

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку»

Здобувача(ки) групи СУдн-01ш

Олександр ШУЯНОВ

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Керівник: доцент кафедри КСУ к ф-м. н., В'ячеслав ЖУРБА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Суми – 2024

Ном. поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість арку	№ екз.	Прим.
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1			Завдання кафедри	1		
			<u>Новорозроблена</u>			
2		ТЗ	Технічне завдання	2		
3			Реферат	1		
4	A4	СУдн-01ш 6.151.00 ПЗ	Пояснювальна записка	57		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	A4	СУдн-01ш 6.151.00 А2	Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку. Функціональна схема автоматизації	1		
6	A4	СУдн-01ш 6.151.00 ПЕ	Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку. Перелік елементів	1		
7	A4	СУдн-01ш 6.151.00 Е3	Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку. Схема принципово-електрична	7		
8	A4	СУдн-01ш 6.151.00 С1	Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку Структурна схема	1		

СУдн-01ш 6.151.00.ДП

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Шуянов		
Перевір.		Журба		
Реценз.				
Н. Контр.				2
Затверд.		Леонтьєв		

Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку
Перелік документації

Літ.	Арк.	Аркушів
	1	2

СумДУ, 2024

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Олександру ШУЯНОВУ

1. Тема проєкту: Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку Затверджено наказом ректора університету. № 0451-VI від “29” квітня 2024р.
2. Термін здавання студентом закінченого проєкту “10” червня 2024р.
3. Вихідні дані до проєкту: звіт з переддипломної практики, публікації, статті.
4. Зміст пояснювальної записки:
5. Перелік графічних матеріалів: 46 рисунків, 18 таблиць, 1 додатків.
6. Календарний план проєктування

Номер етапу	Зміст етапу проєктування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	
2	Аналіз предметної області установки з виробництва цукру. Область застосування. Призначення.	
3	Розробка автоматизованої лінії з виробництва цукру з цукрового буряку	

4	Розробка основних схем автоматизації.	
5	Розробка інтерфейсу оператора	
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	10 червня

7. Дата видачі завдання “” червня 2024р.

Керівник проекту:

Доцент кафедри КСУ,

к.ф-м.н.,

В'ячеслав ЖУРБА

Здобувач:

студентка гр. СУдн-01ш

Олександр ШУЯНОВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування автоматизованої системи виробництва цукру з
цукрового буряку

Розробник:
студентки групи СУдн-01ш

Олександр ШУЯНОВ

Погоджено:
доцент кафедри КСУ,
к.ф-м.н.,

В'ячеслав ЖУРБА

Суми – 2024

1. **Назва і галузь застосування:** Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку; виробництво продуктів споживання, виробництво цукру.
2. **Підстави для проектування:** Наказ ректора Сумського державного університету № 0451-VI від 29.04.2024 р., інші договори або замовлення.
3. 1. **Загальний опис об'єкта автоматизації:**

Система автоматизації виробництва цукру з цукрового буряку призначена для оптимізації та ефективного управління технологічним процесом. Вона забезпечує автоматичний контроль та регулювання ключових параметрів на всіх етапах виробництва, включаючи температуру, тиск,

2. Основні частини системи та структурна схема:

Система автоматизації виробництва цукру з цукрового буряку складається з кількох ключових компонентів, які взаємодіють між собою для забезпечення ефективного управління технологічним процесом.

Основні частини системи включають:

Польовий рівень: включає датчики та виконавчі механізми, розташовані безпосередньо на технологічному обладнанні. Датчики вимірюють параметри процесу (температуру, тиск, рівень, витрату, рН тощо), а виконавчі механізми (клапани, насоси, двигуни) здійснюють керуючі впливи.

Рівень управління: складається з програмованих логічних контролерів (ПЛК), які обробляють інформацію з датчиків та генерують команди для виконавчих механізмів відповідно до заданих алгоритмів управління.

Операторський рівень: включає автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів з SCADA-системою, яка забезпечує візуалізацію процесу, моніторинг параметрів, ручне керування та архівування даних.

Серверний рівень: містить сервери баз даних та додатків, які забезпечують зберігання історичних даних, формування звітів та інтеграцію з іншими системами підприємства.

Електрошафи: розміщують ПЛК, модулі вводу/виводу, перетворювачі частоти, джерела безперебійного живлення та інше електрообладнання.

Пульты керування: забезпечують локальне управління окремими ділянками виробництва та містять кнопки аварійної зупинки.

Комунікаційна інфраструктура: включає промислові мережі (наприклад, Profibus, Modbus) для зв'язку між пристроями польового рівня та ПЛК, а також Ethernet-мережу для зв'язку між ПЛК, серверами та АРМ операторів.

Взаємозв'язки між компонентами:

Датчики та виконавчі механізми польового рівня з'єднані з ПЛК через модулі вводу/виводу.

ПЛК обмінюються даними між собою та з SCADA-системою через промислову мережу.

SCADA-система отримує дані від ПЛК, відображає їх на АРМ операторів та передає команди керування назад до ПЛК.

Сервери зберігають історичні дані, отримані від SCADA-системи, та забезпечують доступ до них для формування звітів та аналізу.

4.3. Опис блоків системи керування :

1.1 Блок підготовки та подачі сировини

Функції блоку:

Контроль якості вхідної сировини

Регулювання подачі буряків на виробничу лінію

Моніторинг рівня буряків у бункерах

Керування процесом миття та різання буряків

Реалізація функцій:

Контроль якості здійснюється за допомогою автоматичного пробовідбірника та лабораторного аналізатора цукристості. Дані про якість передаються в систему через цифровий інтерфейс.

Регулювання подачі буряків реалізується за допомогою частотно-регульованого приводу конвеєра. Використовується перетворювач частоти середньої потужності.

Моніторинг рівня у бункерах здійснюється ультразвуковими рівнемірами. Сигнали з рівнемірів надходять на програмований логічний контролер (ПЛК).

Керування миттям та різанням відбувається за допомогою ПЛК, який управляє клапанами подачі води (пневматичні клапани) та швидкістю обертання різальних дисків (асинхронні двигуни з частотними перетворювачами).

1.2 Блок екстракції цукру

Функції блоку:

Регулювання температури в дифузійному апараті

Контроль рівня стружки та екстрагенту

Управління швидкістю обертання шнека

Моніторинг якості дифузійного соку

Реалізація функцій:

Регулювання температури здійснюється за допомогою ПІД-регулятора, реалізованого в ПЛК. Вимірювання температури проводиться платиновими термометрами опору, а керування - через регулюючі клапани подачі пари.

Контроль рівня реалізується за допомогою радарних рівнемірів, які передають дані на ПЛК через промисловий протокол зв'язку.

Управління шнеком здійснюється частотним перетворювачем, який отримує завдання від ПЛК.

Моніторинг якості дифузійного соку проводиться за допомогою онлайн-рефрактометра, який вимірює вміст сухих речовин у реальному часі.

1.3 Блок очищення соку

Функції блоку:

Дозування реагентів для очищення

Контроль рН на різних стадіях очищення

Регулювання температури в апаратах

Керування процесом фільтрації

Реалізація функцій:

Дозування реагентів здійснюється насосами-дозаторами з керуванням від ПЛК.

Контроль рН реалізується за допомогою промислових рН-метрів з цифровими електродами. Сигнали передаються на ПЛК через промислову мережу.

Регулювання температури здійснюється аналогічно блоку екстракції, з використанням термометрів опору та регулюючих клапанів.

Керування фільтрацією включає контроль перепаду тиску на фільтрах (датчики перепаду тиску) та управління приводами фільтрів (частотні перетворювачі).

Кожен з цих блоків представляє собою інтегровану систему автоматизації, яка забезпечує точний контроль та ефективне управління відповідним етапом виробництва цукру. Використання сучасних засобів автоматизації дозволяє оптимізувати процес, підвищити якість продукції та знизити енергоспоживання.

1.4 Блок випарювання

Функції блоку:

Регулювання температури в випарних апаратах

Контроль рівня соку в корпусах випарної установки

Управління подачею пари та відведенням конденсату

Моніторинг концентрації сухих речовин у сиропі

Реалізація функцій:

Регулювання температури здійснюється за допомогою каскадної системи регулювання, реалізованої в програмованому логічному контролері (ПЛК). Використовуються термопари для вимірювання температури пари та термометри опору для вимірювання температури соку. Керування відбувається через регулюючі клапани подачі пари.

Контроль рівня реалізується за допомогою ємнісних рівнемірів, які передають дані на ПЛК через промисловий протокол зв'язку.

Управління подачею пари та відведенням конденсату здійснюється за допомогою регулюючих клапанів та автоматичних конденсатовідвідників.

Моніторинг концентрації сухих речовин проводиться за допомогою проточного рефрактометра, який вимірює вміст сухих речовин у реальному часі та передає дані на ПЛК через промислову мережу.

1.5 Блок кристалізації

Функції блоку:

Контроль та регулювання температури в вакуум-апаратах

Управління процесом створення вакууму

Регулювання подачі сиропу та відтоку утфелю

Моніторинг процесу кристалізації

Реалізація функцій:

Контроль та регулювання температури здійснюється за допомогою ПІД-регулятора, реалізованого в ПЛК. Використовуються термометри опору та регулюючі клапани подачі пари.

Управління процесом створення вакууму відбувається за допомогою вакуумних насосів з частотним регулюванням та вакуумметрів.

Регулювання подачі сиропу та відтоку утфелю реалізується за допомогою регулюючих клапанів з електроприводом та витратомірів.

Моніторинг процесу кристалізації здійснюється за допомогою спеціалізованого датчика кристалізації, який передає дані про розмір та кількість кристалів на ПЛК через промислову мережу.

1.6 Блок центрифугування та сушіння

Функції блоку:

Управління процесом центрифугування

Контроль вологості цукру

Регулювання температури сушіння

Керування подачею цукру на пакування

Реалізація функцій:

Управління процесом центрифугування здійснюється за допомогою ПЛК, який керує частотними перетворювачами для управління швидкістю обертання центрифуг.

Контроль вологості цукру реалізується за допомогою інфрачервоного вологоміра, який передає дані на ПЛК через аналоговий сигнал.

Регулювання температури сушіння відбувається за допомогою ПД-регулятора, реалізованого в ПЛК. Використовуються термопари та регулюючі клапани подачі теплоносія.

Керування подачею цукру на пакування здійснюється за допомогою шнекових конвеєрів з частотним регулюванням та ваговими дозаторами.

5. 4. Опис алгоритмів та режимів роботи системи:

Загальний алгоритм роботи системи:

а) Прийом та підготовка сировини:

Зважування та розвантаження буряку

Очищення буряку від домішок

Миття буряку

б) Подрібнення та екстракція:

Нарізання буряку на стружку

Екстракція цукру в дифузійному апараті

с) Очищення соку:

Дефекація (додавання вапна)

Сатурація (обробка вуглекислим газом)

Фільтрація

д) Випарювання та кристалізація:

Згущення соку у випарній установці

Уварювання сиропу до кристалізації

Центрифугування та відділення кристалів цукру

е) Сушіння та пакування готової продукції

Взаємодія з оператором:

а) Моніторинг процесу:

Відображення поточних параметрів на НМІ-панелі

Сповіщення про відхилення від норми

б) Керування процесом:

Запуск/зупинка окремих етапів виробництва

Регулювання параметрів (температура, тиск, швидкість подачі)

с) Ведення журналу подій та звітності

Обробка нештатних ситуацій:

a) Виявлення несправностей:

Постійний моніторинг критичних параметрів

Система аварійної сигналізації

b) Реагування на аварії:

Автоматична зупинка небезпечних процесів

Перемикання на резервне обладнання (за наявності)

c) Інформування оператора:

Виведення повідомлень про аварію на НМІ

Активація звукової та світлової сигналізації

Основні режими роботи:

a) Автоматичний режим:

Повністю автоматизоване виконання всіх етапів

Мінімальне втручання оператора

b) Напівавтоматичний режим:

Частковий контроль оператором

Можливість ручного керування окремими процесами

c) Ручний режим:

Повний контроль оператора над усіма процесами

Використовується для налагодження та обслуговування

d) Аварійний режим:

Активується при виникненні критичних ситуацій

Забезпечує безпечну зупинку виробництва

6. Умови експлуатації системи керування:

Умови експлуатації технічних засобів, що встановлюються в приміщенні на щитах керування:

a) температура навколишнього середовища – від плюс 5 до 50°C

б) відносна вологість до 80% при температурі до 25°C;

в) атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа (від 630 до 800 мм рт. ст.);

г) живлення БЖ для шафи управління – 380В; частота – 50 Гц; живлення ПЛК – 24В;

живлення панелі оператора – 24В.

7. Технічні вимоги:

Склад технічних засобів системи:

a) первинні перетворювачі (давачі);

- б) вимірювачі, що встановлюються безпосередньо на обладнанні;
- в) мікропроцесорний контролер;
- г) засоби відображення і представлення інформації;
- д) засоби введення оперативної і керуючої інформації;
- е) виконавчі механізми;
- є) регулюючі органи;
- ж) перетворювачі сигналів

ДСТУ 21.404 – 85 Автоматизація технічних процесів; ДСТУ 12.2.016 – 81 Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки.

8. Стадії та етапи проектування:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	
2	Аналіз предметної області. Область застосування. Призначення	
3	Розробка автоматизованої лінії виробництва цукру з цукрового буряку	
4	Розробка основних схем автоматизації.	
5	Розробка інтерфейсу оператора	
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	10 червня

9. Додатки:

Додаток А. Конструкторська документація:

- СУдн-01ш 6.151.01 С1 Структурна схема автоматизованої системи виробництва цукру з цукрового буряку.
- СУдн-01ш 6.151.01 А2 Функціональна схема автоматизованої системи виробництва цукру з цукрового буряку.
- СУдн-01ш 6.151.01 Е3 Схема принципова електрична автоматизованої системи виробництва цукру з цукрового буряку.

АНОТАЦІЯ

Шуянов Олександр Вікторович. Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку. Дипломний проєкт. Сумський державний університет. Суми - 2024 р.

Дипломний проєкт містить 54 аркушів пояснювальної записки, 46 рисунків, 18 таблиць, 1 додаток, 9 схем. При виконанні дипломного проєкту було використано 15 літературних джерел.

Дипломна робота присвячена розробці та впровадженню системи автоматизації виробництва цукру з цукрового буряку. Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення ефективності та конкурентоспроможності вітчизняних цукрових заводів в умовах зростаючих вимог до якості продукції та енергоефективності виробництва.

У роботі проведено детальний аналіз технологічного процесу виробництва цукру, починаючи від приймання та підготовки сировини до отримання готового продукту. Визначено ключові параметри та етапи, які потребують автоматизованого контролю та управління для оптимізації виробничого процесу. Особлива увага приділена таким критичним стадіям, як екстракція цукру, очищення дифузійного соку, випарювання та кристалізація.

На основі проведеного аналізу розроблено структурну схему автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП). Запропонована система базується на використанні сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК) та SCADA-системи, що забезпечує високу надійність, гнучкість та ефективність управління. Система включає в себе підсистеми збору даних, обробки інформації, управління технологічними процесами та візуалізації.

У роботі розкриваються такі теми, як аналіз та огляд системи, автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку, підбір технічних засобів автоматизації, розробка схеми електрично принципової та розробка інтерфейсу оператора.

Результати дипломної роботи мають практичну цінність і можуть бути

використані при модернізації існуючих та проектуванні нових цукрових заводів. Впровадження розробленої системи автоматизації сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних виробників цукру та їх відповідності сучасним стандартам виробництва.

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проєкту
«Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку»

Керівник проєкту:

доцент кафедри КСУ,

к. ф-м. н.

В'ячеслав ЖУРБА

Здобувач:

Студентка групи СУдн-01ш

Олександр ШУЯНОВ

СУМИ-2024

ЗМІСТ	
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	5
1.1. Призначення об'єкта	5
1.2. Елементи системи	8
1.3. Технічні характеристики.....	11
РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ З ЦУКРОВОГО БУРЯКУ	14
2.1 Технологія процесу виробництва цукру з цукрового буряку.....	14
2.2 Формування функціональних задач автоматизації.....	15
2.3 Контури керування.....	15
2.3.1 Контур підготовки буряків до дифузійного процесу	15
2.3.2 Контур отримання та очищення дифузійного соку	17
2.3.3 Контур випарювання	18
2.3.4 Контур отримання кристалічного цукру	19
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	22
3.1 Вибір контролера та електроніки	22
3.2 Вибір датчиків.....	32
3.3 Вибір виконуючих механізмів	37
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА НМІ – ІНТЕРФЕЙСУ	40
4.1 Основні поняття про НМІ.....	41
4.2 Вибір середовища розробки	42
4.3 Розробка інтерфейсу	46
ВИСНОВОК	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
ДОДАТОК А	Ошибка! Закладка не определена.

					СУдн-01ш 6.151.00			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Шуянов			Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряка Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Журба					2	57
<i>Реценз.</i>						СумДУ 2024		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		Леонтьев						

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – Система автоматичного керування;

ВМ – виконуючий механізм;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ЩК – щит керування;

ІО – Інтерфейс оператора;

ФСА – функціональна схема автоматизації;

					<i>СЧдН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>3</i>

ВСТУП

Актуальність теми. Цукрова промисловість є однією з найважливіших галузей харчової промисловості України. Виробництво цукру з цукрового буряку - це складний багатоетапний процес, який потребує значних трудових та енергетичних ресурсів. Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку може значно підвищити його ефективність, знизити собівартість продукції та покращити умови праці.

Метою дослідження є розробка системи автоматизованого керування виробництвом цукру з цукрового буряку, яка дозволить оптимізувати всі етапи процесу, підвищити його продуктивність та якість продукції.

Об'єктом дослідження є система автоматизованого керування виробництвом цукру з цукрового буряку.

Завданнями дослідження є:

- Провести аналіз існуючих систем автоматизованого керування виробництвом цукру з цукрового буряку;
- Розробити проектну документацію системи автоматизованого керування виробництвом цукру з цукрового буряку;
- Розробити алгоритми автоматизованого керування окремими етапами виробництва цукру з цукрового буряку;
- Розробити SCADA-систему автоматизованого керування виробництвом цукру з цукрового буряку;

Методи дослідження.

- Аналітичні методи;
- Розробка схем;
- Розробка SCADA;

Практична значимість. Розроблена система автоматизованого керування виробництвом цукру з цукрового буряку може бути використана на цукрових заводах України для підвищення їх ефективності.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Призначення об'єкта

Щороку людство споживає мільярди кілограмів цукру. Точну цифру порахувати складно, але відомо, що солодкого продукту потрібно дуже багато. Найчастіше його використовують у приготуванні їжі. Щоб виготовити 1 кілограм цукру необхідно приблизно 1,5 кілограми буряку.

Цукровий завод є промисловим підприємством, призначеним для переробки цукрового буряку та виробництва цукру. Основним призначенням об'єкта є отримання максимального виходу цукру з цукрового буряку з дотриманням належної якості продукції.



Рисунок 1.1 – Підготовка буряку до виробництва цукру

Виробничий процес на цукровому заводі включає низку технологічних операцій, таких як:

1. Приймання та зберігання цукрового буряку.

Спочатку цукровий буряк збирають на полі спеціальні комбайни. Після чого його збирають в машини і привозять на цукровий завод. Зберігають його в

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

спеціальних бункерах. Перед зберіганням буряки проходять зважування та проходять визначення цукровості. Цим займається спеціальний біохімічний відділ. У таблиці 1.1 зображено вимоги до якості цукрових буряків.

Таблиця 1.1. Вимоги до якості цукрових буряків

Якісні характеристики сировини	Показники якісної сировини	Показники сировини, яку зазвичай здають на завод
Загальна забрудненість (ЗЗ), %	5,0-6,0	10,0-15,0
Масова частка зеленої маси, %	0,1-0,5	1,0-3,0
Масова частка коренеплодів із значними механічними пошкодженнями, %	8,0-10,0	20,0-25,0
Коренеплоди загнилі (гнила маса), %	0,0	1,0-1,5
Цукристість, %	17,5-18,5	16,0-16,5
Вміст альфаамінного азоту, ммоль/100 г	1,5-1,8	2,0-3,5
Вміст редукувальних речовин, %	0,03-0,05	0,07-0,10
МБ-фактор	25-30	30-40
Доброякісність: буряка (%) нормального бурякового соку (%)	75 і вище 90,0-91,5	67-73 86,5-89

На рисунку 1.2 зображено біохімічний аналізатор, за допомогою якого і перевіряються усі якісні показники сировини.



Рисунок 1.2 – Біохімічний аналізатор

2. Підготовка буряку до переробки (миття, очищення, різання).
3. Подрібнення буряку в стружку
4. Процес екстрагування (вилучення цукрози із сировини)
5. Очистка дифузійного соку (вапном і сатураційним газом)
6. Сатурація – процес виведення жому.
7. Вакуум апарат для нарощення кристалів цукру.
8. Центрифугування утфелю (суміші кристалів цукру).
9. Сушка та пакування цукру.

На рисунку 1.2 зображено загальну схему виробництва цукру.



Рисунок 1.2 – Загальна схема виробництва цукру

Крім основної продукції – цукру, на цукрових заводах можуть виробляти побічні продукти, такі як меляса, жом, вапно тощо. Ці продукти можуть використовуватися в інших галузях промисловості, наприклад, у виробництві кормів для тварин, спиртовій промисловості або в якості добрив.

1.2. Елементи системи

Як ми вже визначили цукровий завод має декілька етапів виробництва. На кожному етапі встановлюються відповідні об'єкти обробки цукрового буряку. Для виробництва необхідно встановити:

1. Бункер для зберігання буряку. На рисунку 1.3 зображено бункер, де зберігаються буряки.



Рисунок 1.3 – Бункер зберігання буряку з віброподачею

2. Система транспортування буряку від одного об'єкта до іншого.

Цукровий буряк подається гідротранспортерами до системи очистки буряку. На рисунку 1.4 зображено систему транспортування буряку.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8



Рисунок 1.4 – Гідротранспортер

3. Система очистки буряку.

Буряк потрапляє до великої ванни, де він миється від піску та землі. На рисунку 1.5 зображено ванну, де миється буряк.



Рисунок 1.5 – Миття буряку

Після миття, буряк потрапляє до системи подрібнення буряку.

4. Система подрібнення буряка.

Подрібнення буряку займається спеціальні бурякорізки, які роблять з буряка – стружку. На рисунку 1.6 зображено процес подрібнення буряку

					<i>СЧдн-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

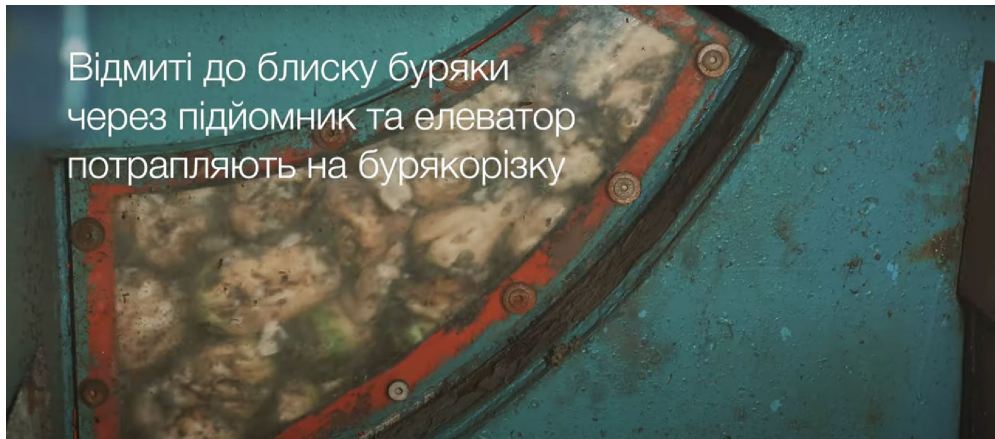


Рисунок 1.6 – Бурякорізка

5. Дифузна установка

Після подрібнення, буряк потрапляє в дифузійний апарат, де відбувається процес екстрагування (процес вилучення цукрози із буряку)

6. Блок очищення

Дифузійний сік йде на станцію очистки, де він обробляється вапном та сатураційним газом.

7. Установка випарювання

Очищений сік, потрапляє на станцію випарювання, де відбувається дегідратація, після чого сироп ще раз проходить фільтрацію і потрапляє до вакуум апарату.

8. Установка вакуумного вирощення кристалів цукру

У вакуум апараті відбувається процес виварювання цукру із цукрового сиропу. На рисунку 1.7 зображено вакуум апарат.



Рисунок 1.7 – Вакуум апарат

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		10

10. Установки сушки та пакування

Отриманий цукор після вакуум машини фугується, тобто в центрефуці відділяється цукор від патоки. Далі цукор сушать та дозують у пакети або мішки.

На рисунку 1.8 зображено компоненти системи, які беруть участь у виробництві цукру

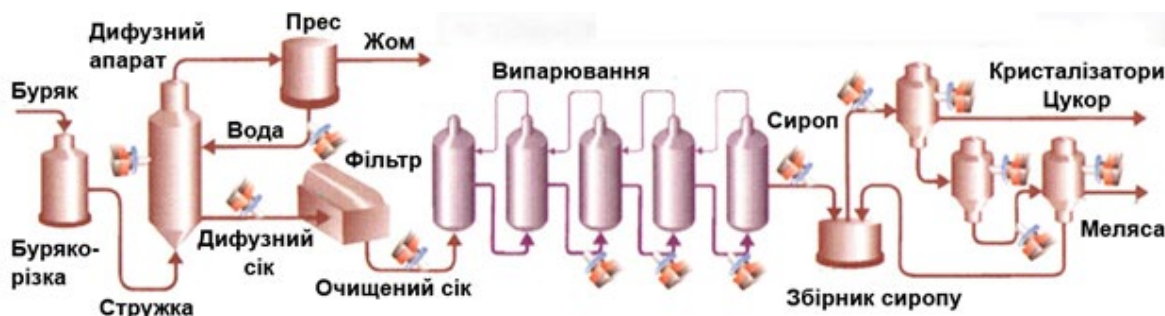


Рисунок 1.8— Компоненти системи виробництва цукру

Також усі процеси, які проходять в установках керуються і контролюються за допомогою шафи керування. У шафі керування встановлюється контролер, модулі вводу-виводу, автоматичні вимикачі та інша необхідна автоматика.

1.3. Технічні характеристики

З технічними характеристиками та умовами експлуатації установки можна ознайомитися у таблиці 1.2 та 1.3 відповідно.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики

№ п/п	Характеристика	Значення
1.	Норма погодинної переробки буряків Норма переробки буряків за добу	<u>138</u> т/год. <u>3 312</u> т/добу
2.	Ритмічність переробки буряків за зміну та за д	Не нижче 92%

3.	Транспортерно-мийна вода	pH <u>9.0-10,0</u>
4.	Ополіскування відмитих буряків перед бурякоелеватором розчином хлорного вапна	П о с т і й н о
5.	Довжина 100 грам стружки	<u>10</u> метрів
6.	Вміст мезги та браку в стружці	Не більше 3 %
7.	Фактор стружки	Не нижче 10,0
8.	Гранично допустимі втрати цукру на дифузії і жому	Не більше <u>0.40%</u> до маси буряків
9.	Температура барометричної води	<u>68*С</u>
	Температура башеного соку	<u>83*С</u>
	Температура жомопресової води	<u>72*С</u>
	Температура сокостружечної суміші	<u>75*С</u>
	Температура середини колони	<u>68*С</u>
10.	pH барометричної води	5,8 – 6,0 од.
11.	Відкачка дифузійного соку	<u>112 %</u>
12.	pH в дифапараті	Не понижувати нижче 6,2
13.	Дезинфекцію дифузії проводити формаліном з розрахунку 20 кг на 100 т. буряків	Формалін вводити через кожні 2 години та додатково перед зупинкою на термін більше 10 хв.
14.	СР дифузійного соку на виробництво	17-17,2 %
15.	Вміст пульпи в дифузійному соці	Не більше 1 г/л

Таблиця 1.3 – Умови експлуатації автоматизованої системи виробництва буряку

Назва	Параметр
Кліматичні умови експлуатації:	
Вологість	від 45 до 65%
Температура	від 10 до 35 °С
Умови експлуатації ЩК:	
Вологість	від 45 до 65%
Температура	від 10 до 35 °С
Положення	Вертикальне
Сутпінь захисту	IP53
Проведення технічного огляду	Раз на пів року
Термін обробки буряку	не більше 100-120 діб

РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ З ЦУКРОВОГО БУРЯКУ

2.1 Технологія процесу виробництва цукру з цукрового буряку

Детальніше ознайомитися з технологічним процесом виробництва цукру із цукрового буряку, можна за допомогою схеми структурної схеми виробництва, зображену на рисунку 2.1.

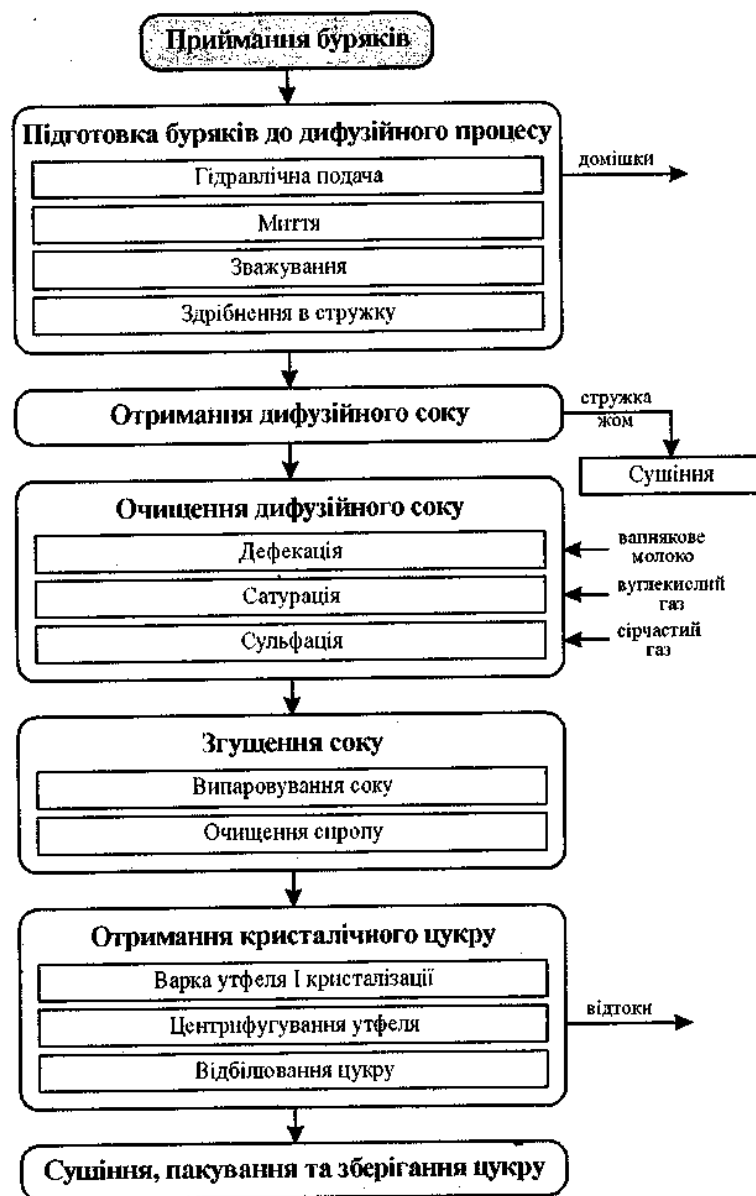


Рисунок 2.1 – Структурна схема виробництва

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ

Лист

14

2.2 Формування функціональних задач автоматизації

Формуємо функціональні задачі автоматизації:

1. Регулювання та контроль подачі буряка
2. Регулювання та контроль процесу дифузії
3. Регулювання та контроль процесу фільтрації
4. Регулювання та контроль процесу випарювання
5. Регулювання та контроль процесу кристалізації та фугування цукру

2.3 Конттури керування

Автоматизовану установку по виробництву цукру можемо розділити на 4 конттури керування. Це необхідно для детального розгляду кожного об'єкту керування, а саме які виконавчі механізми та давачі зворотного зв'язку встановлюються безпосередньо на польовому рівні автоматизації.

2.3.1 Конттур підготовки буряків до дифузійного процесу

Конттур підготовки буряків до дифузійного процесу є важливою складовою технологічної лінії на цукровому заводі. Цей конттур включає кілька етапів і відповідне обладнання, яке автоматизується для забезпечення ефективної підготовки буряків перед екстракцією цукру.

1. Бурякосховище та буряковантажувальне відділення:
 - Датчики вологості та температури в бурякосховищі для контролю умов зберігання.
 - Система керування транспортерами та конвеєрами для подачі буряків до промивного відділення.
2. Бурякопромивне відділення:
 - Контроль рівня води та розчину для промивки буряків.
 - Регулювання витрати води та розчину.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

- Контроль завантаження та розвантаження промивних машин.
- Контроль частоти обертання шнеків промивних машин.
- 3. Різальне відділення:
 - Контроль завантаження бурякорізок.
 - Регулювання частоти обертання різальних дисків.
 - Контроль розвантаження стружки та подачі її до дифузійного відділення.

На рисунку 2.2 зображено контур підготовки буряків до дифузійного процесу

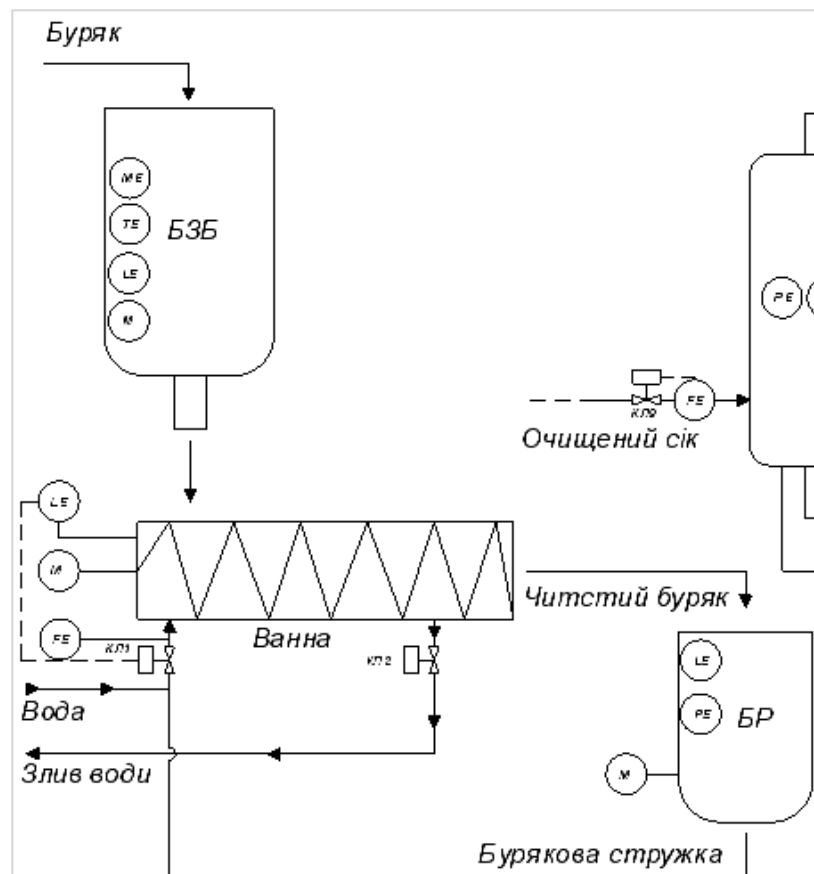


Рисунок 2.2 - Контур підготовки буряків до дифузійного процесу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.3.2 Контур отримання та очищення дифузійного соку

Контур отримання та очищення дифузійного соку є ключовим етапом у процесі виробництва цукру з буряків. Він включає наступні основні стадії, які підлягають автоматизації:

1. Дифузійне відділення:

- Контроль температури дифузійного соку в батареї.
- Регулювання витрати води для дифузії.
- Контроль концентрації цукру в дифузійному соці.
- Контроль часу перебування стружки в батареї.

2. Дефекосатураційне відділення:

- Контроль та регулювання рН дифузійного соку.
- Дозування вапнякового розчину та вуглекислого газу.
- Контроль густини та в'язкості соку після дефекосатурації.
- Регулювання температури в процесі дефекосатурації.

3. Фільтрація та сульфитація:

- Контроль процесу фільтрації для видалення осаду.
- Регулювання витрати сульфітного розчину для знезараження.
- Контроль температури та рН очищеного соку.

4. Сатураційне відділення:

- Контроль процесу насичення очищеного соку вуглекислим газом.
- Регулювання витрати та тиску вуглекислого газу.
- Контроль рівня та густини соку після сатурації.

На рисунку 2.3 зображено контур отримання та очищення дифузійного соку

					<i>СЧдН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

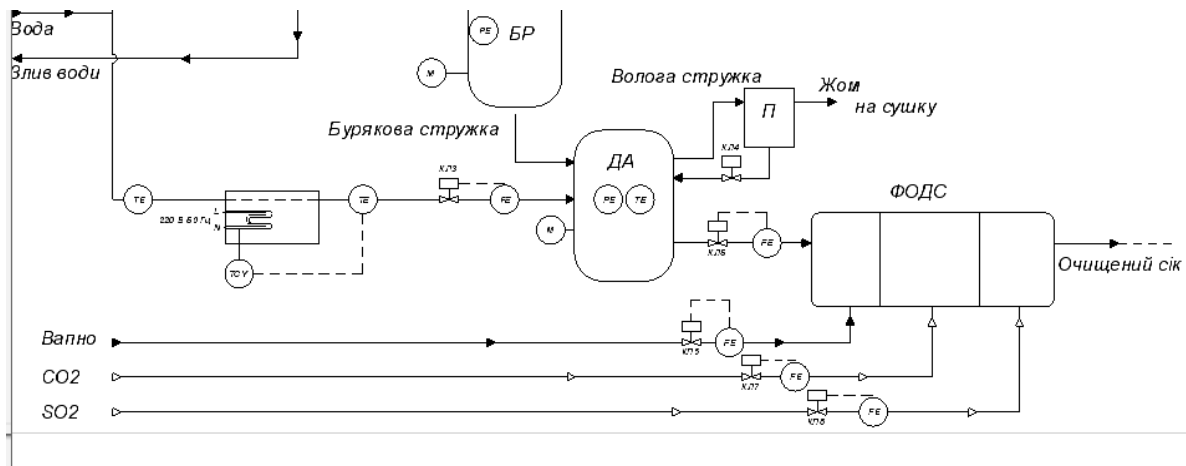


Рисунок 2.3 - Контур отримання та очищення дифузійного соку

2.3.3 Контур випарювання

Контур випарювання є однією з ключових технологічних ділянок у процесі виробництва цукру з буряків. Ця стадія передбачає концентрування очищеного дифузійного соку шляхом випарювання надлишкової вологи з метою отримання утфельного розчину - суміші цукру та меляси. Основні операції контуру випарювання, які потребують автоматизації:

1. Підігрів дифузійного соку перед випаркою:
 - Контроль та регулювання температури соку.
 - Контроль витрати соку.
2. Випарна станція (вакуум-випарні апарати):
 - Регулювання розрідження (вакууму) в апаратах.
 - Контроль рівня соку в випарних апаратах.
 - Регулювання витрати грюючої пари.
 - Контроль температури в трубчастих випарниках.

На рисунку 2.4 зображено контур випарювання

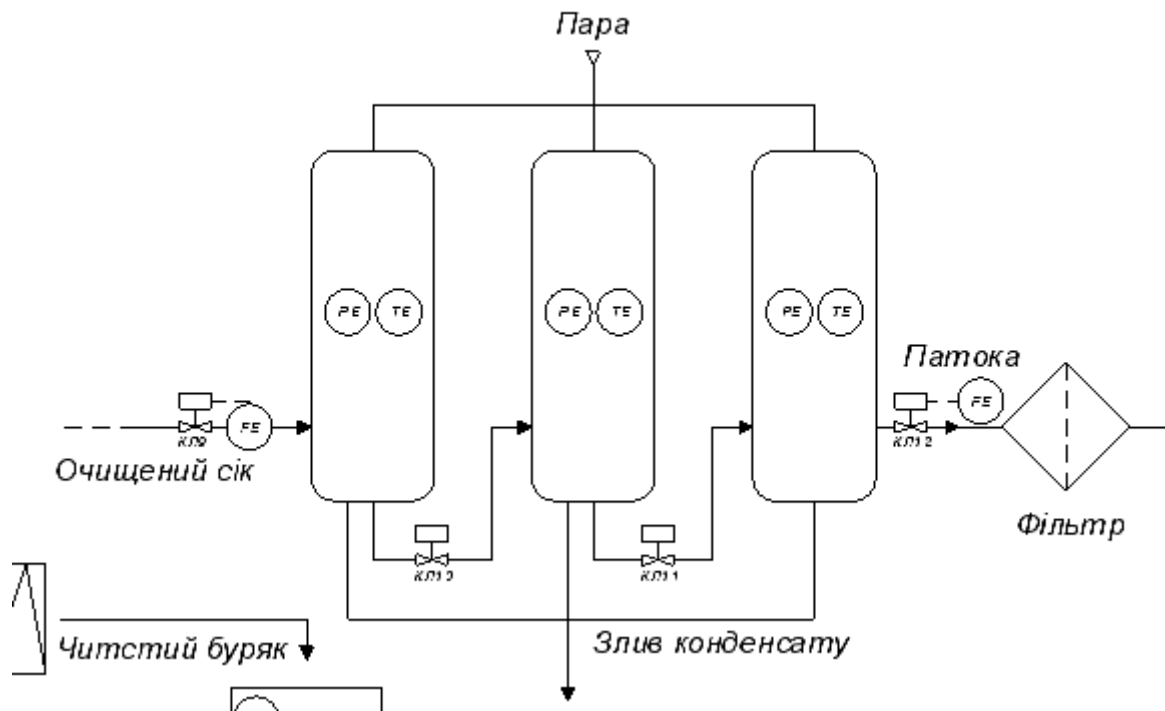


Рисунок 2.4 - Контур випарювання

2.3.4 Контур отримання кристалічного цукру

Контур отримання кристалічного цукру є фінальною і визначальною стадією у процесі виробництва цукру з буряків. Він включає наступні основні операції, які потребують ретельної автоматизації:

1. Утфелевані вакуум-апарати:

- Контроль температури та вакууму в апараті для забезпечення оптимальних умов кристалізації.
- Регулювання подачі утфельного розчину.
- Контроль концентрації утфельного розчину.
- Контроль тривалості циклу кристалізації.

2. Центрифугування утфеля:

- Контроль завантаження центрифуг.
- Регулювання частоти обертання центрифуг.
- Контроль температури та насичення утфеля.

На рисунку 2.5 зображено контур отримання кристалічного цукру

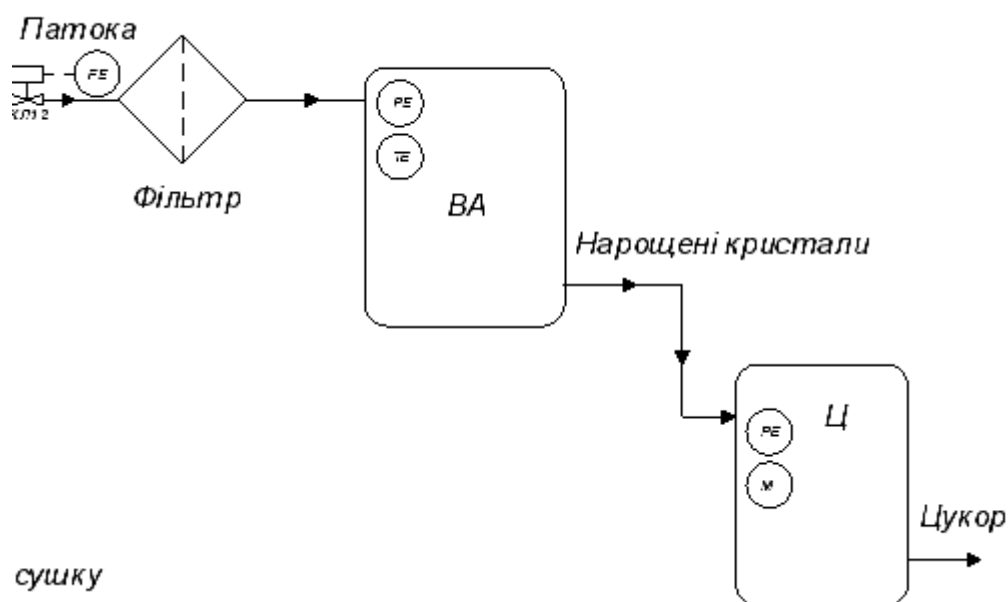


Рисунок 2.5 - Контур отримання кристалічного цукру

Проаналізувавши контури керування, можемо створити таблицю вхідних – вихідних сигналів.

Таблиця 2.1 – Таблиця вхідних сигналів

Таблиця вхідних сигналів			
№	Назва сигналу	Діапазон вим.	Тип сигналу
1	Температура	0...250 С*	4...20мА
2	Швидкість оберт	0...100 об\хв	4...20мА
3	Тиск	0...10 бар	4...20мА
4	Витрати рідини	0...100 л/год	4...20мА
5	Рівень	0...100%	4...20мА

Таблиця 2.2 – Таблиця вихідни сигналів

Таблиця вихідних сигналів			
№	Назва сигналу	Тип сигналу	ВМ
1	Електропривод ванни	DO	електропривод 380 В 50 Гц
2	Клапана	DO	клапан 220 В 50 Гц
3	ТЕНа	DO	220 В 50 Гц
4	Вібродвигун	DO	електродвигун 380 В 50 Гц

					<i>СЧдН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>		21

РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір контролера та електроніки

Щит керування є ключовим елементом автоматизованої системи, що включає в себе ряд важливих компонентів. Основними складовими щита є захисні пристрої, програмований логічний контролер (ПЛК), блоки живлення, реле, прохідні клеми та інші електронні компоненти, необхідні для функціонування системи.

ПЛК виконує функції збору та обробки даних з датчиків, а також керування виконавчими механізмами. Блоки живлення забезпечують електроенергією датчики та сам контролер. Невід'ємною частиною системи є панель керування, яка дозволяє оператору контролювати процес випробування та керувати параметрами.

Важливим елементом захисту в щиті керування є автоматичні вимикачі. Вони запобігають перевантаженням та коротким замиканням у системі. Для нашої системи необхідні два типи вимикачів: силові (для підключення потужних споживачів, таких як асинхронні двигуни) та звичайні (для контролера та інших електронних пристроїв з низьким енергоспоживанням).

Компанія Schneider Electric, відома своєю надійністю та якістю, пропонує широкий асортимент автоматичних вимикачів. Для нашої системи рекомендовано використовувати силовий вимикач COMPACT NSX250F 36kA 4P3D 200A та звичайний вимикач Acti9 IK60N, 2P, 16A.

Вибір саме цих моделей зумовлений їх технічними характеристиками, які відповідають вимогам нашої системи. Детальні параметри цих вимикачів можна знайти в їх технічних специфікаціях.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22



Рисунок 3.1 – Автоматичний вимикач COMPACT NSX250F 36kA 4P3D 200A

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики COMPACT NSX250F

Характеристики	Значення
Кількість полюсів	4P
Нейтраль	зліва
Номінальний струм	200 А
Номінальна робоча напруга	690 В



Рисунок 3.2 – Автоматичний вимикач Acti9 iK60N, 2P, 16A

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики Acti9 IK60N

Характеристики	Значення
Кількість полюсів	2Р
Тип мережі	змінний струм
Номінальний струм	16 А
Крива відключення	С

При виборі програмованого логічного контролера (ПЛК) доцільно звернути увагу на продукцію компанії Schneider Electric, яка зарекомендувала себе як виробник високоякісних та надійних контролерів, здатних вирішувати широкий спектр завдань автоматизації.

Schneider Electric пропонує різноманітні серії ПЛК, кожна з яких призначена для вирішення специфічних завдань. Серія Modicon M221, наприклад, оптимально підходить для автоматизації відносно простих промислових процесів та обладнання в машинобудуванні.

Для більш складних та вимогливих застосувань компанія розробила потужніші серії контролерів: M241, M252, M258 та M262. Ці моделі відрізняються розширеними можливостями, більшою продуктивністю та функціональністю, що дозволяє їм ефективно вирішувати комплексні завдання автоматизації в різних галузях промисловості.

Кожна серія має свої унікальні характеристики та переваги. Вибір конкретної моделі залежить від специфіки проекту, вимог до швидкодії, обсягу пам'яті, кількості входів/виходів, комунікаційних можливостей та інших параметрів.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		24

Таблиця 3.3 – Порівняльна таблиця промислових контролерів SE

Модель контролера	M221	M241	M251	M258	M262
Максимальна кількість ЦП	До 24 ЦП	До 50 ЦП	До 100 ЦП	До 248 ЦП	До 248 ЦП
Вбудована пам'ять	До 128 Кб	До 512 Кб	До 768 Кб	До 2 Мб	До 2 Мб
Кількість входів/виходів	До 40 вх./вих.	До 40 вх./вих.	До 64 вх./вих.	До 152 вх./вих.	До 152 вх./вих.
Кількість аналогових вхідних/вихідних точок	До 8 вх./вих.	До 8 вх./вих.	До 12 вх./вих.	До 16 вх./вих.	До 16 вх./вих.
Максимальна швидкість комунікації	До 1 Мбіт/с	До 1 Мбіт/с	До 1 Мбіт/с	До 1 Гбіт/с	До 1 Гбіт/с
Підтримка протоколів комунікації	Modbus RTU, Ethernet, CANopen	Modbus RTU, Ethernet, CANopen	Modbus RTU, Ethernet, CANopen	Modbus RTU, Ethernet, CANopen, EtherNet/IP	Modbus RTU, Ethernet, CANopen, EtherNet/IP, OPC UA
Підтримка мов програмування	LD, FBD, IL, ST, SFC	LD, FBD, IL, ST, SFC	LD, FBD, IL, ST, SFC	LD, FBD, IL, ST, SFC	LD, FBD, IL, ST, SFC
Ціна	від 8600 грн	від 14600 грн	від 13200 грн	від 49000 грн	від 32900 грн

Для реалізації нашої системи автоматизації оптимальним вибором є контролер Modicon M221 від Schneider Electric. Цей ПЛК ідеально відповідає вимогам проекту, пропонуючи збалансоване співвідношення ціни та функціональності.

Modicon M221 вирізняється своєю економічною ефективністю, що робить його привабливим рішенням для проектів з обмеженим бюджетом. При цьому контролер не поступається в продуктивності та надійності, необхідних для успішної автоматизації нашої системи.

Ключовою перевагою обраної моделі є достатня кількість контрольних точок (цифрових входів/виходів), що повністю задовольняє потреби нашої системи. Це дозволяє ефективно керувати всіма необхідними процесами без надлишкових ресурсів.

Візуальне представлення контролера Modicon M221 можна знайти на відповідному зображенні (рис 3.3), яке демонструє його компактний та ергономічний дизайн. Це сприяє легкій інтеграції контролера в щит керування.



Рисунок 3.3 – Програмований логічний контролер Modicon M221CE24R

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики контролера Modicon M221CE24R

Характеристики	Значення
Живлення, В	220 В 50 Гц
Тип мережі	змінний струм
Кількість дискретних вх/вих	24 шт.
Напруга дискретного виходу/входу	24 В
Частота перемикання	20 операцій/хв.
Вбудовані інтерфейси	1xRS485, 1xEthernet
Протоколи комунікаційного порту	Modbus TCP; Ethernet протокол.

У рамках проектування щита керування важливим компонентом є блок живлення. Його основне завдання - перетворення мережевої напруги 220 В змінного струму в 24 В постійного струму, що необхідно для живлення більшості датчиків та електронних пристроїв у системі.

Компанія Schneider Electric пропонує широкий асортимент блоків живлення, здатних задовольнити різноманітні потреби автоматизованих систем. Для нашого проекту оптимальним вибором є блок живлення моделі ABL2 DC 24 В потужністю 50 Вт.

Цей блок живлення відрізняється компактністю та ефективністю, що робить його ідеальним для інтеграції в наш щит керування. Візуальне представлення обраного блоку живлення можна побачити на рисунку 3.4, де чітко видно його конструктивні особливості та компактні розміри.

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками блоку живлення ABL2 DC 24 В, 50 Вт рекомендується звернутися до таблиці 3.5. У ній представлені ключові параметри, такі як вхідна та вихідна напруга, максимальний струм навантаження, ефективність перетворення та інші важливі показники, які підтверджують відповідність цього блоку живлення вимогам нашої системи автоматизації.



Рисунок 3.4 – Блок живлення Schneider ABL2 DC 24 В, 50 Вт

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики ABL2 DC 24 В, 50 Вт

Характеристики	Значення
Вхідна напруга	220 В 50 Гц
Вихідна напруга	24 В пост. стр.
Потужність	50 Вт
Напруга дискретного виходу/входу	24 В

Вибір цього конкретного блоку живлення забезпечить надійне та стабільне електропостачання всіх компонентів нашої системи, що працюють від постійного струму, гарантуючи їх безперебійну роботу та довготривалу експлуатацію.

На наступному етапі проектування щита керування необхідно вибрати відповідні реле. Реле являє собою електромеханічний пристрій, який складається з двох основних компонентів: котушки та контактної групи. Принцип дії реле базується на електромагнітному ефекті: при подачі струму на котушку

створюється магнітне поле, яке приводить в дію контактну групу, замикаючи або розмикаючи відповідні контакти.

Ця властивість реле дозволяє ефективно використовувати їх для комутації кіл з високою напругою та струмом, керуючи ними за допомогою низьковольтних сигналів, що надходять від програмованого логічного контролера (ПЛК). Таким чином, реле виступає як проміжний елемент між системою керування та силовими колами.

Для нашої системи оптимальним вибором буде реле з одним нормально відкритим (н.в.) контактом. Таке реле забезпечить необхідну функціональність, дозволяючи комутувати силове коло при отриманні керуючого сигналу від ПЛК.

Крім самого реле, важливо також підібрати відповідну розетку для його монтажу. Розетка забезпечує надійне кріплення реле в щиті керування та спрощує його заміну в разі необхідності.

Візуальне представлення обраного реле можна побачити на рисунку 3.5. На цьому зображенні чітко видно конструктивні особливості реле, що допоможе краще зрозуміти його будову та принцип роботи.



Рисунок 3.5 – Реле Schneider

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики реле SE

Характеристики	Значення
Керуючий сигнал	24 В
Прохідна напруга	220 В 50 Гц
Контакти	1 н. в. контакт

При проектуванні щита керування важливо правильно підібрати клемники, враховуючи специфіку електричних з'єднань у системі. Вибір клемників залежить від величини струму, який буде через них проходити.

Для нашої системи можна виділити два типи з'єднань:

1. Сигнальні та низьковольтні кола живлення: Для цих з'єднань оптимальним вибором будуть прохідні клеми з гвинтовим з'єднанням, розраховані на дрiт перерізом 2,5 мм². Такі клемники забезпечать надійне з'єднання для сигнальних ліній та кіл живлення постійного струму низької напруги.
2. Силкові кола: Для з'єднань, де передбачається проходження більших струмів, рекомендується використовувати клеми, розраховані на дрiт перерізом 4 мм². Це забезпечить необхідну пропускну здатність та безпеку при роботі з силовими колами.

Крім того, важливим елементом є клема заземлення. Вона відіграє ключову роль у забезпеченні електричної безпеки всієї системи, створюючи надійне з'єднання з контуром заземлення.

Такий підхід до вибору клемників дозволить створити надійну та безпечну систему електричних з'єднань у щиті керування. Це забезпечить не тільки ефективну роботу всіх компонентів, але й полегшить обслуговування та діагностику системи в майбутньому.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		30

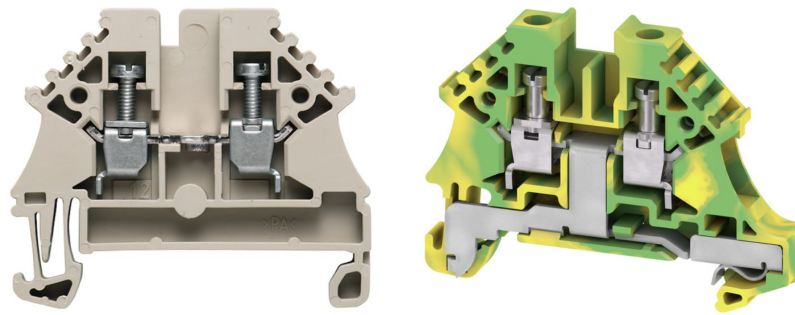


Рисунок 3.6 – Провідні клеми

Завершальним компонентом у комплектації нашого щита керування є панель оператора.

Панель оператора надає користувачеві інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для керування процесом та моніторингу ключових параметрів випробування. Вона дозволяє оператору в режимі реального часу відстежувати стан системи, вносити необхідні корективи та контролювати хід випробувань.

Для нашої системи оптимальним вибором є панель оператора HMIET 6400 від компанії Schneider Electric. Ця модель поєднує в собі сучасні технології візуалізації з надійністю та функціональністю, характерними для продукції Schneider Electric.

Візуальне представлення панелі оператора HMIET 6400 можна побачити на рисунку 3.7. Зображення демонструє ергономічний дизайн панелі, який забезпечує зручність використання та чітке відображення інформації.



Рисунок 3.7 – Панель оператора Schneider HMIET 6400

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>31</i>

Вибір цієї панелі оператора дозволить створити ефективний інтерфейс між людиною та машиною. Крім того, використання обладнання від одного виробника (Schneider Electric) для різних компонентів системи забезпечить оптимальну сумісність та інтеграцію всіх елементів автоматизації.

Панель оператора НМІЕТ 6400 відрізняється широкими комунікаційними можливостями, підтримуючи різні інтерфейси зв'язку. Серед них - Ethernet, RS232C, RS485 та послідовний порт. Для нашої системи ключове значення має інтерфейс Ethernet, який забезпечить надійне та швидке з'єднання з програмованим логічним контролером.

Живлення панелі здійснюється від джерела постійного струму напругою 24 В, що відповідає стандартам промислової автоматизації та узгоджується з іншими компонентами нашої системи.

Особливу увагу варто звернути на програмне забезпечення для налаштування панелі. Schneider Electric надає спеціалізоване ПЗ, розроблене саме для конфігурування та програмування їхніх панелей оператора.

3.2 Вибір датчиків

Невід'ємною частиною системи керування є контрольно-вимірювальні пристрої, або датчики. Ці пристрої виконують критично важливу функцію перетворення фізичних величин в електричні сигнали. Принцип їх роботи базується на взаємодії чутливих елементів з робочим середовищем, що дозволяє отримувати як дискретні, так і аналогові сигнали для подальшої обробки системою керування.

Для вимірювання температури в усіх контурах нашої системи оптимальним вибором є датчик температури Danfoss MBT 3279. Цей датчик відрізняється різноманітністю модифікацій та широким діапазоном вимірювання температур. Враховуючи, що температури в нашій системі не перевищуватимуть 300°C, цей датчик повністю задовольняє наші вимоги.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>32</i>

Danfoss MBT 3279 вирізняється відмінним співвідношенням ціни та якості, що робить його привабливим вибором для нашого проекту. Візуальне представлення датчика можна побачити на рисунку 3.8, який демонструє його конструктивні особливості та компактний дизайн.

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками датчика Danfoss MBT 3279 рекомендується звернутися до таблиці 3.7. У ній представлені ключові параметри, такі як діапазон вимірювання, точність, тип вихідного сигналу та інші важливі показники, які підтверджують відповідність цього датчика вимогам нашої системи автоматизації.

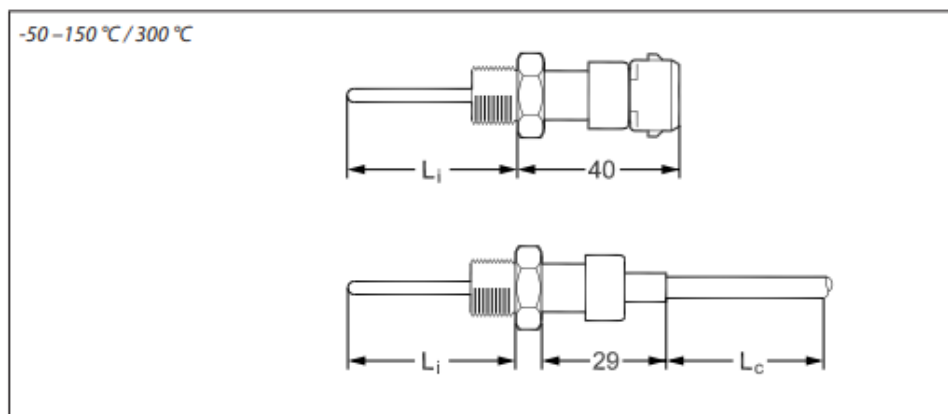


Рисунок 3.8 – Давач температури MBT 3279

Таблиця 3.7 – Характеристики датчика Danfoss MBT 3279

Характеристика	Значення
Діапазон температур вимірювального серидовища	-50 °C – 300 °C
Максимальний зовнішній тиск	500 бар
Чутливий елемент	Pt 100
Продовження таблиці 3.7	
Електричне з'єднання	Кабель
Схема підключення	2-х дротова

Похибка	EN 60751 клас B
Клас захисту корпусу	IP65 по IEC 60529

Для вимірювання тиску в нашій системі оптимальним вибором є датчик Danfoss MBS 1700. Цей пристрій відповідає всім ключовим вимогам нашого проекту, демонструючи відмінні характеристики за кількома важливими параметрами.

По-перше, Danfoss MBS 1700 повністю відповідає необхідному діапазону вимірювання тиску, що забезпечує точний моніторинг у всьому робочому діапазоні нашої системи. Це дозволяє отримувати достовірні дані про тиск у різних точках контуру, що критично важливо для ефективного керування процесом.

По-друге, цей датчик вирізняється високою надійністю, що є ключовим фактором для промислових застосувань. Надійність Danfoss MBS 1700 гарантує стабільну роботу системи вимірювання тиску протягом тривалого часу, мінімізуючи ризики збоїв та необхідність частого обслуговування.



Рисунок 3.9 - Danfoss MBS 1700

Таблиця 3.8 – Характеристики давача Danfoss MBS 1700

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Характеристика	Значення
Вид робочого середовища	рідина, газ
Тип вимірюваного тиску	відносний
Діапазони вимірювань	0 – 10 бар
Діапазон допустимих температур робочого середовища	-40 – 85°C
Діапазон компенсованих температур	0 – 90°C
Час реакції	4 мс

Для вимірювання та контролю об'єму повітря, що надходить у систему, важливим елементом є датчик витрат, або витратомір. У нашому випадку оптимальним вибором виступає ротаметр.

Ротаметр - це надійний та ефективний пристрій для вимірювання витрат газів та рідин. Він дозволяє точно відстежувати кількість повітря, яке забирається в систему, що є критичним параметром для контролю роботи компресора під час випробувань.

Візуальне представлення обраного ротаметра можна побачити на рисунку 3.10. Це зображення демонструє конструктивні особливості пристрою та дає уявлення про його принцип роботи.



Рисунок 3.10 – Витратомір віхрьовий KROHNE OPTISWIRL 4070

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками ротаметра рекомендується звернутися до таблиці 3.9. У ній наведені ключові параметри, такі як діапазон вимірювання, точність, робочий тиск, температурний діапазон та інші важливі показники. Ця інформація підтверджує відповідність обраного ротаметра вимогам нашої системи автоматизації.

Таблиця 3.9 – Характеристики давача Danfoss MBS 1700

Характеристика	Значення
Робоча температура	до 240 *С
Робочий тиск	до 100 бар
Похибка	1% на барі

Завершальним елементом у наборі датчиків для нашої системи автоматизації є датчик рівня. Ринок пропонує різноманітні типи таких пристроїв, серед яких найбільш поширеними є поплавкові, ультразвукові та інші види.

Після аналізу доступних опцій та з урахуванням специфіки нашого проекту, оптимальним вибором для вирішення завдань автоматизації є ультразвуковий датчик рівня.

Ультразвукові датчики рівня мають ряд переваг, які роблять їх ідеальними для нашої системи:

1. **Безконтактне вимірювання:** ультразвуковий датчик не контактує безпосередньо з вимірюваним середовищем, що збільшує його довговічність та надійність.
2. **Висока точність:** ці датчики забезпечують точні вимірювання навіть у складних умовах.
3. **Універсальність:** ультразвукові датчики можуть працювати з різними типами рідин та сипучих матеріалів.
4. **Простота установки та обслуговування:** ці пристрої легко монтуються та не вимагають складного технічного обслуговування.

5. Стійкість до зовнішніх факторів: ультразвукові датчики добре працюють в різних умовах навколишнього середовища.



Рисунок 3.11 – Ультразвуковий рівнемір UM30 – 13113

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики ультразвукового датчика рівня UM30 – 13113

Характеристика	Значення
Діапазон спрацювання, мм	200 - 2000
Робоча частота, кГц	200
Вихідний сигнал, мА	4-20
Тип з'єднання	роз'єм M12, 5 пінний роз'єм
Швидкість спрацювання, мс	100
Захист	IP 65
Робоча температура, *С	-20...70

3.3 Вибір виконуючих механізмів

На наступному етапі проектування системи автоматизації необхідно вибрати виконавчі механізми, які відіграють ключову роль у реалізації керуючих впливів. Серед цих механізмів - електромагнітний клапан, ТЕН (трубчастий електронагрівач), та електропривод для шнека, віброподачі та інших ВМ.

Зосередимось на виборі електромагнітного клапана. Для нашої системи оптимальним рішенням є електромагнітний клапан GAMA GFSS-50F DN 50 N.C. Цей клапан виготовлений з нержавіючої сталі, що забезпечує високу стійкість до корозії та тривалий термін служби. Фланцевий тип з'єднання полегшує монтаж та обслуговування. Діаметр умовного проходу DN 50 відповідає вимогам нашої системи щодо пропускної здатності. Робочий діапазон тиску від 0 до 10 бар покриває всі можливі режими роботи нашої системи. Клапан є нормально закритим (N.C.) у знеструмленому положенні, що забезпечує безпеку системи при відключенні електроживлення.

Візуальне представлення обраного електромагнітного клапана GAMA GFSS-50F DN 50 N.C. можна побачити на рисунку 3.12. Це зображення демонструє конструктивні особливості клапана та дає уявлення про його зовнішній вигляд.



Рисунок 3.12 – Електромагнітний клапан GAMA GFSS

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>38</i>

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики клапана GAMA

Характеристика	Значення
Живлення	220В 50 Гц
Робочий тиск	0...10 Бар
Тип з'єднання	Фланець
Швидкість спрацювання, мс	100
Захист	IP 65
Робоча температура, *С	-5...80 *С

Для задоволення потреб нашої системи оптимальним вибором є промисловий ТЕН потужністю 2 кВт (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – ТЕН 2 кВт

Центральним виконавчим механізмом нашої системи є електропривод потужністю 10 кВт. Цей привод відповідає за обертання шнека та забезпечує роботу вібромоторів подачі, що є ключовими елементами у процесі виробництва цукру.

Для цієї задачі ми обрали асинхронний трифазний двигун АІР160М8. Цей тип двигуна відомий своєю надійністю, ефективністю та широким діапазоном

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

застосування в промислових умовах. Потужність у 10 кВт забезпечує достатній крутний момент для ефективної роботи шнека та вібромоторів.

Візуальне представлення двигуна АІР160М8 можна побачити на рисунку 3.15. Це зображення дає чітке уявлення про конструкцію двигуна, його габарити та особливості монтажу.

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками двигуна АІР160М8 рекомендується звернутися до таблиці 3.13. У ній представлені ключові параметри, такі як номінальна потужність, частота обертання, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності та інші важливі показники. Ця інформація підтверджує відповідність обраного двигуна вимогам нашої системи автоматизації.



Рисунок 3.15 – АІР 180М8 10кВт

Таблиця 3.13 – Параметри електродвигуна АІР 180М8

Характеристика	Значення
Живлення	380В 50 Гц
Частота обертання	730 об/хв
Крут. момент	145 НМ
ном. струм	25,5

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА НМІ – ІНТЕРФЕЙСУ

4.1 Основні поняття про НМІ

НМІ, або інтерфейс людина-машина, є важливим компонентом сучасних автоматизованих систем. Це сукупність апаратних і програмних засобів, які забезпечують взаємодію між оператором та технологічним обладнанням або процесом. НМІ дозволяє оператору контролювати, керувати та моніторити різні аспекти виробничого процесу через графічний інтерфейс.

Основна мета НМІ - надати операторам зручний та інтуїтивно зрозумілий спосіб взаємодії з складними системами. Він відображає важливу інформацію про стан обладнання, параметри процесу, аварійні сигнали та інші ключові дані у візуально доступній формі. Це можуть бути графіки, діаграми, анімовані схеми або числові показники.

НМІ (рис. 4.1.) також дозволяє операторам вводити команди, змінювати налаштування та керувати різними аспектами системи. Це може включати запуск або зупинку обладнання, регулювання параметрів процесу або зміну режимів роботи. Сучасні НМІ часто мають сенсорні екрани для більш інтуїтивного керування.

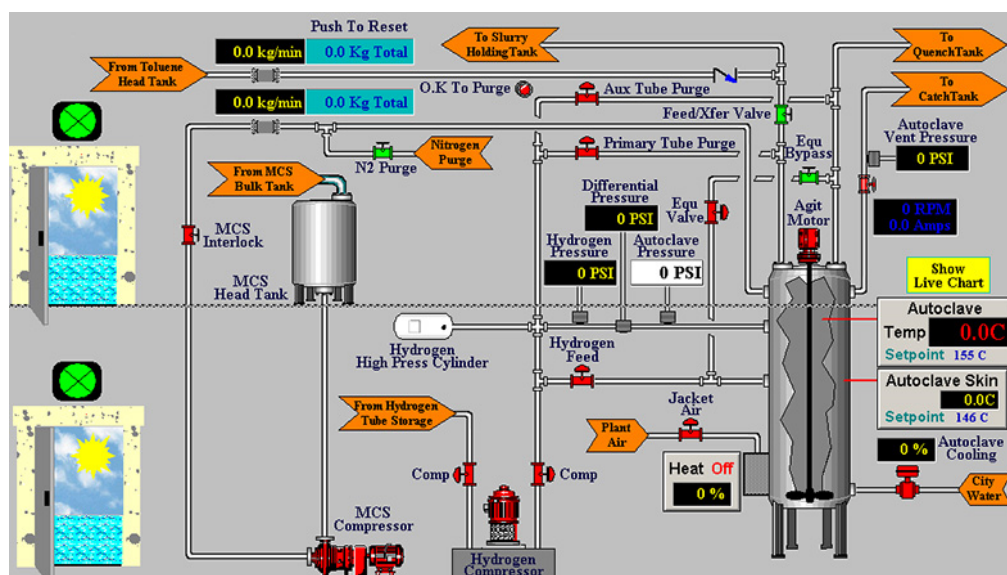


Рисунок 4.1 – Приклад НМІ

Безпека є ключовим аспектом дизайну НМІ. Інтерфейс повинен забезпечувати чітке відображення критичних станів системи та аварійних ситуацій, а також надавати операторам швидкий доступ до функцій аварійного зупинення або коригування процесу.

НМІ зазвичай інтегрується з іншими компонентами автоматизованої системи, такими як програмовані логічні контролери (PLC), системи диспетчерського управління та збору даних (SCADA), а також бази даних для зберігання історичної інформації.

Розробка ефективного НМІ вимагає глибокого розуміння технологічного процесу, ергономіки та принципів людино-машинної взаємодії. Мета полягає у створенні інтерфейсу, який мінімізує ймовірність людських помилок, підвищує ефективність роботи оператора та забезпечує оптимальне керування процесом.

З розвитком технологій НМІ стають все більш складними та функціональними. Вони можуть включати елементи штучного інтелекту для прогнозування та оптимізації процесів, підтримку віддаленого доступу через мобільні пристрої, а також інтеграцію з системами доповненої реальності для покращення взаємодії оператора з фізичним обладнанням.

4.2 Вибір середовища розробки

Програмні середовища SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) є ключовими інструментами для створення систем диспетчерського управління та збору даних у промисловості та інфраструктурі. Ці середовища надають розробникам потужні засоби для проектування, впровадження та підтримки складних систем моніторингу та керування.

SCADA-системи зазвичай складаються з кількох основних компонентів: серверів збору даних, операторських станцій, комунікаційної інфраструктури та програмного забезпечення для візуалізації та керування. Програмні середовища SCADA об'єднують ці компоненти в єдину інтегровану платформу.

Основні функції, які надають програмні середовища SCADA, включають:

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

Розробку графічного інтерфейсу користувача (GUI): Створення інтуїтивно зрозумілих екранів для відображення даних процесу, стану обладнання та елементів керування.

Конфігурацію збору даних: Налаштування зв'язку з польовими пристроями, визначення тегів даних та параметрів їх збору.

Обробку та аналіз даних: Реалізація алгоритмів для обробки вхідних даних, генерації тривоги, створення звітів та виконання складних обчислень.

Архівування та зберігання даних: Налаштування баз даних для зберігання історичної інформації та конфігурація правил архівування.

Розробку сценаріїв керування: Створення автоматизованих послідовностей дій, реакцій на події та алгоритмів оптимізації процесів.

Налаштування системи безпеки: Визначення прав доступу, ролей користувачів та захисту критичних функцій системи.

Діагностику та налагодження: Інструменти для тестування, симуляції та пошуку несправностей у розробленій системі.

Серед популярних програмних середовищ SCADA можна виділити:

1. Wonderware InTouch: Потужне середовище з багатою графічною бібліотекою та підтримкою скриптів.
2. Siemens WinCC: Інтегрована платформа, яка тісно пов'язана з іншими продуктами Siemens для автоматизації.
3. Promotic SCADA: Гнучке середовище з підтримкою розподілених систем та високою продуктивністю.
4. ABB Ability Symphony Plus: Сучасна платформа з акцентом на інтеграцію IoT та хмарні технології.
5. Ignition by Inductive Automation: Інноваційна веб-базована платформа з модульною архітектурою.

Сучасні тенденції в розвитку програмних середовищ SCADA включають:

- Інтеграцію з хмарними платформами для розширеної аналітики та зберігання даних.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

- Підтримку мобільних пристроїв для віддаленого доступу та керування.
- Впровадження технологій машинного навчання для предиктивної аналітики.
- Покращену кібербезпеку для захисту від зростаючих загроз.
- Підтримку стандартів промислового інтернету речей (IIoT) для більшої інтеграції та масштабованості.

Вибір конкретного програмного середовища SCADA залежить від специфіки проекту, вимог до функціональності, сумісності з наявним обладнанням та довгострокових планів розвитку системи. Важливо також враховувати підтримку виробника, навчальні ресурси та спільноту користувачів при виборі платформи для розробки SCADA-систем.

PromoticSCADA є відмінним вибором для багатьох промислових застосувань завдяки своїм унікальним характеристикам та перевагам. Це програмне забезпечення відрізняється гнучкістю та масштабованістю, що дозволяє ефективно використовувати його як для невеликих проектів, так і для великих розподілених систем.

Одна з ключових переваг PromoticSCADA - це його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та простота у використанні. Це значно скорочує час на навчання персоналу та прискорює процес розробки проектів. Середовище розробки надає широкий набір інструментів для створення візуально привабливих та функціональних інтерфейсів оператора.

Важливою особливістю PromoticSCADA є вбудована підтримка великої кількості промислових протоколів зв'язку, що забезпечує легку інтеграцію з різноманітним обладнанням та системами. Це особливо цінно в умовах, де потрібно об'єднати пристрої різних виробників в єдину систему керування.

PromoticSCADA також відрізняється високою продуктивністю та надійністю, що критично важливо для систем реального часу. Система здатна обробляти великі обсяги даних з мінімальними затримками, забезпечуючи оперативне реагування на зміни в контрольованих процесах.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

Важливим аспектом є вбудована система безпеки PromoticSCADA, яка забезпечує захист від несанкціонованого доступу та дозволяє налаштувати різні рівні прав для користувачів. Це особливо важливо в сучасних умовах, коли кібербезпека стає все більш актуальною проблемою для промислових систем.

PromoticSCADA також пропонує потужні інструменти для аналізу даних та створення звітів, що дозволяє операторам та менеджерам отримувати цінну інформацію для оптимізації процесів та прийняття рішень. Вбудовані функції архівування даних забезпечують довгострокове зберігання історичної інформації.

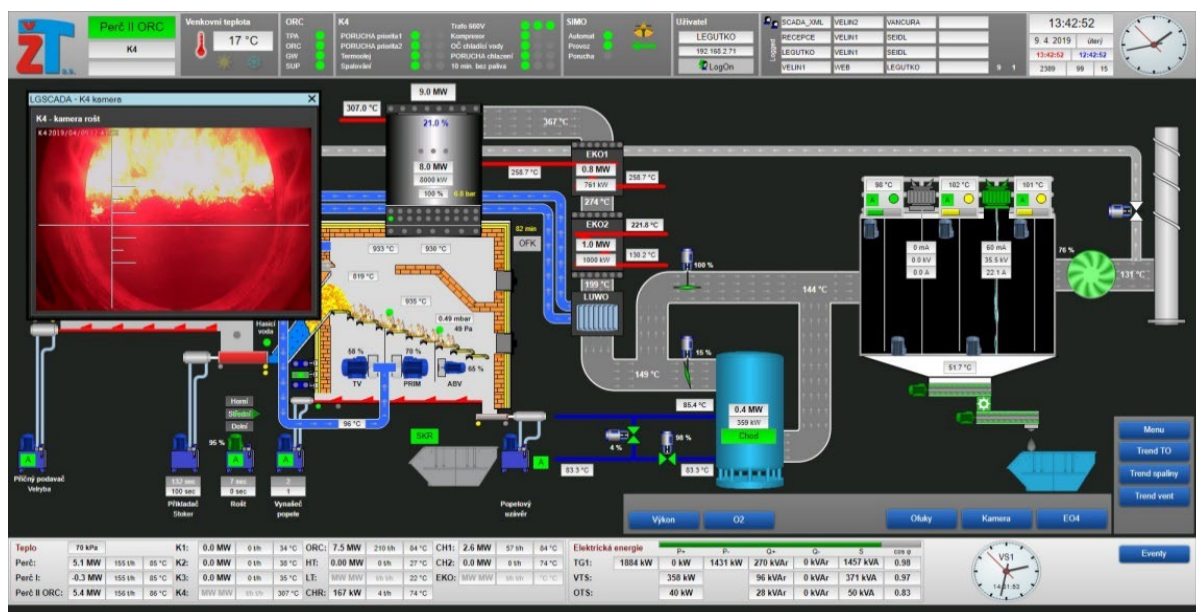


Рисунок 4.2 – Promotic SCADA

Варто відзначити, що PromoticSCADA має конкурентну цінову політику, особливо враховуючи широкий функціонал, який вона пропонує. Це робить її привабливим вибором для компаній, які прагнуть оптимізувати витрати на автоматизацію.

Постійні оновлення та технічна підтримка від розробників забезпечують актуальність системи та можливість вирішення будь-яких проблем, що можуть виникнути під час експлуатації. Крім того, наявність детальної документації та навчальних матеріалів полегшує освоєння системи новими користувачами.

Загалом, вибір PromoticSCADA обґрунтований її всебічною функціональністю, надійністю, гнучкістю та економічною ефективністю, що робить її оптимальним рішенням для широкого спектру завдань промислової автоматизації.

4.3 Розробка інтерфейсу

Для розробки інтерфейсу, пропоную за основу взяти наші контури керування і відповідно з них зрисувати інтерфейс оператора.

Спочатку створимо головний екран нашого інтерфейсу оператора. На ньому буде відображено кнопки вибору контуру керування, інформування про стан технологічного об'єкта та можливість реєстрації логів, які надсилатиме система у спеціальне вікно. Головна сторінка зображена на рисунку 4.3.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

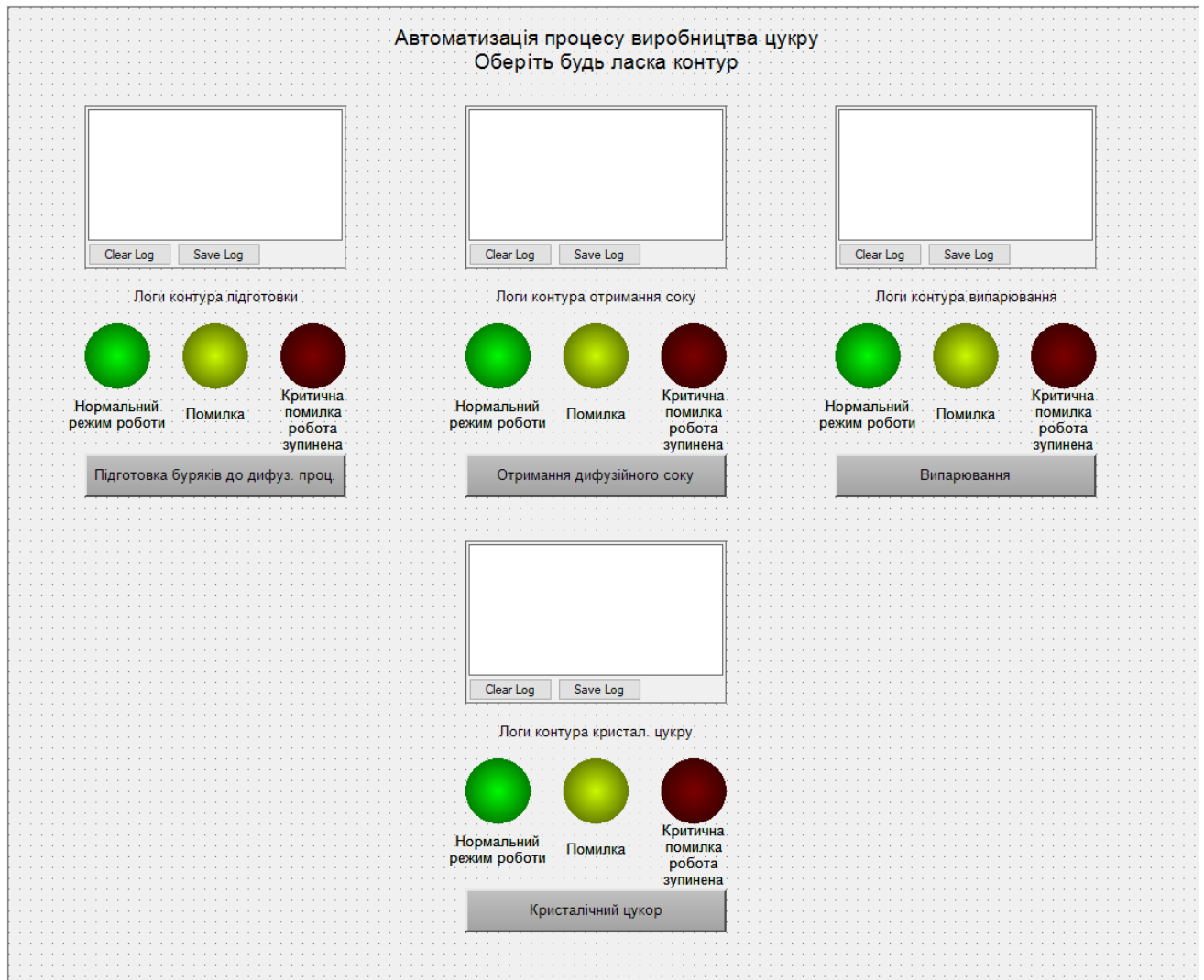


Рисунок 4.3 – Головний екран НМІ

Переходимо до контуру підготовки сировини до дифузійного процесу. На ньому зображуємо бункер, куди йде вивантаження буряку, далі з бункера, буряк потрапляє до мийної ванни. Після – надходить до подрібнювача. Це все відображено на рисунку 4.4.

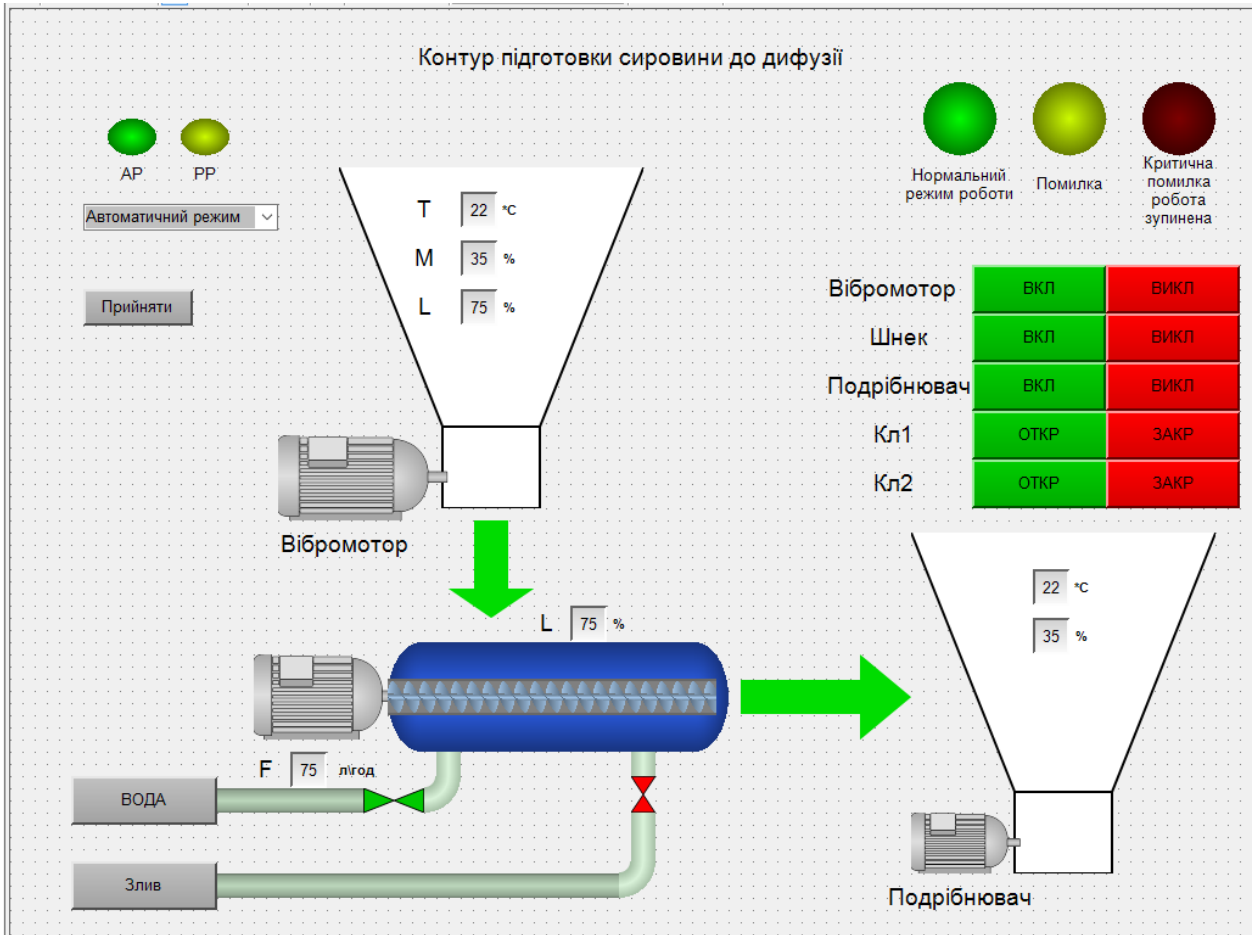


Рисунок 4.4 – Дифузійний процес

Також було додано вибір режимів керування, інформація про стан роботи конкретного об'єкта, а також можливість керування ВМ у ручному режимі роботи системи.

Другим контуром керування виявився – контур процесу дифузії. Після подрібнення, кашка потрапляє до дифузійного апарату, де відбувається відповідний процес. У контурі присутні усі притаманні об'єкти, як і на минулій сторінці. Пропоную переглянути контур керування на рисунку 4.5.

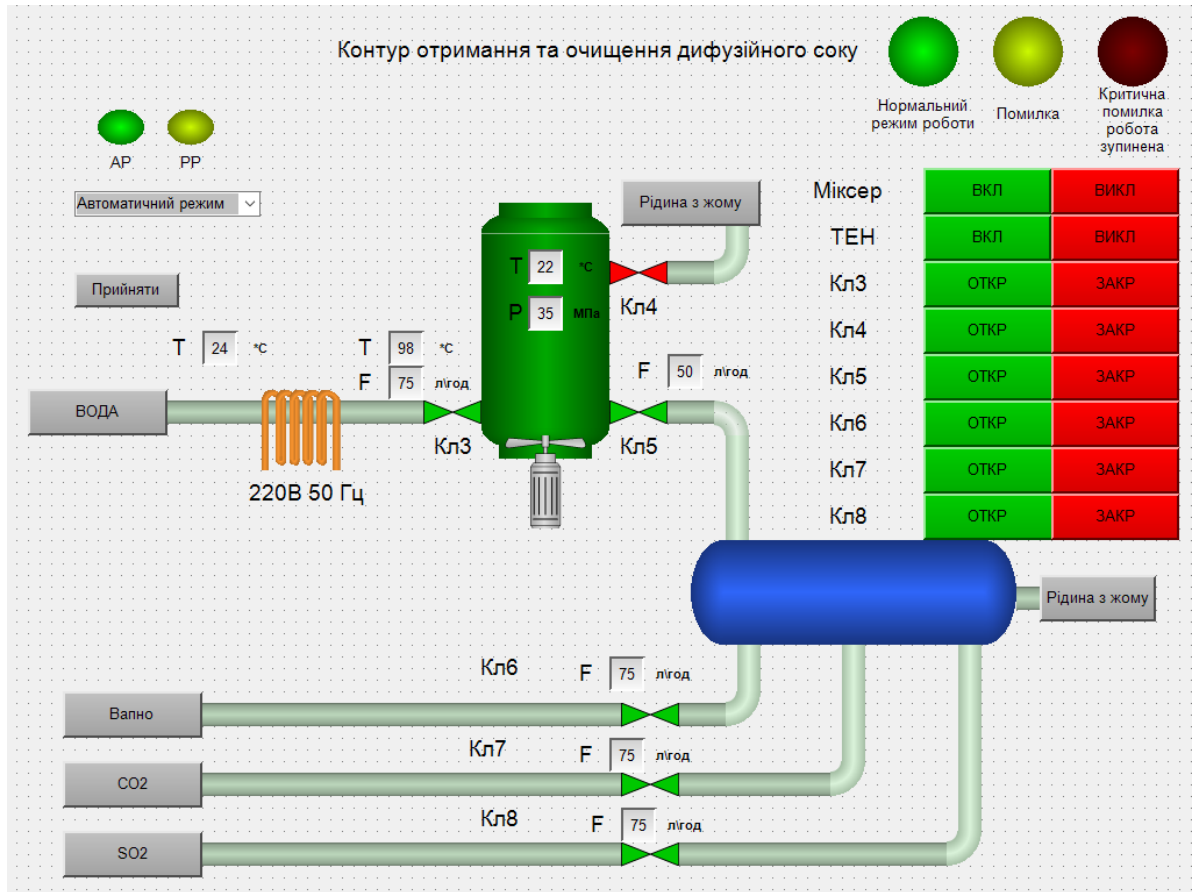


Рисунок 4.5 – Дифузійний процес

Наступною сторінкою інтерфейса оператора був розроблений контур випарювання. Він складається з клапанів, випарювальних колон та відповідно інших органів керування, які були задіяні минулого разу. Переглянути контур керування можна за рисунком 4.6.

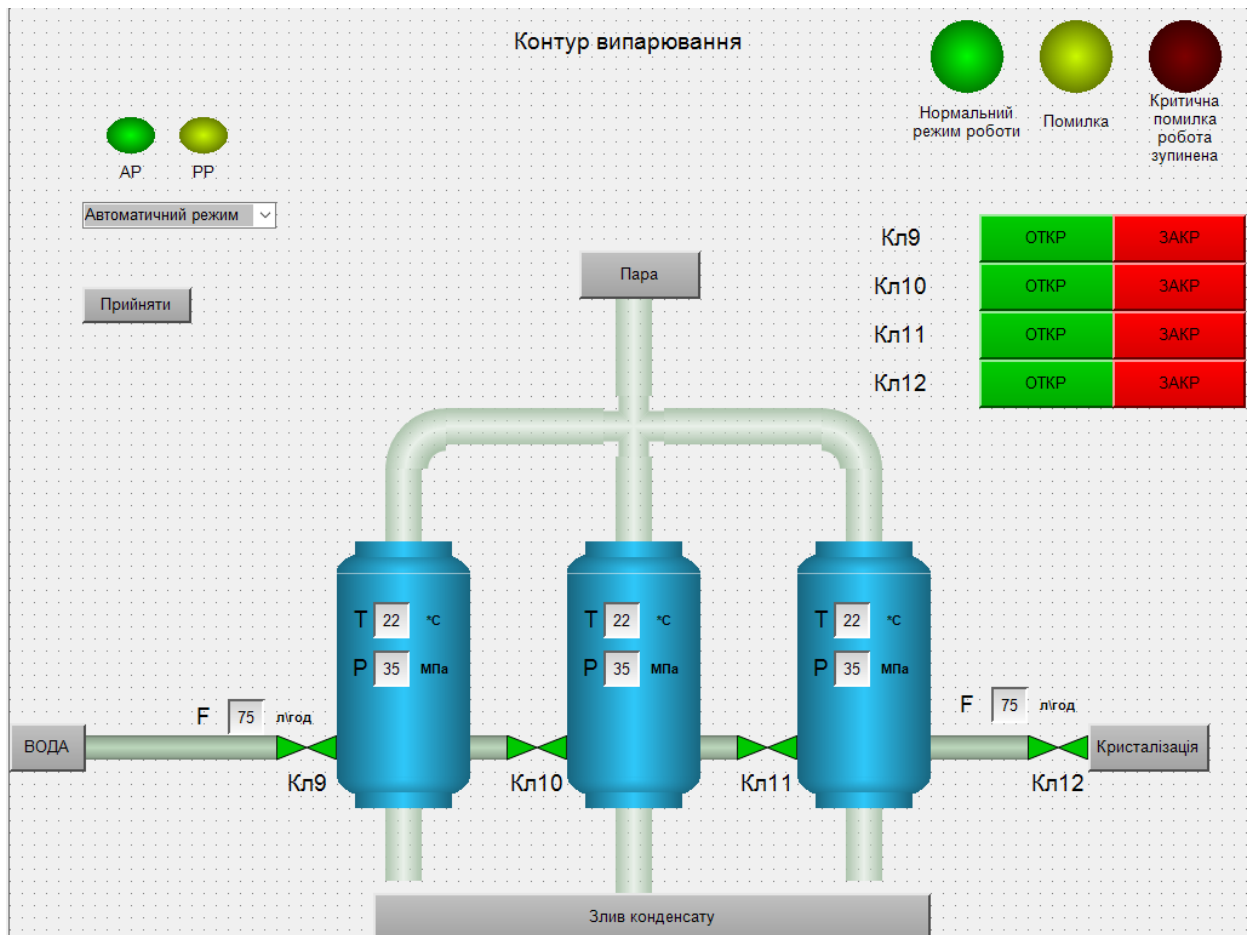


Рисунок 4.6 – Контур випарювання

Останній контур – формування цукру. Отримана патока, в наслідок такого довгого процесу, вже переміщається до вакуум апарату, а вже потім потрапляє під центрифугу, внаслідок чого і отримують цукор

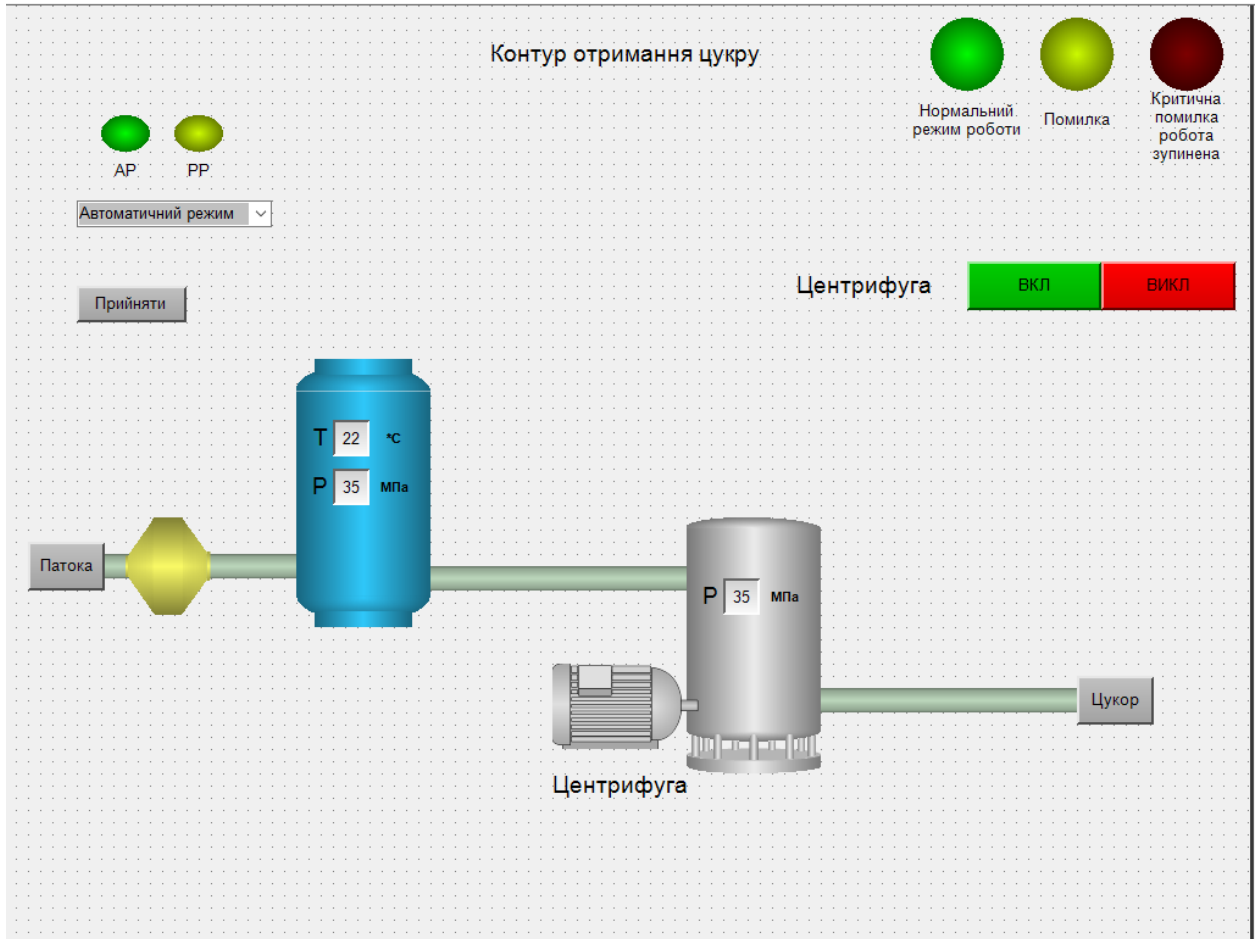


Рисунок 4.7 – Контур формування цукру

ВИСНОВОК

У дипломній роботі було здійснено огляд системи автоматизації цукрового заводу з виробництва цукру з цукрових буряків.

Розглянуто основні поняття та технологічний процес виробництва цукру, його призначення та етапи. Показано основні технологічні об'єкти, з яких складається завод, та проаналізовано процеси, які в них відбуваються. Також відображено технічні характеристики системи автоматизації, умови експлуатації обладнання та вимоги до персоналу.

Було розроблено схему інформаційно-матеріальних потоків та структурну схему автоматизованої системи управління (АСУ). Сформовано ряд функціональних задач автоматизації, і відповідно систему поділено на декілька основних контурів керування: контур підготовки буряків, контур отримання та очищення дифузійного соку, контур випарювання, контур отримання патоки (меляси) та контур отримання кристалічного цукру.

Для кожного контуру керування було розглянуто основні технологічні операції, визначено параметри, що підлягають регулюванню та контролю, а також розроблено таблиці вхідних (датчики) та вихідних (виконавчі механізми) сигналів.

Також було здійснено підбір технічних засобів автоматизації, а саме ПЛК, електроніку, сенсори а також ВМ. Зпроектовано електрично-принципову схему ЕЗ.

У останньому розділі було розроблено інтерфейс оператора до кожного контуру керування автоматизованою установкою з виробництва цукру.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів. - К.: Ліра-К, 2020.
2. Штангеев В.О. Інноваційні технології у цукровому виробництві. - К.: Цукор України, 2023.
3. Хомічак Л.М., Кочубей-Литвиненко О.В. Технологія переробки цукрових буряків. - К.: НУХТ, 2022.
4. Кишенько В.Д., Куєвда Ю.В. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. - К.: НУХТ, 2021.
5. Гребенюк С.М., Ельперін І.В. Цифрові технології в автоматизації цукрового виробництва. - К.: Аграрна наука, 2022..
6. Smith J.A., Brown K.L. "Automation in Sugar Production: Recent Advances and Future Prospects". - Sugar Tech, 2021.
7. Johnson R.M., Richard E.P. "Sugarcane and Sugar Beet Processing: Technology and Production". - Wiley-Blackwell, 2019.
8. Chen J.C.P., Chou C.C. "Cane Sugar Handbook: A Manual for Cane Sugar Manufacturers and Their Chemists". - Wiley, 2020.
9. Asadi M. "Beet-Sugar Handbook". - Wiley-Blackwell, 2022.
10. Kumar D., Singh V. "Sugar Beet: Production, Uses and Health Implications". - Nova Science Publishers, 2019.
11. Rein P. "Cane Sugar Engineering". - Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2022.
12. O'Hara I.M., Mundree S.G. "Sugarcane-based Biofuels and Bioproducts". - Wiley-Blackwell, 2021.
13. Saleh A.M. "Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications". - IntechOpen, 2023.
14. Pérez-Rave J. et al. "A Machine Learning Approach to Analyze and Predict the Relationship between Human Factors and Process Excellence in Manufacturing". - Sustainability, 2023.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

15. Bhattacharya S. "Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation". - Butterworth-Heinemann, 2020.

					<i>СЧДН-01ш 6.151.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54