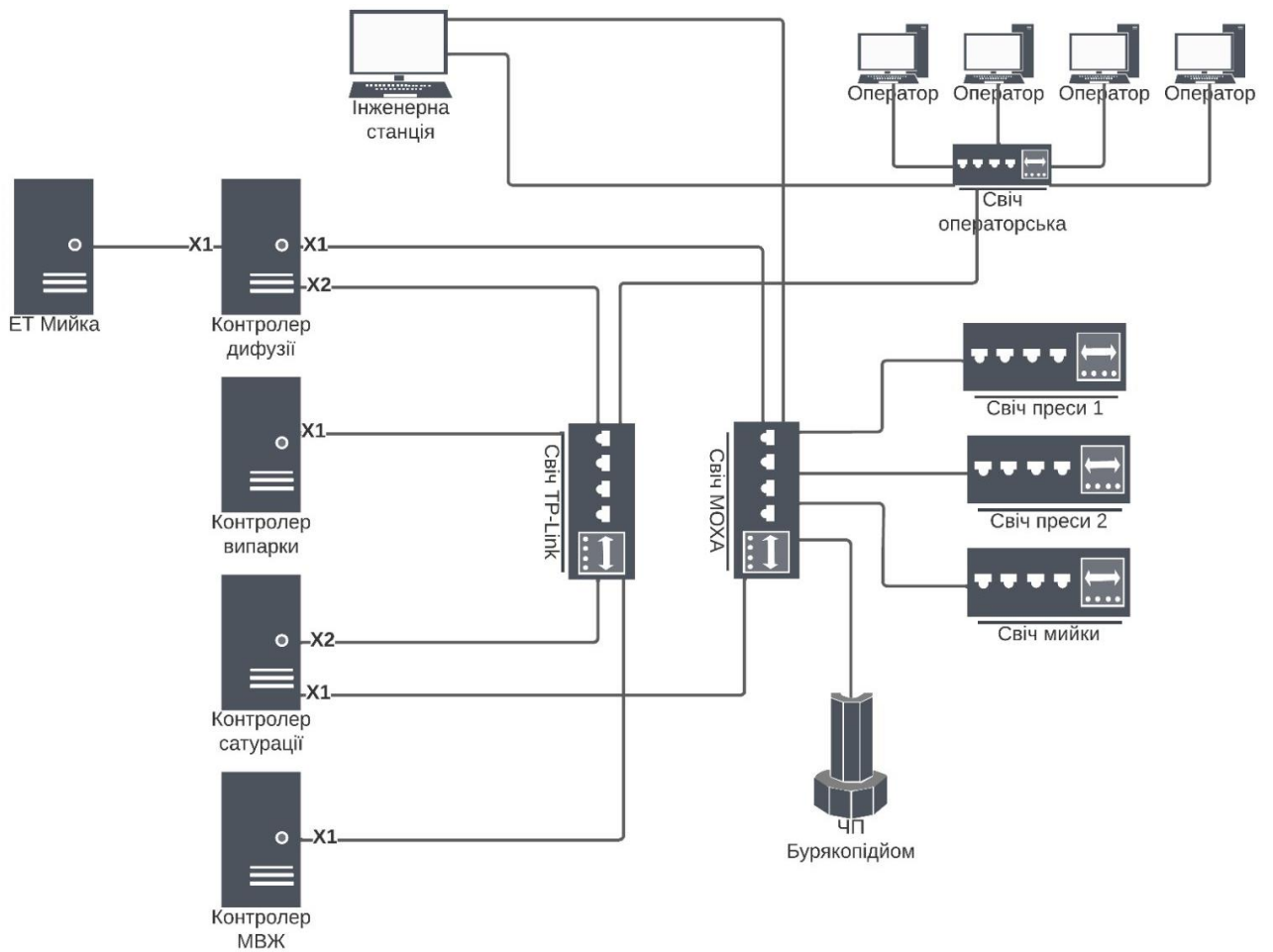


Рисунок 1.10 – Архітектура мережі цукрового заводу

Звідси бачимо, що окремо виділяється інженерна станція. Це універсальний комп'ютер, що має одразу дві мережеві карти і працює як зі стандартним мережевим обладнанням операторської, так і з промисловими комутаторами МОХА. Перевагою такої архітектури є доступність і відмовостійкість. Серед недоліків – відсутність окремих контролерів на кожен процес (дивитися рисунок 1.4). До речі, про контролери. Тут використовуються програмовані логічні контролери SIEMENS, що мають надлишкову обчислювальну здатність. Тому, в теорії, весь процес управління і контролю параметрів можливо здійснювати лише одним ПЛК. Проте така схема буде мати суттєвий недолік. Справа в тім, що для роботи такої кількості механізмів і контролю всіх доступних параметрів необхідно встановлювати розширювачі. Це призведе до неминучого збільшення кількості каналів на одному програмованому логічному контролері, що в свою чергу потягне складність в управлінні і контролі. [5] Хоча проміжні процеси виробництва такі як мийка, градирня або жомопреска можуть підключатися до контролерів, що встановлені в шафах керування масштабнішими процесами, наприклад, дифузія або випарка. А для кращого розуміння кількості існуючих процесів варто розглянути таблиці механізмів одного відділу – мийки.

Таблиця 1.1 – Механізми мийки, що керуються контролером з шафи

МЕХ1 СТРИЧКА ЖОМОВИДАЛЕННЯ	МЕХ6 ШНЕК ПОХИЛИЙ	МЕХ11 ШНЕК ТРАВИ	МЕХ16 ВОДОВІДДІЛЮВАЧ ПРАВИЙ
МЕХ2 СТРИЧКА ЖОМОВИДАЛЕННЯ	МЕХ7 ВОДОВІДДІЛЮВАЧ ЛІВИЙ	МЕХ12 МАЯ	МЕХ17 МАЯ
МЕХ3 СТРИЧКА ЖОМОВИДАЛЕННЯ	МЕХ8 ВОДОВІДДІЛЮВАЧ ЛІВИЙ	МЕХ13 КЛАСИФІКАТОР	МЕХ18 МАЯ
МЕХ4 СТРИЧКА НАКЛОННА	МЕХ9 ШНЕК ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ	МЕХ14 СОЛОМОВЛОВЛЮВАЧ	МЕХ19 СТРИЧКА ЖОМОВИДАЛЕННЯ --
МЕХ5 СТРИЧКА ШИРОКА	МЕХ10 ШНЕК ХВОСТИКІВ	МЕХ15 ВОДОВІДДІЛЮВАЧ ПРАВИЙ	МЕХ20 СТРИЧКА КОРОТКА

Але якщо уважно розглянути схему 1.2 то видно, що процеси мийки рознесені на контролерну шафу і свіч МОХА, точніше один з портів цього свіча. Даним комутатором керується решта процесів пов'язаних з мийкою.

Таблиця 1.2 – Механізми мийки, що керуються з комутатора МОХА

МЕХ22 ВИКИД	МЕХ28 КАЛОРИФЕР (КАМЕНЕВЛОВЛЮВАЧ) - -	МЕХ32 ЛУБРИКАТОР --
МЕХ23 ВЕНТИЛЯТОР --	МЕХ29 ОСВІТЛЕННЯ --	МЕХ33 ЛУБРИКАТОР --
МЕХ24 СТРИЧКА БУРЯКА	МЕХ30 НИЖНЯ МИЙКА	МЕХ34 ЛУБРИКАТОР --
МЕХ25 ВОДОВІДДІЛЮВАЧ ПІСЛЯ МИЙКИ	МЕХ31 ВЕРХНЯ МИЙКА	МЕХ35 ШНЕК БОТВИ --
МЕХ26 ВЕНТИЛЯТОР --	МЕХ27 СКРЕБКОВИЙ ТРАНСПОРТЕР --	

Таке розміщення і кольори механізмів в таблиці не випадкові, адже дозволяють точно визначити ряд і порт, до якого цей механізм підключений.

Очевидно, що для контролю всіх параметрів виробництва із застосуванням такої кількості процесів недостатньо самої тільки інженерної станції, тому існує окремий відділ такий як операторська. Там здійснюється моніторинг базових параметрів. Там же і є можливість оперативно реагувати на зміни показників чи аварійні випадки, наприклад, порушення роботи якогось сегменту чи примусову зупинку механізму кимось із персоналу або нещасним випадком (аварійний тросовий вимикач). Втім все ж вносити зміни до сімокоду контролерів віддалено неможливо. Тому налаштування роботи контролерів здійснюється на місці, прямо в шафі керування. Це потребує спеціальних вмінь і вимагає тісної співпраці між інженерами з автоматизації і програмістами, що закладають прошивку на промисловий програмований логічний контролер.

1.3. Вимоги до комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів

Комп'ютерно-інтегрована система контролю параметрів на промисловому підприємстві – це складна система, що поєднує програмне забезпечення, апаратну частину, таку як сенсори і виконавчі механізми і мережеві технології. Вже відомо, що дані з різних відділів збираються в операторській станції, де відбувається автоматичний моніторинг, аналіз та управління базовими параметрами виробничого процесу цукрового заводу. Для ефективною та коректною роботи така система повинна відповідати ряду вимог, порушення яких веде до неточності або і повній невідповідності зібраної інформації до реального стану речей. Звернемо увагу на основні вимоги, які поділяються на 4 категорії: функціональні, нефункціональні, вимоги до ПЗ та вимоги до обладнання. Приклад таких вимог наведений в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Поділ вимог на категорії

Функціональні вимоги	Нефункціональні вимоги	Вимоги до ПЗ	Вимоги до обладнання
Збір даних	Надійність	Масштабованість	Модульність
Обробка та аналіз	Сумісність архітектур	Інтуїтивність інтерфейсу	Промислове виконання
Візуалізація	Продуктивність	Безпека	Енергоефективність
Управління	Безпека		Надійність
Системи оповіщення	Зручність використання		
Звітність	Ефективність		

Тепер детальніше розглянемо кожен пункт. Функціональні вимоги визначають, що повинна робити дана комп'ютерно-інтегрована система. Збір даних повинен забезпечуватися різноманітністю джерел, можливістю

підключення різних датчиків (температура, витрата, тиск, рівень, тощо) і пристроїв, наприклад, ПЛК різних виробників. Сюди ж можна віднести і синхронізацію, адже в промисловості таймінг дуже важливий, багато обладнання працює в режимі реального часу. Обробка та аналіз повинні забезпечувати можливість фільтрувати шум, задавати граничні межі, аналізувати тренди, тобто передбачати відхилення, виявляти закономірності і вести статистичний аналіз. Візуалізація даних – це інформація в читабельній формі, така як графіки, діаграми тощо. Це дозволяє налаштувати операторську під різні робочі зміни. Управління здійснюється можливістю надсилати керуючі сигнали на виконавчі пристрої (двигуни, клапани, насоси). Автоматичне керування відбувається на основі запрограмованих алгоритмів. Втім така система повинна мати і режим ручного керування. Система оповіщення призначена для аварійної сигналізації і повідомлення про проблему з обладнанням чи загрозу такої проблеми. Звітність формується на основі всіх перерахованих пунктів, і повинна включати в себе генерування регулярного звіту, в тому числі позаштатного – в аварійних випадках [6].

До нефункціональних вимог відносяться ті вимоги, які визначають якою система повинна бути, тобто задають критерії для оцінки якості виконання технологічних процесів. Так, безперервність вказує на надійність системи, що має забезпечуватися резервуванням важливих компонентів для забезпечення її відмовостійкості. Також до надійності можна віднести можливість раннього виявлення та діагностика збоїв. Сумісність архітектур важлива, адже на досліджуваному об'єкті застосовуються комутатори різних поколінь і призначень. Така система повинна бути відкритою і забезпечувати можливість розширення та інтеграції нових компонентів. Продуктивність можна дослідити по такому параметрі як швидкість обробки даних. Висока швидкість призведе до зниження затримок при передачі сигналів і покращить зворотній зв'язок в цілому. Сюди ж можна віднести безпеку, яка визначається забезпеченням захисту систем від шкідливого впливу і нещасних випадків. Також важливим етапом є шифрування даних при передачі на проміжних

процесах та зберіганні на серверах. Чітке зонування відповідальності має досягатися за допомогою автентифікації та авторизації, де кожен працівник має певні права на внесення змін в систему. Таким чином її неможливо випадково нашкодити через некомпетентність. Зручність використання повинна досягатися за рахунок зручного та інтуїтивно зрозумілого обладнання. Такі системи повинні легко обслуговуватися та оновлюватися. При виникненні запитань в обов'язковому порядку повинна бути повна технічна документація і зрозумілі інструкції на екстрений випадок. Ефективність оцінюється економічною вигідністю реалізації технологічного процесу та обслуговування таких систем. За рахунок автоматичного управління повинні знижуватися непотрібні виробничі втрати.

Вимоги до програмного забезпечення – це набір вимог, які визначають властивості, функції та якості ПЗ, яке функціонує в даний момент або резервного ПЗ, яке запрацює при виконанні іншого протоколу за певних обставин. Тому програмне забезпечення повинне бути масштабоване та адаптоване до підтримки зростаючих вимог. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс потрібен для того, щоб в комп'ютерно-інтегровану систему при необхідності поправки могли вносити користувачі, яке не залучалися до розробки цього ПЗ. Це перегукується з функціональними вимогами щодо візуалізації. Також важливо згадати про безпеку ПЗ. Мається на увазі не лише захист від несанкціонованого доступу, а й стабільність при обробці великих обсягів даних і точність виконання програмних команд. В іншому випадку це може призвести до аварії.

Вимоги до обладнання включають в себе такі вимоги, які стосуються сукупності механізмів, приладів, пристроїв та інших робочих інструментів. Ці механізми поділені на відділи (блоки), але працюють як одне ціле. Втім система повинна бути модульною, тобто мати можливість масштабування шляхом додавання нових модулів. Важливо відзначити, що на підприємствах такого типу необхідно дотримуватися промислового виконання. Це означає, що обладнання повинне бути розробленим для роботи в умовах промислового

середовища і розраховане на перепади температури, вологості, вібрації, електромагнітних перешкод тощо. Прикладом такого виконання є вже згадані промислові комутатори. Енергоефективність повинна досягатися за допомогою оптимізації обладнання для зниження витрат енергії на непотрібні процеси. І, звичайно, надійність, яка визначається безвідмовною, безаварійною роботою всього обладнання впродовж довгого терміну служби. Навіть при виході з ладу такі механізми не повинні нести жодної загрози для робочого персоналу для мінімізації ризиків нещасного випадку.

Дотримання цих вимог є необхідним для створення ефективної та надійної комп'ютерно-інтегрованої системи контролю базових параметрів на цукровому заводі, яка буде забезпечувати стабільну роботу виробничих процесів, знижувати витрати та підвищувати якість продукції.

Для кращого розуміння вимог до систем контролю параметрів слід розібратися в призначені та кількісних характеристиках об'єкта управління. Для цього буде використано фрагмент технічного завдання автоматизації продуктового відділення. Повне ТЗ дивитись в додатку 1.

Призначення АСУТП. АСУТП в необхідних обсягах повинна виконувати такі функції:

- Збір, обробку і аналіз отриманої інформації (сигналів, повідомлень і т.д.) про стан об'єкта управління.
- Генерацію керуючих впливів.
- Передачу керуючих впливів (сигналів) на виконання.
- Реалізацію і контроль виконання КВ.

Кількісна характеристика об'єкта автоматизації визначає скільки і якого обладнання має бути встановлено для коректної роботи заводу і виконання поставлених задач. Такий об'єкт включає в себе вакуум-апарати 1го продукту, вакуум-апарати 2го продукту, вакуум-апарати 3го продукту, загально цехове обладнання, сушильне відділення, вакуум-конденсаційна установка. Кількість всіх механізмів наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Кількісна характеристика об'єкта автоматизації

Відділення	Механізми	Кількість, шт
Вакуум-апарати I продукту	вакуум-апарати	3
	приймальна мішалка	1
	розподільувач утфелю 1 продукту	2
Вакуум-апарати II продукту	вакуум-апарати	3
	приймальна мішалка	1
	розподільувач утфелю 2 продукту	1
Вакуум-апарати III продукту	вакуум апарати	2
	приймальні мішалки	2
	розподільувач утфелю 3-го продукту	1
	горизонтальні мішалки-кристалізатори	8
Загально цехове обладнання	Збірник білої патоки	1
	Збірник зеленої патоки 1-го продукту	1
	Збірник зеленої патоки 2-го продукту	1
	Підігрівач стандарт-сиропу	2
	Підігрівач білої патоки	1
	Підігрівач зеленої патоки 1-го продукту	2
	Підігрівач зеленої патоки 2-го продукту	2
	Патронні фільтри стандарт-сиропу	8

	Нижній збірник стандарт-сиропу після фільтрів	1
	Верхній збірник стандарт-сиропу	1
	Збірник кормової патоки з лічильником	1
	Клеровочна мішалка стандарт-сиропу з клеровками II, III-го продукту	3
Сушильне відділення	Трясун після центрифуг	1
	Транспортер вологого цукру	1
	Елеватор вологого цукру	2
	Вентилятор гарячого повітря	
Сушильне відділення	Калорифер гарячого повітря	
	Вентилятор холодного повітря	
	Барабанна сушка	
	Вентилятор відпрацьованого повітря на циклони	1
	Магнітний сепаратор (двигун + магніт)	1
	Електромагніти	2
	Стрічка охолодженого цукру широка	1
	Стрічка охолодженого цукру похила	1
	Вібросито	2
	Шнек комків	3
	Клеруюча мішалка комків	1

	Витяжний вентилятор	1
	Циклон	5
	Бункер цукру	5
Вакуум-конденсаційна установка	Збірник проводи	1
	Збірник оборотної води	1
	Збірник гідрозатвору градирні	1
	Вловлювач утфелю I, II, III-го продукту	1
	Предконденсатор	1
	Конденсатор-охолоджувач I прод.	1
	Конденсатор II, III-го продукту	1

Розглянемо деякі підсистеми контролю базових параметрів цукрового заводу. Перелік цих підсистем АСУТП і їхній склад і призначення наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Підсистеми АСУТП

Найменування	Призначення	Склад
Підсистема введення технологічної інформації та регулювання	1.Введення сигналів датчиків і первинних перетворювачів технологічних параметрів 2.Введення сигналів стану обладнання 3.Регулювання технологічних параметрів	1 .Датчики і первинні перетворювачі технологічних параметрів 2.Виконавчі механізми регулюючих органів 3.Програмований логічний контролер
Підсистема оперативного введення і відображення інформації	1.Введення даних оперативного управління 2.Формування і вивід оперативної інформації про стан технологічного процесу та стан обладнання	Станція оператора на базі персонального комп'ютера (конфігурація ПК визначається в процесі проектування)

Вимоги до структури та функціонування системи такі: програмно-технічний комплекс АСУТП повинен містити у собі:

- систему розподіленого вводу-виводу.
- робочу станцію оператора на базі персонального комп'ютера із встановленою операційною системою Windows та SCADA пакетом.
- промислову мережу.
- прикладне програмне забезпечення.
- датчики та первинні перетворювачі контролю технологічних параметрів і станів основного обладнання (поставляє замовник згідно рекомендацій виконавця робіт).
- виконавчі механізми регулюючих органів (поставляє замовник згідно рекомендацій виконавця робіт).

Систему будувати на основі ПЛК виробництва Siemens. Датчики та первинні перетворювачі вибираються та погоджуються із Замовником на етапі проектування. Передбачити відображення рівнів в приймальних мішалках I, II, III продукту біля відповідних центрифуг. Передбачити підключення 8-ми частотних перетворювачів на циркулятори вакуум-апаратів.

2. ОЦІНКА АЛГОРИТМІЧНИХ І АПАРАТНИХ РІШЕНЬ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ДОСЛІДЖУВАНОМУ ОБ'ЄКТІ

2.1. Теоретичне обґрунтування методів розв'язку задач

Оцінка алгоритмічних і апаратних рішень є важливим аспектом автоматизації технологічного процесу на цукровому заводі. Оскільки це ключовий показник підвищення ефективності виробництва, зменшення витрат і покращення якості кінцевої продукції, варто провести аналіз і теоретичне обґрунтування існуючих методів розв'язку задач. Для забезпечення стабільності проведемо огляд традиційних та сучасних методів контролю параметрів, оцінимо алгоритмічні, математичні і апаратні рішення та проведемо порівняльну оцінку доступних варіантів [7].

Одним з базових математичних методів є метод прогнозування, а саме – часові ряди, які зображені на рисунку 2.1. Це послідовність значень, які можуть змінюватися у часі. До основних характеристик ЧР відносять: тренд – загальна тенденція зміни значень (зростання, спадання); Сезонність – періодичні коливання, що повторюються через певні інтервали часу; Циклічність – довгострокові коливання, які не мають фіксованого періоду і не залежать від сезонних змін; Шум – випадкові коливання, які не мають закономірності та не піддаються аналізу. Ознакою високоякісної комп'ютерно-інтегрованої системи є чітко виражена сезонність часових рядів і мінімальні або й повністю відсутні впливи шуму. Саму функцію ЧР можна легко реалізувати на Python, використовуючи такі бібліотеки як: matplotlib, numpy, pandas. Приклад коду для підключення бібліотек:

```
pipinstallmatplotlibnumpypandas
```

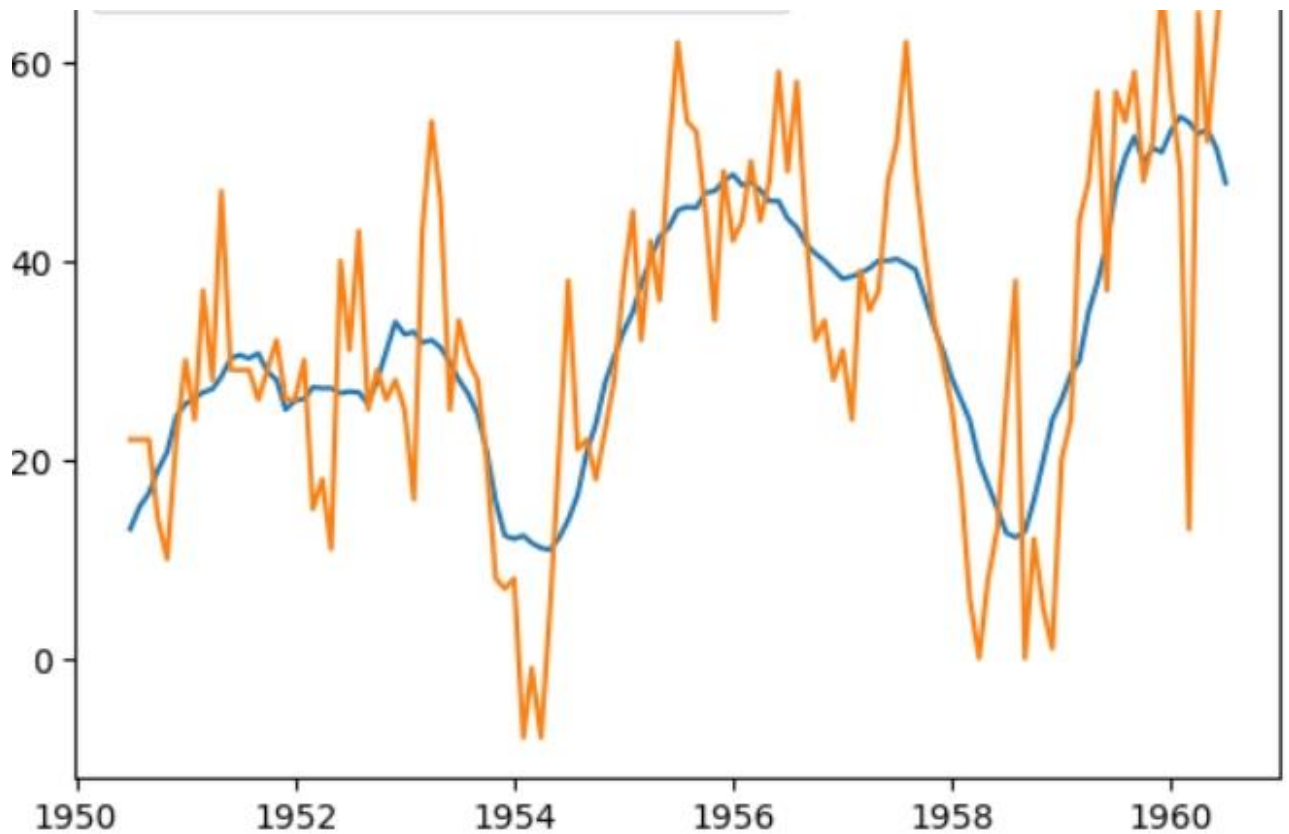


Рисунок 2.1 – Приклад часового ряду

Самі часові ряди також мають методи аналізу. Серед них: спектральний, кореляційний, моделі авторегресії та ковзного середнього, модель ARIMA та фільтр Калмана. Розглянемо ЧР детальніше.

Спектральний метод аналізу дозволяє перетворити одновимірний масив даних часового ряду у багатовимірний. Далі ряд піддається сингулярному розкладу, що дозволяє розділити його на тренд, періодичні коливання та випадковий шум. Принцип роботи розкладу в наступному: Побудуємо ЧР в матриці $L \times K$ так, щоб у першому стовпчику були елементи з f_1 до f_L , а в першому рядку з f_1 до f_K . [8]

Таблиця 1.6 – Матриця L*K

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \dots & f_{K+1} \\ f_3 & f_4 & f_5 & \dots & f_{K+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_L & f_{L+1} & f_{L+2} & \dots & f_N \end{bmatrix}$$

Тепер проводимо сингулярний розклад за формулою: $V_i = \frac{x^T U_i}{\sqrt{\lambda_i}}$. І розраховуємо траєкторну матрицю у вигляді:

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_d = \sum_{i=1}^d \sqrt{\lambda_i} U_i V_i.$$

Таким чином формується сукупність деяких чисел λ_i , власних та факторних векторів, що відповідають цим числам. Це називається власною трійкою. Після цього можна проводити математичні розрахунки такі як групування або усереднення. Формула групування: $X_I = X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{ip}$

ЧР також можна дослідити за допомогою фільтра Калмана – лінійно-квадратичного оцінювання, алгоритму, заснованого на перевірці параметрів протягом певного часу. Віднімаючи відомі змінні можна оцінити шум системи за формулою: $x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k$, де F_k – модель переходу стану, B_k – модель впливу, w_k – шум процесу.

Такі методи є ефективними в добре продуманій комп'ютерно-інтегрованій системі, проте всі математичні методи є недієвими, якщо не застосовуються правильні апаратні рішення. Насамперед, повинні враховуватися параметри об'єкта і під його задачі обирати відповідне обладнання, що включає в себе: датчики, виконавчі механізми, контролери, системи збору даних. Зрозуміло, що всі ці апаратні засоби повинні інтегруватися в єдину систему управління технологічним об'єктом. Як видно на рисунку 2.1 ЧР має деякі порогові максимальні та мінімальні значення, вихід системи за межі яких недопустимий. Для запобігання виникнення аварійної ситуації використовуються датчики – кінцевики (рисунок 2.2). [9]



Рисунок 2.2 – Кінцеві вимикачі

Ми розглянули математичні та апаратні рішення для розв’язку простої задачі – контроль параметрів і утримування їх в межах норми. Проте ці рішення працюють за заданим алгоритмом, програмою, що розраховує всі математичні методи і керує виконавчими механізмами ТП. Алгоритмічні рішення контролю параметрів – це методи, які використовуються для вимірювання, обробки та керування змінними процесу, у випадку нашого прикладу це перевірка на крайнє положення. Такі методи дозволяють не лише вмикати/вимикати, а й підтримувати параметр на потрібному рівні навіть за змінних умов. Переваги такої системи у високій надійності, а головним недоліком можна вважати складність у налаштуванні та можливі коливання параметрів. Зрозуміло, що для коректного функціонування автоматизованого управління потрібні правильні алгоритмічні рішення. На ранніх етапах проектування застосовуються прості блок-схеми для базового розуміння як повинна працювати система. Приклад такої зображено на рисунку 2.3. Пізніше, ці ж блок-схеми використовуються як інструкція для нових співробітників заводу, які не брали участі в проектуванні комп’ютерно-інтегрованої системи. [10] Також вони потрібні для позаштатних ситуацій пов’язаних із заміною обладнання або виникненням неконтрольованої роботи АСУ.

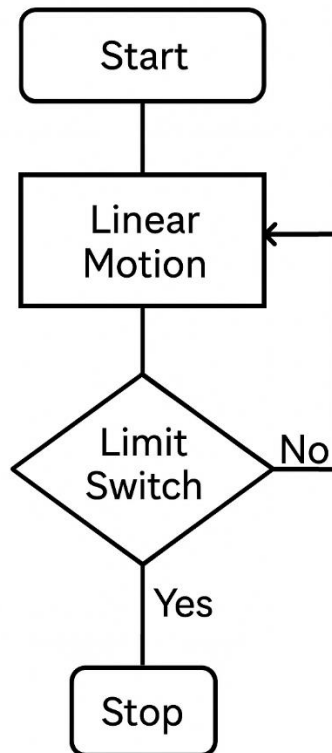


Рисунок 2.3 – Блок-схема для лінійного переміщення з двома кінцевими перемикачами

Проте в сучасних ПЛК (рисунок 2.4) використовуються значно складніші схеми управління технологічним процесом. Крім того, програмовані логічні контролери не розуміють блок-схем, а програмувати їх потрібно мовою StructuredText або LadderLogic. Приклад цієї ж блок-схеми, реалізований на мові ST:

```

IF Start AND NOT Stop AND NOT LS2 THEN
    MotorFwd := TRUE;
ELSE
    MotorFwd := FALSE;
END_IF;
IF LS1 AND NOT Stop THEN
    MotorRev := TRUE;
ELSE
    MotorRev := FALSE;
END_IF;
  
```

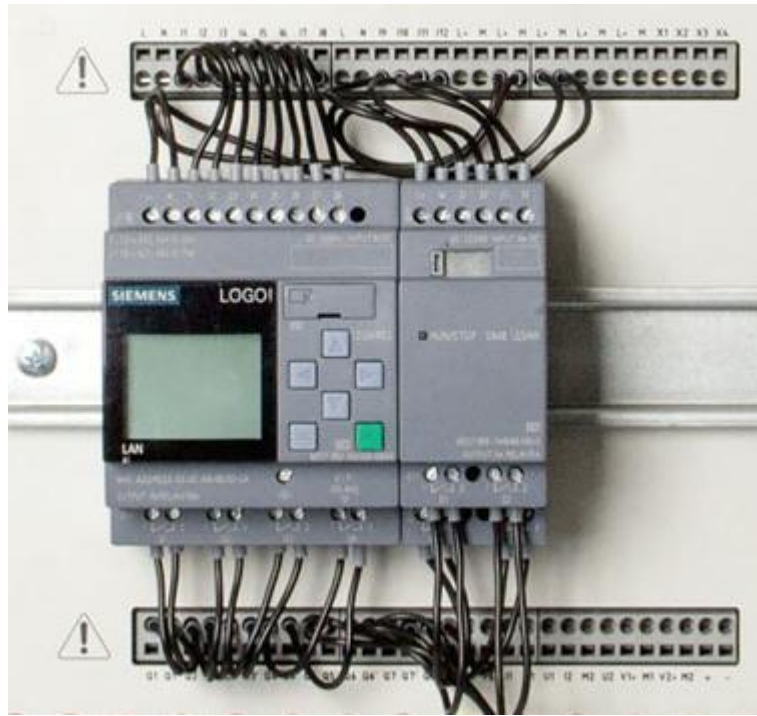


Рисунок 2.4 –Контролер SIEMENS, що підтримує ці мови програмування

Приклад програми на LD:

```

| StartStopLS2   MotorFwd
|-----| |-----|/ |-----|/ |------( )-----/
|
|
|   LS1   StopMotorRev
|-----| |-----|/ |------( )-----/

```

В даних текстах програми використовується така логіка:

Start – кнопка пуску двигуна.

Stop – кнопка зупинки.

LS1 – кінцевий вимикач у початковій позиції.

LS2 – кінцевий вимикач у кінцевій позиції.

MotorFwd – рух вперед.

MotorRev – рух назад (реверс).

2.2. Моделі формування базових показників в режимі реального часу

Аналізуючи часові ряди різних виробничих процесів, можна прослідкувати за тим, що багато параметрів потрібно змінювати в режимі реального часу. Зв'язано це, насамперед, з тим, що подача сировини відбувається непропорційно. Крім цього ускладнюють звичайне керування змінні умови виробництва і зовнішні непрогнозовані впливи. З керуванням за принципом порогового контролю (приклад з двома кінцевиками) не виникає складнощів, втім такі системи нездатні адаптуватися під змінні умови виробничих процесів. Для таких операцій потрібне регулювання з гнучким налаштуванням і врахуванням багатьох умов. Так, наприклад, процес дифузії на цукровому заводі залежить від таких змінних: кількість вхідної стружки, температура і тиск води. Очистка залежить від швидкості спалювання сірки і вапняку в печах, густини і температури дифузійного соку та кількості виробленого CO₂ і SO₂.

Для таких потреб проведемо аналіз існуючих систем та пропонуємо нововведень. Крім простих систем з пороговим контролем, за підприємстві застосовуються такі методи контролю параметрів як: контроль з гістерезисом, контроль з пропорційним регулюванням та логічний контроль з умовами. Кожен з них має певні переваги та недоліки і його доцільно застосовувати лише в певних конкретних випадках.

Контроль з гістерезисом – це тип автоматичного керування при якому, точка вимкнення системи і точка увімкнення мають певні межі, в середньому це 10 - 20% від загального можливого діапазону, що видно з рисунку 2.5. Працює це, перш за все, в підкачувальних насосах, де задля збереження робочого стану обладнання уникають частих ввімкнень [11].



Рисунок 2.5 – Графік роботи насоса в межах 50-60%

Перевагою такого контролю є простота і надійність, проте під час запуску і зупинки все одно виникають ривки. Таке негативне явище не критичне для простих насосів, але для точнішого регулювання використовують інший тип.



Рисунок 2.6 – Графік пропорційного регулювання

На рисунку 2.6 зображено контроль з пропорційним регулюванням – принцип у системах автоматики, при якому, керуючий сигнал на виконавчий механізм є пропорційним сигналу розсинхронізації. Таким чином команда на плавне вимкнення задається в протифазу з деяким випередженням перед крайнім параметром.

Порівнюючи дві діаграми, можна побачити, що робота буде такою ж як і в першому випадку, але зі згладженими кутами. Головна перевага такого типу керування – це плавність роботи. До недоліків можна віднести той факт, що пропорційне регулювання не усуває сталу похибку.

Логічний контроль з умовами – тип АУ, що виконує команди тільки при дотриманні умов виконання комбінації умов. В цукровому заводі такі системи використовуються для очистки. Необхідна кількість CO₂ подається тільки в тому випадку, якщо спалюється достатня кількість вапняку. В іншому випадку, швидкість подачі сировини знижується. Таким чином, параметри не лише контролюються, а й вносяться відповідні зміни темпу роботи в режимі реального часу. Перевага такої системи – це пристосованість до змінних умов технологічного процесу. Головний недолік – необхідність використовувати модулі розширення для програмованих логічних контролерів, щоб підключити додаткові цифрові та аналогові сенсори [12].

Пропоновані нововведення стосуються двох принципово інших підходів до вирішення типових задач автоматизації. Це використання PID – регуляторів та відповідних адаптивних алгоритмів роботи.

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальне керування – це поширений алгоритм управління, який використовується в промисловості задля надійної роботи в широкому діапазоні виробничих умов (2.7).

Для отримання оптимальної реакції на змінні умови враховують коефіцієнти одного, двох або зразу всіх трьох параметрів, які обчислює ПІД-контролер.



Рисунок 2.7 – ПІД-контролер

Принцип дії такого контролера полягає в тому, що він отримує вхідні дані від датчиків, і після обчислення різниці між фактичним значенням та бажаними заданими параметрами, коригує вихідні значення для керування. Він може одночасно виконувати обчислення та вносити відповідні поправки в такі змінні як: температура, тиск, напруга, швидкість, витрата. Три різні системи обчислення працюють незалежно одна від одної або спільно над одним або багатьма параметрами. В даному випадку найдоцільніше розглядати саме ПІД-системи замкнутого типу. Це означає, що регулювання відбувається по колу, зі зчитуванням параметрів, внесенням змін та врахуванням похибки. Така системи дає зворотній зв'язок з ОУ та дозволяє вносити зміни не зупиняючи процес, через фіксовані інтервали, які називаються частота циклу. Для того, щоб розібратися з ПІД-регулюванням треба визначитися з теорією і деякими термінами. Член похибки - різниця між параметрами. Час наростання – час, який необхідний системі для переходу від поточного до кінцевого значення. Відсоток перевищення – виражається у відсотках від кінцевого значення та відображає змінну, на яку відбувається переліт системи. Час встановлення – це час, який потрібен, щоб локалізувати параметри в межах перевищення не більше 5%. Похибка стану – це кінцева різниця між поточними параметрами та заданими значеннями. Подавлення

збурень – можливість системи долати вплив зовнішніх збурень і працювати за найгірших прогнозованих умов.

Пропорційна реакція – це підсилення різниці між заданим значенням та змінною процесу. Що більша пропорція – то більше підсилення та швидша реакція на зміни, проте, якщо пропорція завелика, то система набуде занадто великих коливань, стане нестабільною та вийде з-під контролю.

Інтегральна відповідь підсумовує член похибки з часом. Ефект реакції полягає в тому, що з часом коефіцієнт регулювання буде постійно збільшуватися. Тому навіть невелике відхилення від норми з часом призведе до спроб встановити заданий параметр системи [13].

Диференціальна складова зменшує інтенсивність вихідного сигналу, у випадках, коли зміна процесу росте швидше очікуваного. Мале значення похідної збільшить чутливість і пришвидшить реакцію в межах норми, однак завелике значення в повільному контурі не зможе фільтрувати шум.

Обчислення зміни керуючого сигналу ПД-регулятора здійснюється за формулою: $u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t)dt + K_d * de(t)/dt$, (2.1)

де $u(t)$ – вихідна дія, $e(t)$ – відхилення сигналу, член похибки, K_p – коефіцієнт пропорційної складової, що реагує на поточне відхилення, K_i – коефіцієнт інтегральної складової, накопичене відхилення, K_d – коефіцієнт диференціальної складової, визначає вплив швидкості зміни, $\int e(t)dt$ – інтеграл накопиченого відхилення, $de(t)/dt$ – похідна відхилення по швидкості. Бачимо, що з складові ПД-регуляторів коригують сигнал і виправляють помилки на трьох рівнях часу: минулому, теперішньому та майбутньому. Пропорційна складова реагує на поточну помилку (теперішній час). Накопичене відхилення в інтегральній складові формує статистику і враховує минулий стан системи. Диференціальна складова реагує на швидкість зміни та прогнозує майбутнє відхилення, щоб згладити перехідні процеси та уникнути перерегулювань.



Рисунок 2.8 – Приклад діаграми стабілізації ПІД-системи

Таким чином вдається отримати затухаючу синусоїду, що і є ознакою стабільної системи. Якщо ж регулювання продовжуються або наростають, то система є нестабільною і в такому випадку варто переглянути коефіцієнти, очевидно десь була допущена помилка в регулюванні [14].

На цукровому заводі варто також врахувати умови точкового регулювання. Це означає, що параметри, які близькі до ідеальних в певний момент часу, можуть стати не актуальними через кілька секунд. Тому до такої системи більші вимоги в плані частоти дискретизації.

2.3. Контроль стану обладнання виробничих процесів

Виробничі процеси на підприємстві, що постійно перебувають в роботі, потребують перевірки їх стану та ведення статистики задля отримання інформації про можливе покращення системи керування та відстеження належного функціонування. Насамперед, пов'язано це з тим, що все обладнання має певну точність і ресурс. Фізичний знос елементів підвищує ризик отримання неправильних даних, на основі яких можуть прийматися неправильні рішення. Причому помилкове рішення може бути прийняте не тільки людиною, але й контролером, керуючись неправильними даними. А це,

в свою чергу, потягне за собою брак продукції або й створить аварійну ситуацію. Тому в залежності від типу обладнання, його складності, доступу до нього і можливості перевірки використовують різні способи контролю стану. До таких способів належать: комп'ютерне моделювання, дублюючі системи, подвійна підпорядкованість і фізична перевірка.

Фізична перевірка – це огляд оператором виробництва всієї лінії, планові перевірки обладнання, заміри датчиків на опір, продзвонка каналів зв'язку та регламентні заміни зношеного обладнання, яке вичерпало свій ресурс. Такі дії дозволяють запобігти критичним ситуаціям і вчасно вжити контрзаходів.

Подвійна підпорядкованість – система обміну даними, при якій інформація, що надсилається до контролерів також подається в операторську і очікує дозволу або поправки з боку іншого комп'ютера або кваліфікованого інженера, задача якого порівняти фактичні показники з нормативними, щоб не допустити продовження функціонування системи з помилковими значеннями.

Для відстежування критично важливих параметрів використовуються дублюючі системи – 2 повністю незалежних контури передачі даних. Причому в кожному використовується своя архітектура. Тобто перший контур зчитує дані з першого сенсора і відправляє їх на перший контролер. Останній приймає рішення і вмикає перший двигун. Другий контур працює за тим же принципом, але, крім повного дублювання, що унеможлиблює вихід з ладу всієї системи одразу, ще й може мати подвійну підпорядкованість. Таким чином контролер, що знаходиться в операторській може легко вирахувати в якому контурі і на якому етапі виник збій. [15]. Приклад такої системи зображено на рисунку 2.9.

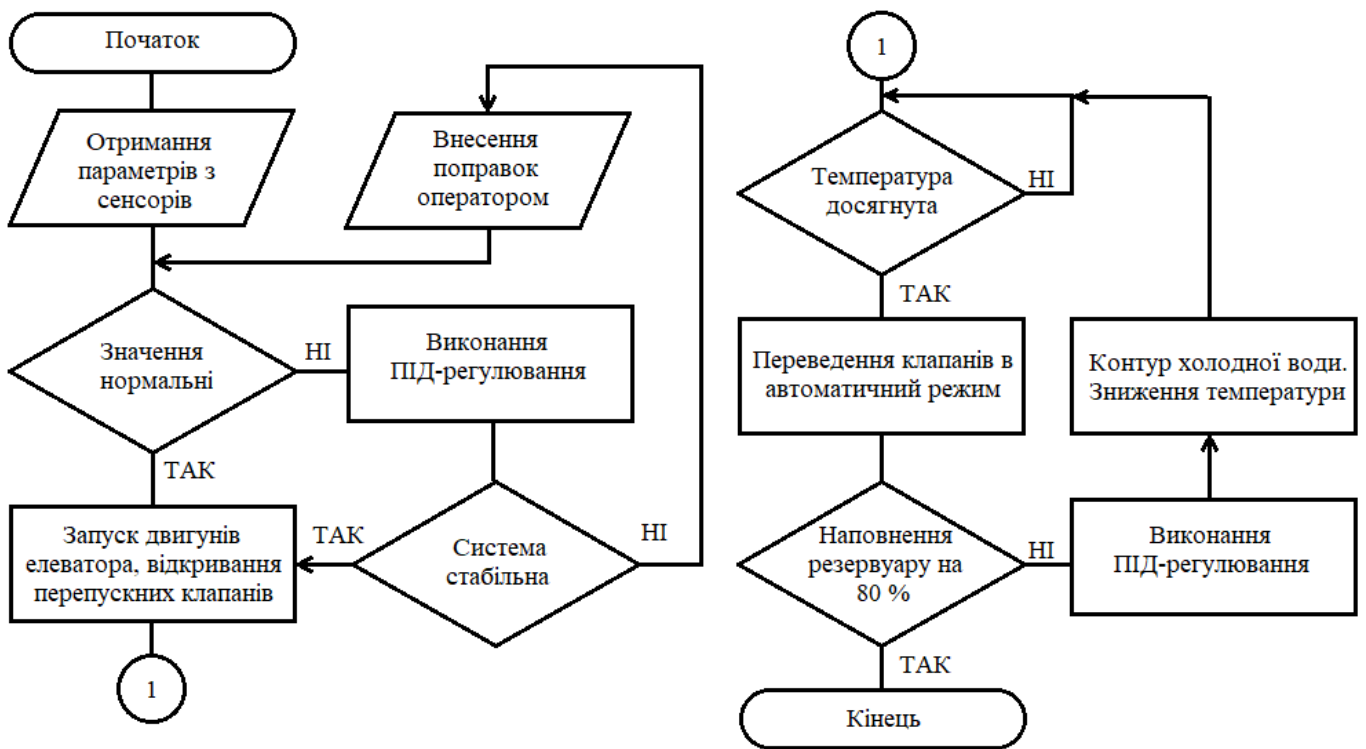


Рисунок 2.9 – Блок-схема для дублюючої системи з ПІД-законом регулювання з подвійною підпорядкованістю

Комп'ютерне моделювання – це процес відтворення поведінки системи при різних зовнішніх впливах за допомогою комп'ютерної програми. Призначене для отримання кількісних і якісних висновків про модельовану систему. Переваги такого способу полягають у тому, що в моделі є можливість перевірити її поведінку при задані екстремальних значень, які є малоімовірними в роботі в звичайному режимі. Наприклад, перевірити поведінку системи при коротких замиканнях, при пожежі на виробництві, при втраті контролю над спалюванням сировини, при браку сировини. Такі методи дають ширші можливості для проектування безпечних комп'ютерно-інтегрованих систем, адже в реальності імітація таких процесів могла б пошкодити обладнання і зіпсувати продукцію [16].

Контролювати стан обладнання цукрового заводу необхідно в 3 етапи: попередній, поточний і заключний. Попередній контроль – це огляд і тестування всіх виробничих систем перед початком запуску виробництва. При

цьому враховується також якість вхідної сировини. Поточний контроль стосуються перевірки протягом виконання виробничого процесу в режимі реального часу. Саме тоді є найбільша ймовірність виникнення відхилень. Заключний контроль – це оцінка результатів роботи обладнання. Також туди входить перевірка якості вихідної продукції після кожного етапу обробки (стружка, сироп, утфель, жом, цукор).

Вирішуючи задачі контролю технологічного процесу, можна прослідкувати за тим, що навіть безперервний моніторинг, про що йшлося вище, не дає 100 відсоткової впевненості у правильності зібраних показів з датчиків. Тому важливо проводити періодичну діагностику, і через певний час напрацювання обладнання виставляти нулі системи. Це необхідно робити задля калібровки параметрів із урахуванням поточних потреб. І одним з найбільших чинників, які викликають потребу калібровки – це фізичний знос деталей, а саме: розтяг привідних ланцюгів, затвердіння резинових ущільнювачів, шлак в системі подачі буряків, зростаючий опір старих підшипників, накип у резервуарах вакуум-випарних апаратів. Все це дає незначне, але відхилення показників від норми. На основі цього контролери роблять непотрібні поправки, що ведуть до порушення технологічного процесу виготовлення цукру і зниження ефективності праці [17].

3. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ТА ОЦІНКА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА

3.1. Побудова системи контролю параметрів в SCADA

Для побудови комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів використовуються різні засоби та програмно-технічні платформи. Серед них на цукрових заводах використовуються такі як: MES, SiemensWinCC, DCS, HMI (Human-machineinterface) і SCADA. З точки зору зручності в користуванні, наочності процесів та відносно невеликим вимогам саме на базі останньої будуть побудовані досліджувані ТП.

SCADA – цескладний програмно-технічний комплекс, що призначений для збору, опрацювання та зберігання інформації в режимі реального часу. Він дозволяє слідкувати за змінами у виробничих процесах, оперативно реагувати на всі чинники та вносити відповідні поправки.

Для повноцінного функціонування цукрового заводу потрібно розробити систему, яка керується запрограмованими алгоритмами, збирає параметри з кожного етапу виробництва. До таких належать: дифузія, мийка, градирня, випарна, жомопреска, сульфитація, конденсат, продуктової, дефекосатурація, МВЖ. Розпочнемо з найважливішого етапу у виробництві цукру – дифузії. На цьому етапі було пов'язано такі елементи: головний буряковий бункер, двоконтурний лубрикатор (для подачі мастила), 4 відділення бурякорізки, 2 транспортери стружки (похилий (рисунок 1.4) і горизонтальний), датчики рівня, витратомір, головний дифузійний апарат ДС-12, 2 пульповловлювачі, теплообмінники, збірник конденсату, двигуни і насоси. Для правильної роботи дифузійного блоку потрібно контролювати такі базові параметри: температура вхідної води, витрата стружки, обороти шнека, наповнення дифузійних камер і збірників відпрацьованої води.

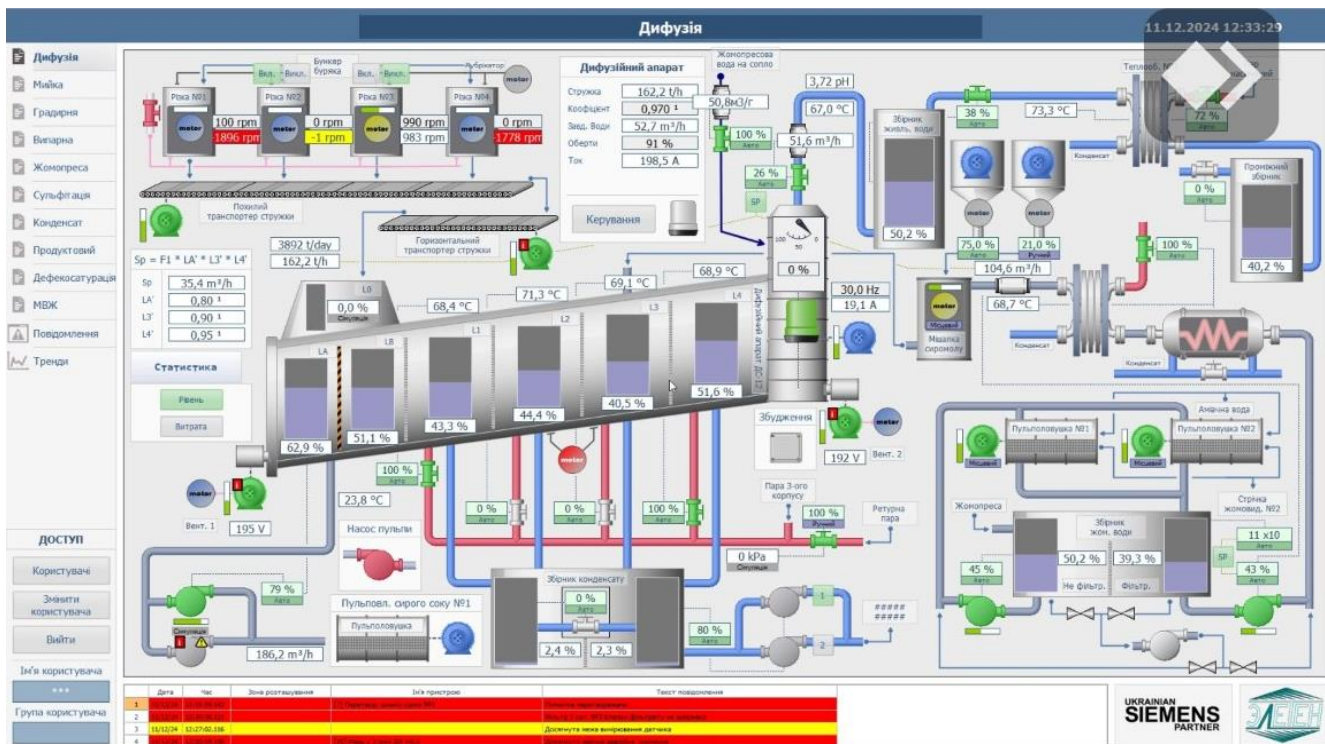


Рисунок 3.1 – Схема SCADA для дифузії

Як бачимо з рисунку 3.1, температура вхідної води дорівнює 73,3 °С, витрата стружки – 162,2 тон/год, обороти шнека – 91%, струм – 198А, рівень наповнення дифузійних камер, в середньому – 50%, теплообмінники відкриті, а інші резервуари не заповнені, лубрикатор справний і забезпечує попарне ввімкнення бурякорізок. Тобто, в даному випадку, система працює стабільно із правильними показниками, що не виходять за межі норми. Контроль даних параметрів дозволяє ефективно використовувати сировину, споживаючи менше ресурсів завдяки оптимізації виробництва.

Наступною за важливістю після дифузії йде випарна станція з вакуум-випарними апаратами. Для виварювання утфелю і кристалізації сиропу необхідно контролювати важливі параметри. Серед них: тиск, температура пари, кількість сиропу в резервуарах. Слід враховувати, що на цьому етапі існують такі контури: контур дифузійного очищеного соку, контур пари, контур аміачного конденсату. Для наочності процесів всі контури позначені різними кольорами.

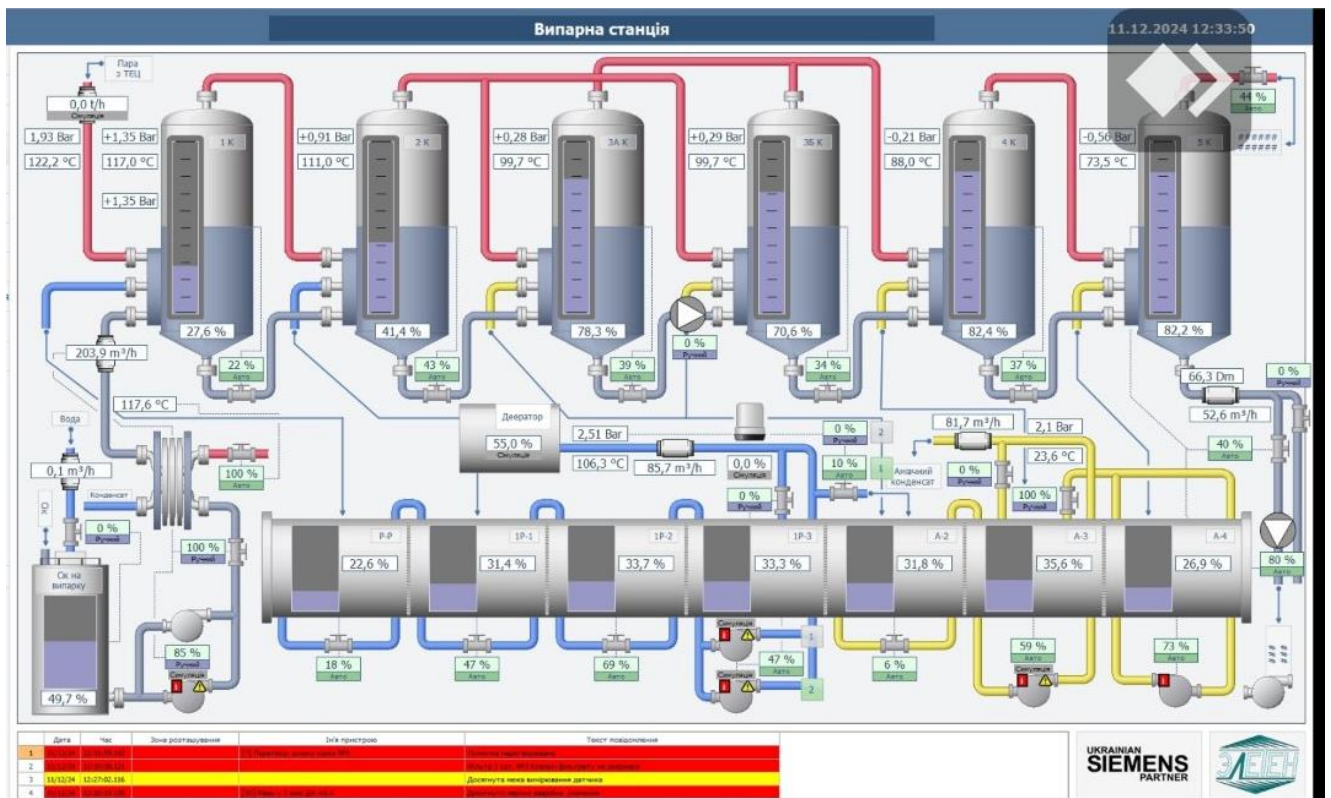


Рисунок 3.2 – Схема SCADA для випарної станції

З даного рисунка 3.2 видно, що температура пари з ТЕЦ починається зі значення 122,2 °С і потім поступово знижується. Тиск в системі першого резервуара дорівнює +1,35 Bar, а в останньому -0,56Bar, що відповідає умовам вакууму. Кількість сиропу в резервуарах не перевищує 85%, а їхні перепускні клапани регулюються автоматично. Насоси контуру аміачного конденсату працюють з нормально охолодженою рідиною до 23,6 °С при тиску в 2,1 Bar. Запірні клапани теплообмінника і конденсату повністю відкриті.

На основі даних значень можна зробити висновок, що система керування випарною станцією повністю справна і працює в межах нормальних значень. Аномальних відхилень по тиску і температурі не виявлено.

Після процесу дифузії завжди існує побічний продукт – жом. За пресування і транспортування відповідає відділ жомопреска (рисунок 3.3). По своїй конструкції відносно простий: 3 шнеки, 7 транспортувальних стрічок, 2 преси і збірник жомової води. Параметри, що повинні контролюватися: сила

струму і частота струму для двигунів пресів та рівень жому в баку попереднього наповнювання пресу.

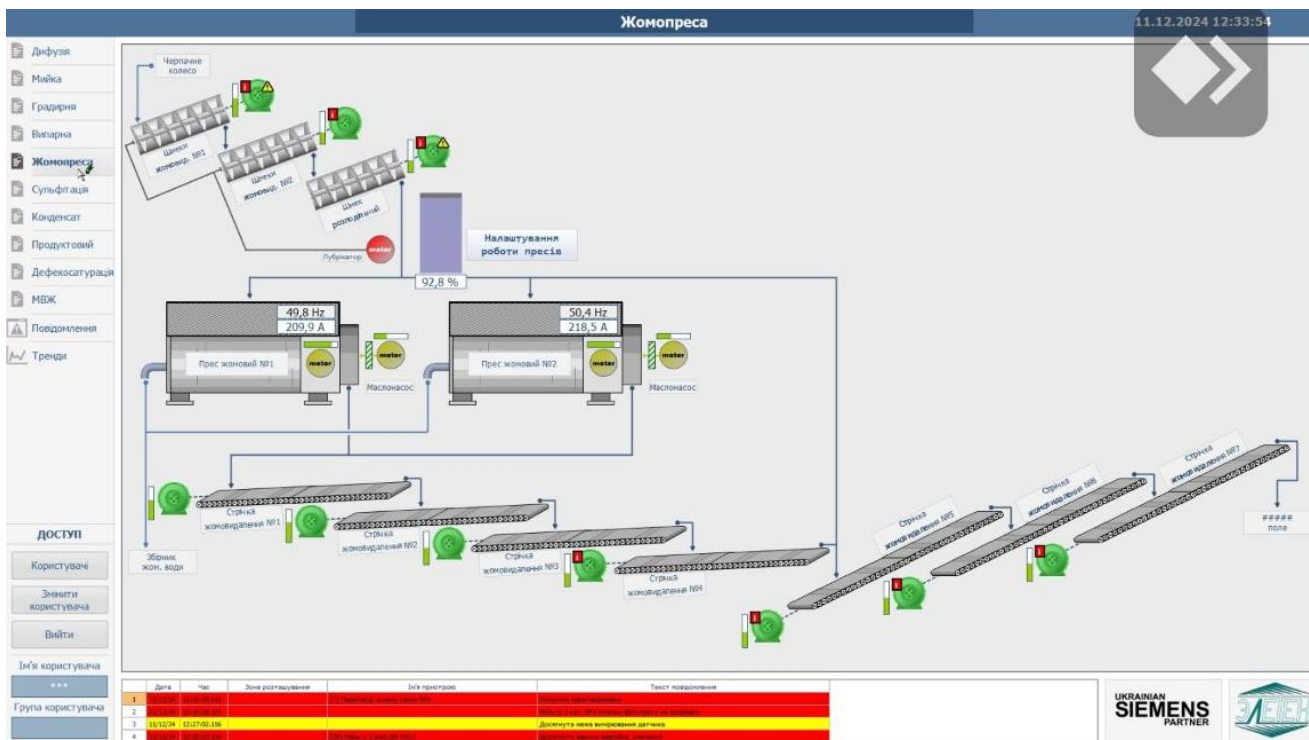


Рисунок 3.3 – Схема SCADA для відділу жомопреска

Частота струму в обох пресах близька до 50 Гц, сила струму 209,9 та 218,5 А і адаптується під конкретну кількість жому в пресах. В баку перед пресом наповнення максимально допустиме 92,8%.

В цьому випадку теж всі механізми працюють в звичайному режимі і контрольовані показники не виходять за межі норми. Вихід пресованого жому розраховується з формули: від сирого жому відняти жомопресовану воду.

Також були побудовані системи контролю параметрів SCADA і для інших важливих етапів. Моніторинг, що здійснюється за таким принципом показав кращу ефективність використання ресурсів і високу продуктивність, що приводить до поліпшення умов праці та більшого виходу готової продукції.

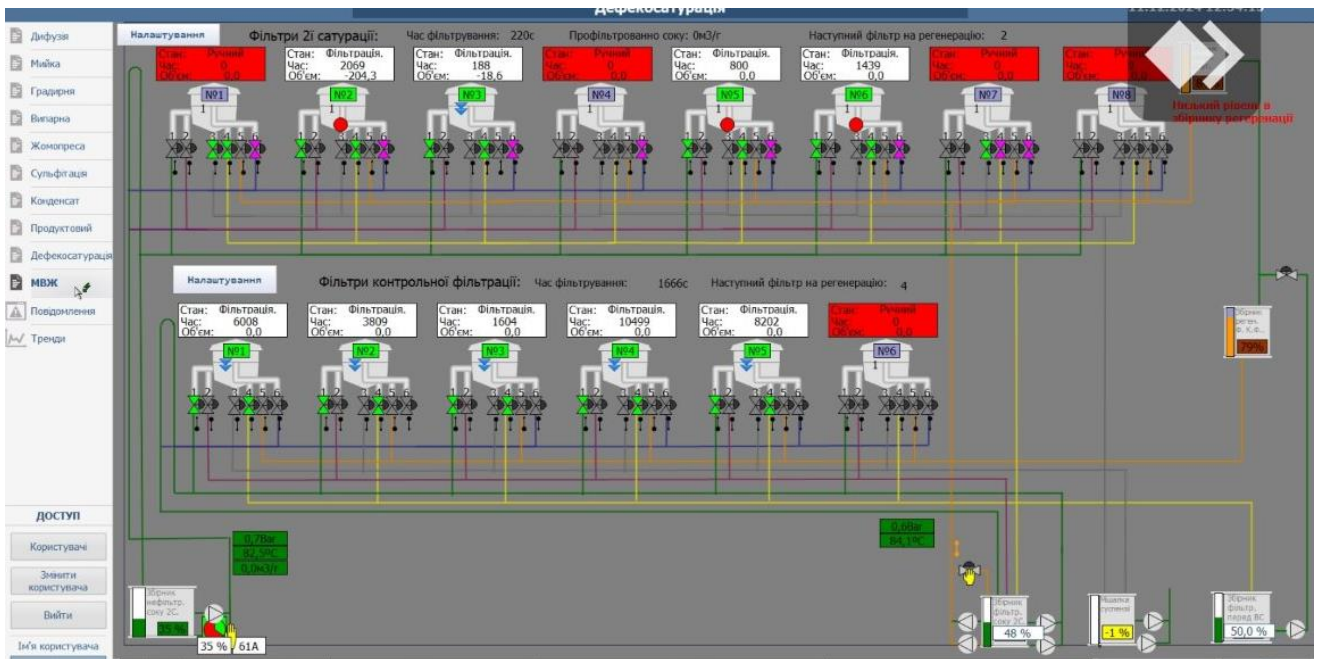


Рисунок 3.4 – Схема SCADA для відділу блоків МВЖ

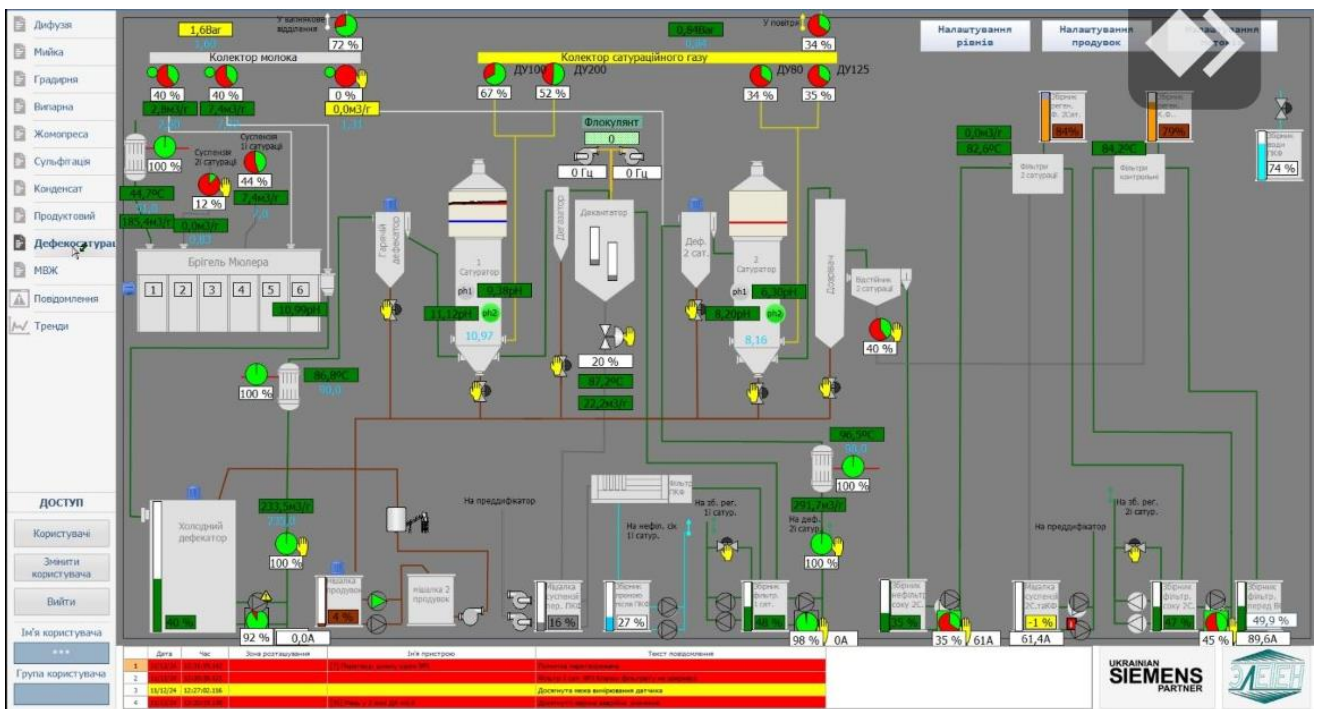


Рисунок 3.5 – Схема SCADA для відділу дефекосатурація

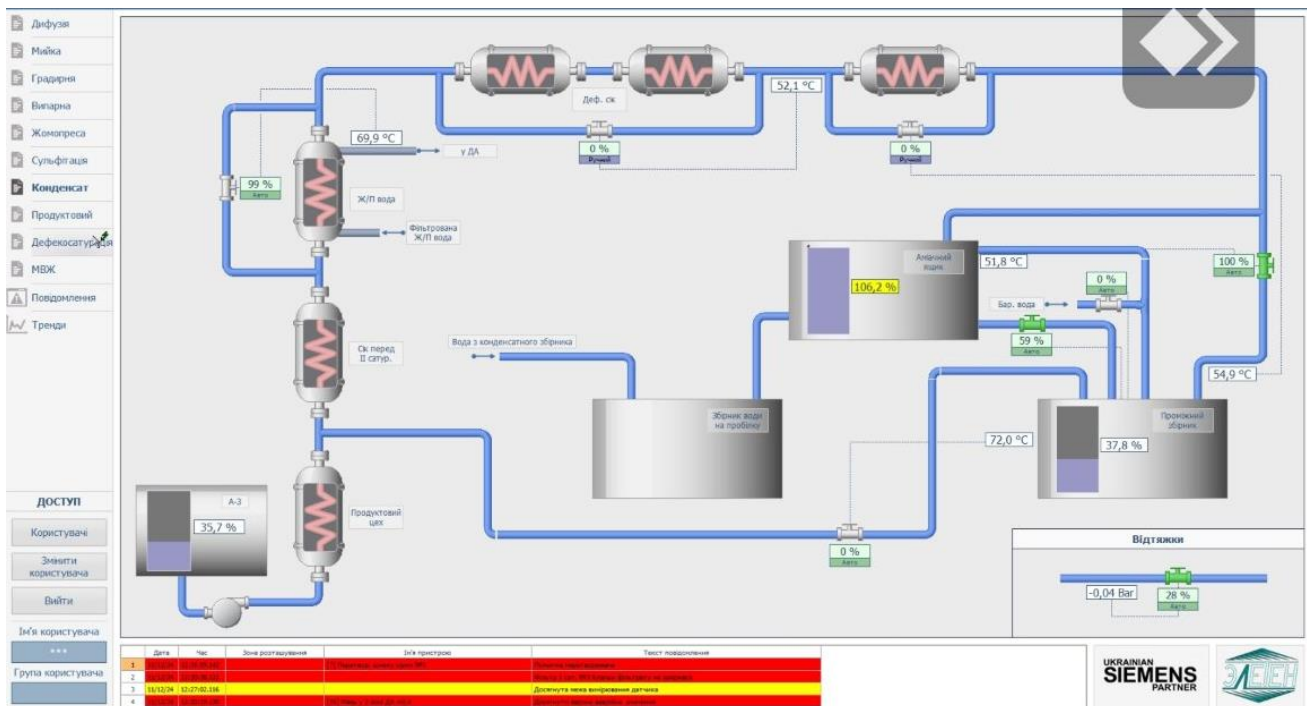


Рисунок 3.6 – Схема SCADA для відділу конденсату

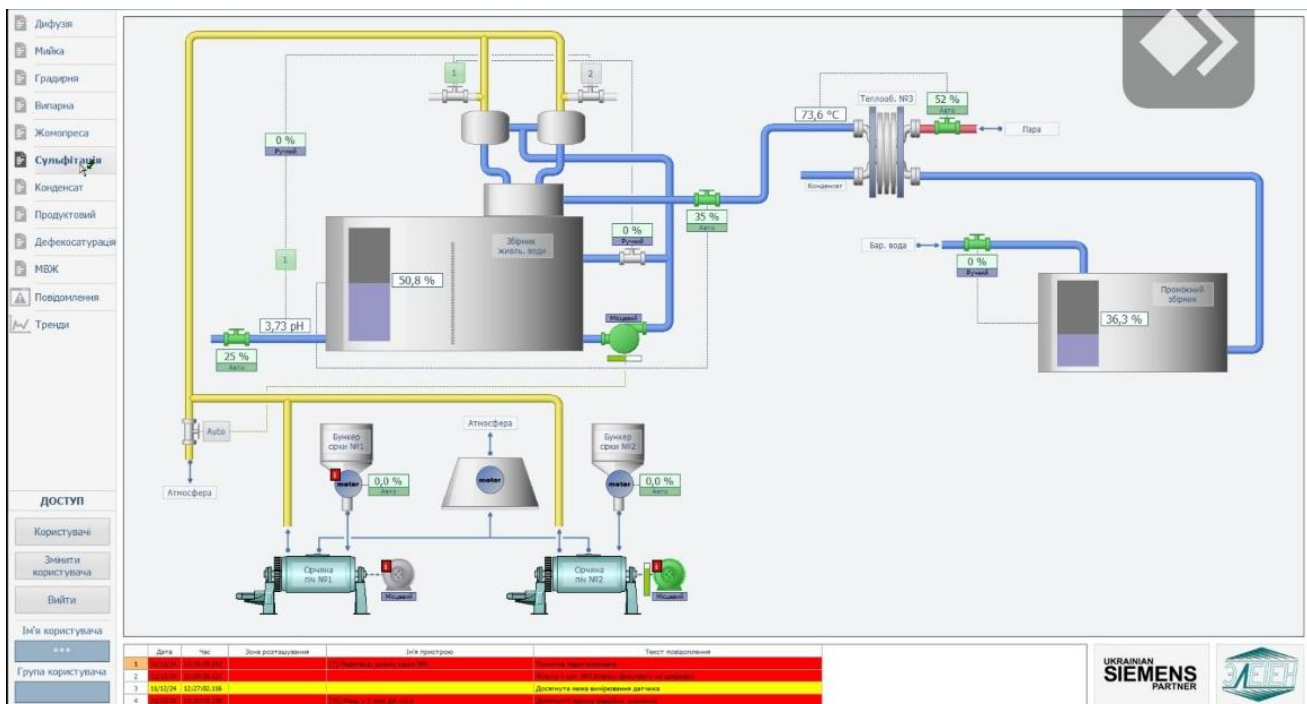


Рисунок 3.7 – Схема SCADA для відділу сульфатації

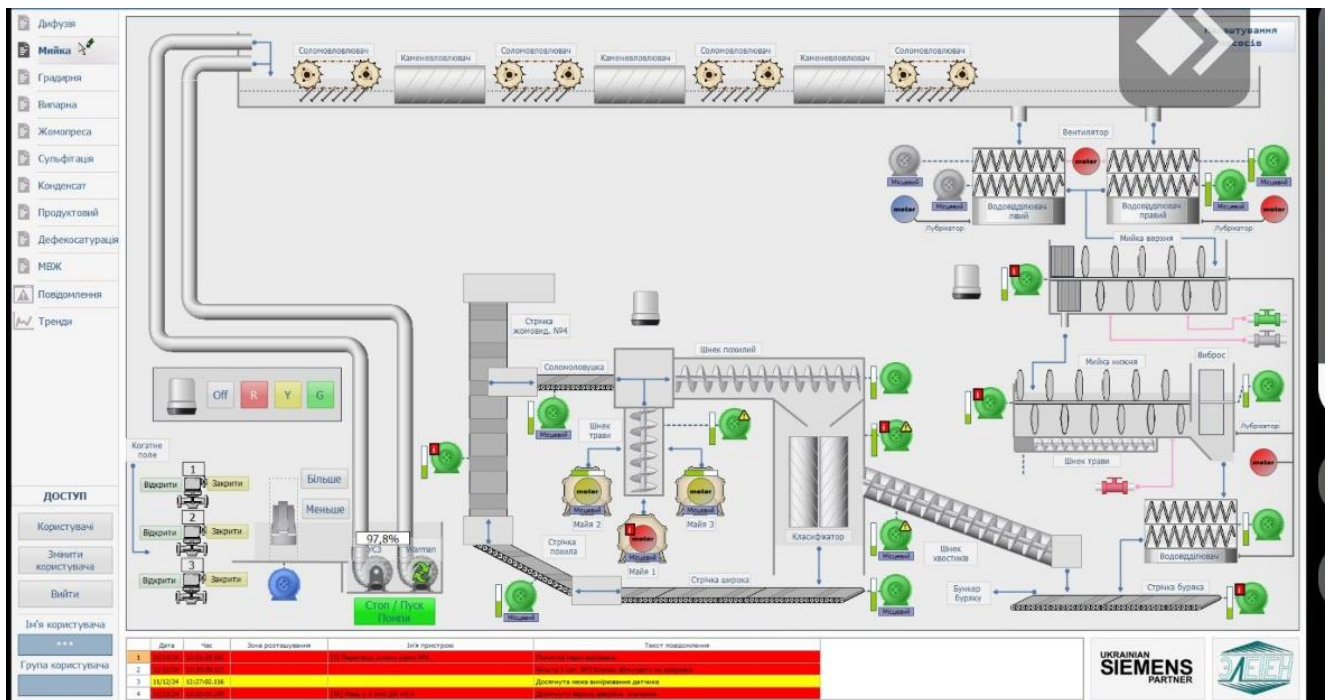


Рисунок 3.8 – Схема SCADA для відділу бурякомийки

3.2. Модульна система підтримки прийняття рішень виробничих процесів

Побудовані SCADA системи дозволяють чітко слідкувати за протіканням технологічних процесів різних відділів, проте моніторинг мало ефективний без належної системи керування. На основі зібраних показників потрібно побудувати систему підтримки прийняття рішень, причому для кожного відділу – свою. Система підтримки прийняття рішень для виробничих процесів – це комп’ютеризована система, що складається з взаємопов’язаних програмних модулів, які надають інструменти для збору, аналізу даних та моделювання. Цим забезпечується допомога керівникам приймати технічно обґрунтовані рішення. Тобто, така платформа має бути модульна і універсальна, така, яка би підходила для кожного відділу цукрового заводу. Розроблену СРП можна поділити на дві категорії: оперативні та стратегічні. Оперативні дозволяють втручатися безпосередньо в систему і вносити необхідні зміни на протигагу виникаючим збуренням. Стратегічні мають довгострокову перспективу і використовують аналіз систем на основі запрограмованих алгоритмів і тих же часових рядів. (детальніше в розділі 2.1).

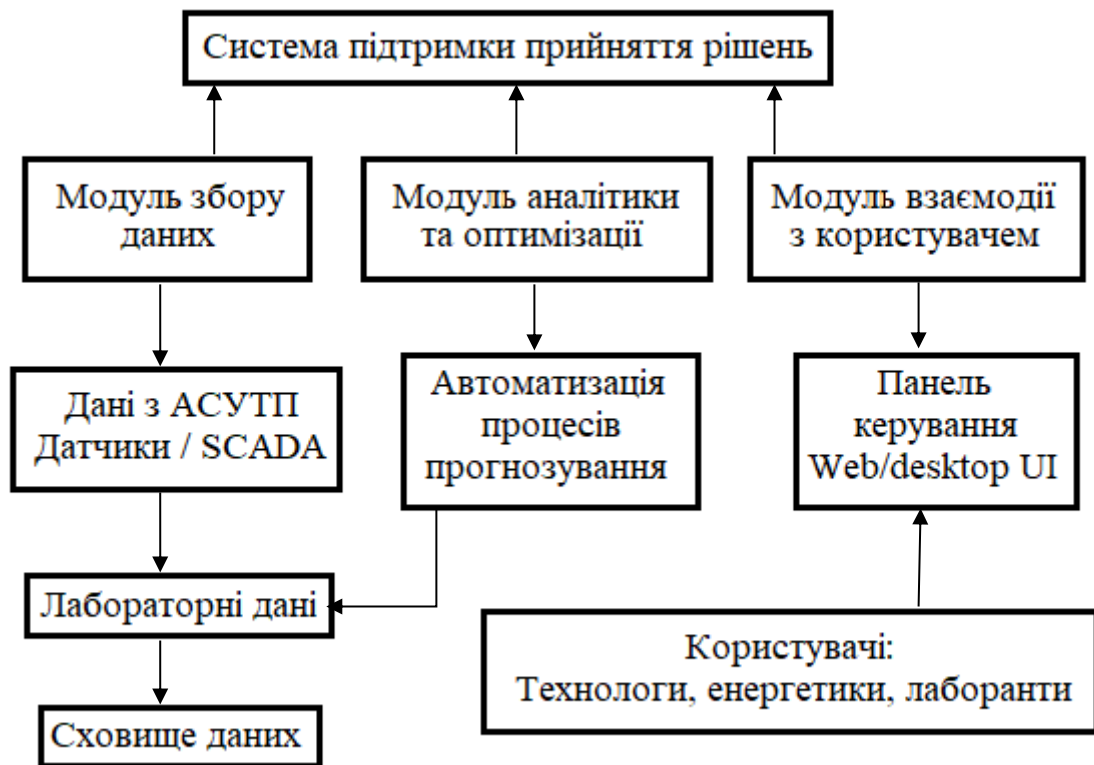


Рисунок 3.9 – Принципова схема підтримки прийняття рішень на цукровому заводі

На рисунку 3.9 зображено кілька модулів СППР. До групи вхідних даних тут можна віднести такі: тиск, температура, хімічні показники, енергоспоживання, витрати сировини та матеріалів. Модуль збору даних забезпечує перевірку цих параметрів та на їхній основі формує цифровий паспорт партії буряків [18].

Як бачимо, загальна архітектура ППР будується на основних модулях. Додатково можуть бути окремо впроваджені такі модулі як: модуль енергоменеджменту, економічного аналізу та планування і модуль моніторингу відповідності ДСТУ/ISO.3 позитивних наслідків впровадження побудованої СППР можна відзначити скорочення простоїв обладнання і роботи на холостому ходу, що в свою чергу дає зниження електропотреб на 7-10%, а також мінімізацію людських помилок та швидке реагування на відхилення від заданих технологічних параметрів.

Інтерфейс системи, в основі якого лежить програма керування контролерами Siemens дозволяє здійснювати ефективну людино-машинну взаємодію (3.10). Таким чином розподіляються обов'язки. Рутинні задачі виконує комп'ютер, а важливі рішення приймає інженер, користуючись зібраними даними і попередженнями системи, що носять рекомендаційний характер.

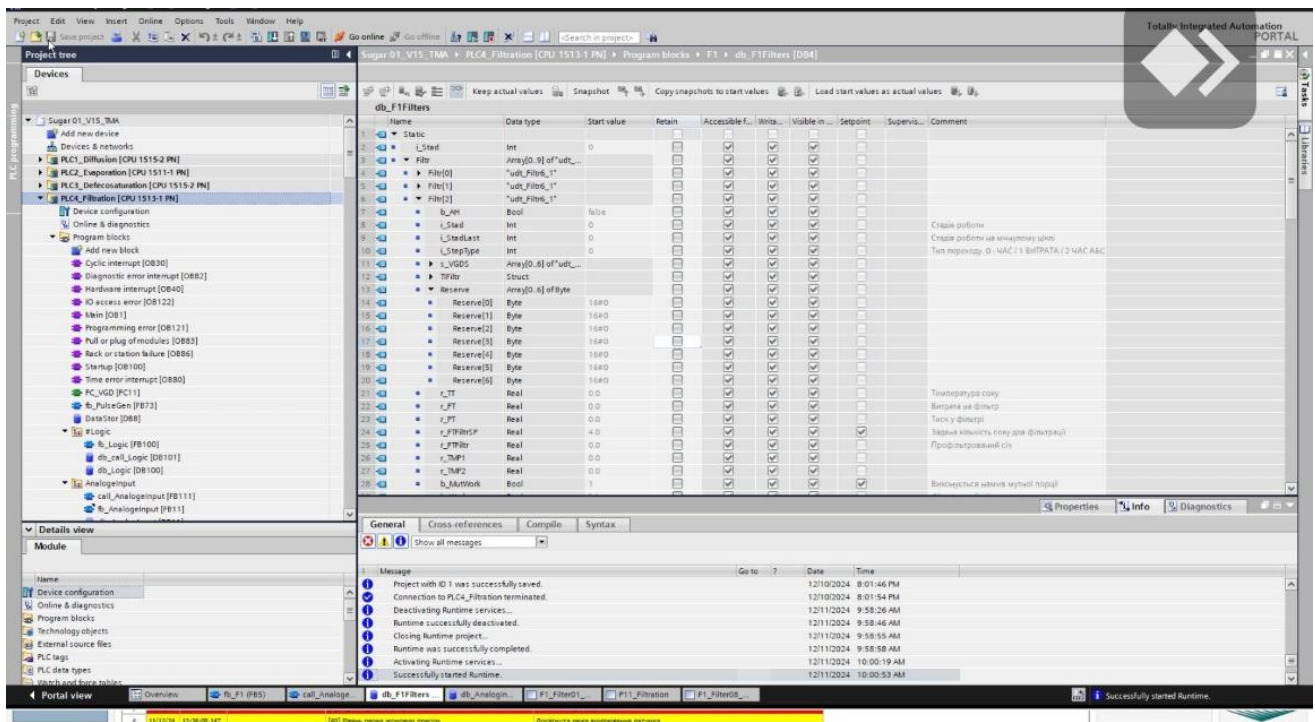


Рисунок 3.10 – Інтерфейс людино-машинної взаємодії

Очевидно, що всі функції регулювання передбачають наявність перехідних процесів – стану, коли положення координат динамічної системи змінюється з часом при переході від одного встановленого стабільного режиму до іншого. Це явище пов'язано із тим, що елементи системи не можуть миттєво змінити свої властивості. Найбільш помітно це проявляється в електричних колах, проте якщо розглядати систему керування ТП як набір електричних імпульсів надісланих із сенсорів, то стає зрозумілою, що цей стан повинен обов'язково бути врахованим при побудові системи збору даних. Причиною таких коливань зазвичай буває плаваюча ємність, опір та індуктивність електричного кола, які перерозподіляються при комутації

сигналів або ввімкненні нових споживачів (3.11). Для врахування цього реактивного явища використовуються 2 закони Кірхгофа:

$$\sum_i I_k$$

Формула 3.1 – Перше правило Кірхгофа

$$\sum_i E_i = \sum_k I_k R_k$$

Формула 3.2 – Друге правило Кірхгофа

Керуючись цими законами можна дослідити електрорушійну силу, струм та опір на конкретних ділянках електричного кола. Звідси випливає, що:

$$RC \frac{du_c}{dt} + U_c = U$$

Це працює навіть для найпростішого кола з ключем, резистором та конденсатором.

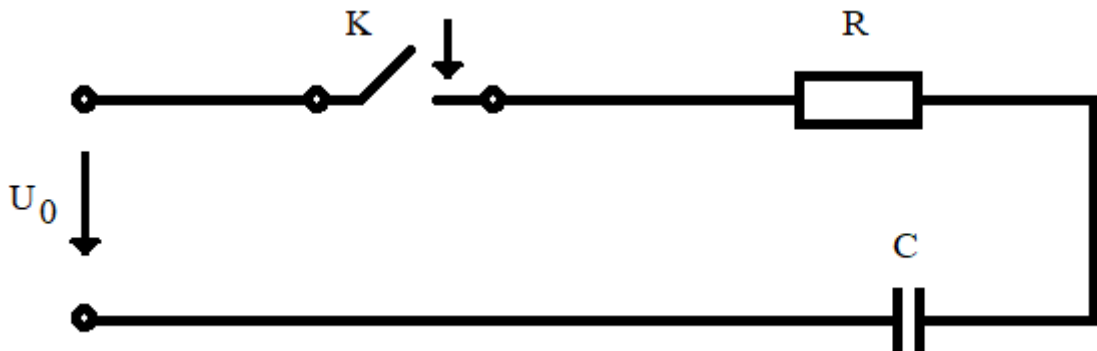


Рисунок 3.11 – Електричне RC поле з постійною напругою

До переваг даного розрахунку тимчасових короточасних змін належить: висока точність, реалістична оцінка захисту та динаміки системи, можливість оптимізації для автоматичного управління. Серед недоліків можна виділити велику обчислювальну складність, необхідність точних початкових умов та неоднозначна інтерпретація отриманих результатів [19].

3.3. Перспективні напрямки застосування архітектурних рішень в організації виробництва

Сучасні технології та підходи, що дозволяють підвищити ефективність, гнучкість, якість та конкурентоспроможність виробничих процесів напряму залежать від впроваджених перспективних напрямків застосування архітектурних рішень в організації виробництва. Різкий розвиток технології виробництва неухильно веде до нового прориву в індустрії, що вже отримав назву Технологія 4.0. Це означає, що на виробництвах впроваджуються кіберфізичні системи, що інтегрують фізичне виробництво з цифровими технологіями, використовується Інтернет речей, штучний інтелект, та найголовніше для харчової промисловості – автоматизація та машинне навчання для оптимізації процесів.

Ключовими характеристиками такого розвитку можна вважати такі чинники:

- Модульність, можливість використання окремих взаємозамінних блоків для швидкого перепрофілювання системи керування і збору даних.
- Розподіленість обчислювальних систем та хмарні сервіси.
- Широке впровадження робототехніки для мінімізації людського фактору.
- Віддалений моніторинг і управління.
- Інтеграція з MES, SCADA системами.
- Використання цифрових моделей.
- Об'єднання різних рівнів керування в єдину інформаційну модель.
- Використання системи аналізу BigData для прогнозування та підтримки прийняття рішень.
- Екологічно орієнтовані архітектурні рішення.

Розглядаючи дану комп'ютерно-інтегровану систему збору даних, можна зробити висновок про те, що вона повністю відповідає всім сучасним вимогам та ключовим характеристикам Технології 4.0 [20].

Втім таку систему можна розглядати як готовий набір інструкції для побудови будь-якого промислового об'єкту. Запропоновані архітектурні рішення можуть бути дієвим інструментом автоматизації і для інших сфер, для інших заводів. Тотальний перехід на нову систему контролю параметрів забезпечить стабільність та зручність виробництва, зменшить витрати електроенергії та підвищить безпеку технологічних процесів. Однак така система не позбавлена і недоліків. Серед них – незатребуваність низько кваліфікованих працівників, що в свою чергу потягне скорочення робочих місць на виробництвах і підніме поріг знань та навиків для входу в промисловість. Проте переваги, якими наділений даний принцип керування підприємством значно покривають ці недоліки, мінімізуючи усі можливі ризики.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було відвідано Збаразький цукровий завод та ознайомлено в достатніх обсягах зі структурою підприємства, отримано технічне завдання та деякі необхідні схеми поточної автоматизації виробництва. Було проведено дослідження технологічного процесу виробництва цукру та аналіз вимог до контролю його основних параметрів. Визначено основні характеристики досліджуваного об'єкта. Проаналізовано існуючі архітектурні рішення вирішення задач контролю базових параметрів на підприємстві, а також визначено їхні переваги та недоліки. Перевагою такої архітектури є доступність і відмовостійкість. Серед недоліків – відсутність окремих контролерів на кожен процес, що унеможливує формування єдиної інформаційної системи. Сформовано вимоги до комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів на виробництві харчової промисловості.

Оцінено алгоритмічні та апаратні рішення задач контролю технологічного процесу на досліджуваному об'єкті. Доведене теоретичне обґрунтування методів розв'язку задач. Описано роботу моделей формування базових показників в режимі реального часу. Описано існуючі та перспективні методи контролю стану обладнання виробничих процесів та чинники, що впливають на їх стан. Втім, досі реалізація такої системи була неможливою з використанням базових засобів та стандартних архітектурних рішень.

Також проведений детальний аналіз програмно-технічної реалізації елементів комп'ютерно-інтегрованої системи, в тому числі, із запропонованою схемою контролю. Досліджено базові методи застосування інформаційних систем та функції, які вони повинні виконувати. Оцінено та враховано наслідки перехідних процесів виробництва. Досліджено програмні засоби реалізації, зокрема ПЗ контролерів Siemens та інтерфейси людино-машинної взаємодії. Побудовано системи контролю параметрів виробництва в SCADA для восьми ключових відділів. Створено імітаційну модель та наведені основні робочі показники зняті в конкретний момент часу з реально працюючого обладнання. Запропоновано модульну систему підтримки прийняття рішень

виробничих процесів. Доведено ефективність та переваги даного методу контролю базових показників цукрового заводу. Досліджено перспективні напрямки застосування даних архітектурних рішень в організації виробництва цукру та виділено їхні переваги та недоліки. Реалізовано повний цикл такої комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів, що дозволяє розпізнавати відхилення і оперативно реагувати на них відповідно до заданого алгоритму роботи. Це підвищує ефективність заводу, покращує безпеку технологічного процесу та забезпечує якісний контроль над важливими параметрами підприємства.

Досліджено, що дану архітектуру можна впроваджувати в інших промислових сферах. Виявлено позитивні та негативні якості застосування такого принципу керування автоматизованим об'єктом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. На Гнідавському цукровому заводі розповіли – [Електронний ресурс] – 2023 – режим доступу: <https://business.rayon.in.ua/news/93732-na-gnidavskomu-zavodi-rozpovili-iak-pererobliaiut-buriaki-na-tsukor>.
2. Технологія виробництва цукру – [Електронний ресурс] – 2021 – режим доступу: <https://naurok.com.ua/tehnologiya-virobnictva-cukru-z-cukrovogo-buryaku-251777>.
3. Промислові комутатори МОХА – [Електронний ресурс] – 2024- режим доступу: <https://www.moxa.com.ua/industrialethernet/products>.
4. Слабоспицька О.О. Технологічна модель процесу автоматизованого виробництва сімейств програмних систем: Проблеми програмування, науковий журнал №1 – 2011.- С. 39-48.
5. Дорошенко А.Ю., Ігнатенко О.П., Іваненко П.А. Про одну модель оптимального розподілу ресурсів у багаторівневих середовищах: Проблеми програмування, науковий журнал №1 – 2011.- С. 29-38.
6. Аксьонова Т.В. Програмна технологія для проведення імітаційних експериментів з математичними моделями фізіологічних систем: Проблеми програмування, науковий журнал №1 – 2012.- С. 110-120.
7. Анисимов А.В., Дорошенко А.Ю. Моделі та засоби паралельних і розподілених систем: Проблеми програмування, науковий журнал №1 – 2008.- С. 17-36.
8. Мар'яновський В.А., Дворцов О.В., Бойко Ю.В., Погорілий С.Д. Підхід до реалізації інтерфейсів кластерних систем: Проблеми програмування, науковий журнал №2 – 2009.- С. 22-29.
9. Ігнатенко О.П. Моделювання обслуговування користувачів у мережі з одним сервером за умов конфлікту: Проблеми програмування, науковий журнал №3 – 2009.- С. 66-72.
10. Алексєєв В.А., Кузміч А.П., Терещенко В.С. Реєстрація та облік інформації про події у спеціалізованих інформаційно-телекомунікаційних системах: Проблеми програмування, науковий журнал №1 – 2011.- С. 49-62.

11. Жеребко В.А., Афанасьєв В.В., Ляковський А.С. Розробка програмної моделі нейромережевого під-регулятора в середовищі labview: Проблеми програмування, науковий журнал №1 – 2011.- С. 99-108.
12. Буров Є. Комп'ютерні мережі. – Львів: БаК, 1999. – 468с.
13. Лавріщева К.М. Моделі взаємодії програм, систем і операційних середовищ: Проблеми програмування, науковий журнал №3 – 2011.- С. 11-22.
14. Ігнатенко О.П. Моделі керування потоками даних мережі інтернет за умов нестабільної поведінки: Проблеми програмування, науковий журнал №1 – 2011.- С. 38-51.
15. Алексєєв В.А., Мостовий В.В., Терещенко В.С., Яловець А.Л. Проблема автоматизації ситуаційного керування охороною зон відповідальності: Проблеми програмування, науковий журнал №4 – 2011.- С. 96-107.
16. Алішов Н.І. локальні мережі. - науковий журнал: проблеми програмування.- 2008.- №1. –С. 37-38.
17. Мердух С.Л., Медведєв Р.Б. Пакет прикладних програм для розрахунку безперервних та дискретних моделей динамічних процесів у контурах керування: Проблеми програмування, науковий журнал №4 – 2012.- С. 105-115.
18. Пітух І.Р., Николайчук Я.М, Возна Н.Я. Принципи побудови комп'ютерних мереж з глибоким розпаралелюванням інформаційних потоків на основі матричних моделей руху даних // Вісник НУ «Львівська політехніка». Радіoeлектроніка та телекомунікації. – 2004. - №508. – С. 263-268.
19. Малий В.Л. Комп'ютерно-інтегрована система відео спостереження розподілених об'єктів // Збірник матеріалів проблемно-наукової конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2024), Тернопіль, 2024. – С. 50-54.
20. Андон П.І., Ігнатенко О.П. Атаки на відмову в мережі Інтернет: опис проблеми та підходів щодо її вирішення / Ін-т програмних систем. – Препр. – К.; 2008. – 50с.