

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему **"МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ
НА СТАДІЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЦУКРУ"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., проф.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Заєць Н.А.
(П.І.Б.)

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Грищенко В.О.
(П.І.Б.)

Виконав

(підпис)

Петруша Д.І.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студенту

Петруші Дмитру Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: "Модернізація системи контролю та управління на стадії кристалізації цукру",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "18" 11 2024 р. № 2056"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "29" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики кваліфікаційної бакалаврської роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Систематичний огляд предметної області.

4.2. Математичне моделювання системи керування попередньої очистки дифузійного соку.

4.3. Визначення параметрів настройки регулятора.

4.4. Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку.

4.5. Вибір технічних засобів автоматизації.

4.6. Розробка НМІ – інтерфейсу.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Функціональна схема автоматизації системи керування витратою вапна із корекцією по значенню рН на виході з апарату.

5.2. Система автоматизації процесом кристалізації цукру. Фрагмент схеми електричної принципової.

5.3. Система автоматизації процесом кристалізації цукру. Фрагмент схеми електричної з'єднань.

5.4. Система автоматизації процесом кристалізації цукру. Фрагмент схеми електричної підключень.

5.5. Система автоматизації процесом кристалізації цукру. Зовнішній вид шафи керування.

Дата видачі завдання "21" листопада 2024 року

**Керівник
кваліфікаційної
бакалаврської роботи**

(підпис)

Грищенко В.О.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Петруша Д.І.
(П.І.Б.)

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. Систематичний огляд предметної області	7
1.1. Призначення об'єкта	7
1.2. Компоненти системи	9
1.3. Технічні характеристики процесу	13
РОЗДІЛ 2. Математичне моделювання системи керування попередньої очистки дифузійного соку	15
2.1. Моделювання статичного режиму роботи переддефекатора	15
2.2. Моделювання динамічного режиму апарату попередньої очистки дифузійного соку	23
РОЗДІЛ 3. Визначення параметрів настройки регулятора	30
3.1. Визначення параметрів настройки регулятора за методом Ціглера- Нікольса	30
3.2. Визначення параметрів настройки регулятора за табличним методом	33
3.3. Розробка функціональної схеми автоматизації апарату попередньої очистки дифузійного соку за допомогою багатоконтурних систем	39
РОЗДІЛ 4. Автоматизація виробництва цукру з цукрового буряку	41
4.1. Технологія процесу виробництва цукру з цукрового буряку	41
4.2. Формування функціональних задач автоматизації	42
4.3. Контури керування	42
4.3.1 Контур підготовки буряків до дифузійного процесу	42
4.3.2. Контур отримання та очищення дифузійного соку	43
4.3.3. Контур випарювання	45
4.3.4. Контур отримання кристалічного цукру	46
РОЗДІЛ 5. Вибір технічних засобів автоматизації	48
5.1. Вибір контролера та електроніки	48
5.2. Вибір давачів	58
5.3. Вибір виконавчих механізмів	63
РОЗДІЛ 6. Розробка НМІ – інтерфейсу	67
6.1. Основні поняття про НМІ	67
6.2. Вибір середовища розробки	69
6.3. Розробка інтерфейсу	72
Висновки	77
Література	78

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах жорсткої конкуренції на ринку цукру, підвищення ефективності виробництва є одним з ключових факторів успіху. Ця кваліфікаційна бакалаврська робота пропонує рішення цієї проблеми шляхом розробки та впровадження системи автоматизації виробництва цукру з цукрового буряку, що дозволить знизити витрати та підвищити якість продукції.

Цукрова промисловість є одним з ключових секторів української економіки. Однак, традиційні методи виробництва цукру з буряку є енергоємними та трудомісткими. Автоматизація виробничих процесів є перспективним шляхом до підвищення ефективності, зниження витрат та покращення якості продукції в цій галузі.

З метою оптимізації виробничого процесу цукру, проведено детальний аналіз технологічної схеми, починаючи від підготовки сировини і закінчуючи отриманням готового продукту. В результаті дослідження визначено критичні етапи, які потребують впровадження автоматизованих систем управління. Особливу увагу приділено процесам екстракції цукру, очищення соку, випарювання та кристалізації.

На основі детального аналізу технологічного процесу виробництва цукру була розроблена комплексна система автоматизації, яка включає в себе сучасні програмовані логічні контролери (ПЛК) та SCADA-систему. Запропонована структура системи передбачає збір даних з виробничого обладнання, обробку цієї інформації, прийняття рішень щодо управління технологічними процесами та візуалізацію всіх стадій виробництва для зручності оператора.

У роботі представлено детальний аналіз сучасних систем автоматизації виробництва цукру з цукрового буряку. Дослідження охоплює вибір оптимального обладнання та розробку ефективних алгоритмів управління виробничими процесами.

Результати цього дослідження мають безпосереднє практичне застосування у цукровому виробництві. Розроблена система автоматизації може бути ефективно використана для модернізації існуючих заводів та проектування нових, що дозволить українським виробникам цукру підвищити свою конкурентоспроможність на світовому ринку та відповідати найсучаснішим стандартам галузі.

Мета дослідження: полягає у створенні системи управління, яка дозволить автоматизувати та оптимізувати всі технологічні стадії виробництва цукру, забезпечивши максимальну ефективність використання ресурсів та підвищення якості кінцевого продукту.

Об'єктом дослідження є комп'ютерно-інтегрована система керування технологічним процесом отримання цукру, створена на базі обладнання Schneider Electric, яка спрямована на оптимізацію процесів виробництва, підвищення ефективності та якості продукції.

Завдання дослідження:

- Здійснити детальне дослідження сучасних систем автоматизації, що використовуються у виробництві цукру з буряку.
- Створити детальний проект системи автоматизації для цукрового виробництва.
- Розробити алгоритми автоматизованого керування окремими етапами виробництва цукру з цукрового буряку.
- Створити систему SCADA для візуалізації та керування технологічними процесами виробництва цукру.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Призначення об'єкта

Щороку людство споживає мільярди кілограмів цукру, і хоча точної цифри важко досягти, відомо, що попит на цей солодкий продукт є величезним. Найбільше цукор використовують у кулінарії. Для виробництва 1 кілограма цукру потрібно приблизно 1,5 кілограма буряків.

Цукровий завод — це промислове підприємство, яке спеціалізується на переробці цукрових буряків та виробництві цукру. Основна мета підприємства — отримати максимальний вихід цукру з буряків, забезпечуючи при цьому високу якість продукції.



Рис. 1.1. Підготовка буряку до виробництва цукру

Виробничий процес на цукровому заводі складається з ряду технологічних операцій, зокрема:

1. Приймання та зберігання цукрових буряків.

Спершу спеціальні комбайни збирають буряки на полі, після чого їх транспортують на цукровий завод за допомогою вантажних машин. Буряки зберігаються у спеціальних бункерах. Перед цим вони проходять процес зважування

та оцінки вмісту цукру, чим займається біохімічний відділ заводу. У таблиці 1.1 наведено 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, %	7,5-18,5	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 рис. 1.2 показано біохімічний аналізатор, за допомогою якого проводиться перевірка всіх якісних показників сировини.



Рис. 1.2. Біохімічний аналізатор

2. Підготовка буряків до переробки (миття, очищення, нарізання).
3. Подрібнення буряків на стружку.
4. Екстрагування (вилучення цукрози з сировини).
5. Очищення дифузійного соку за допомогою вапна і сатураційного газу.
6. Сатурація – процес видалення жому.
7. Використання вакуумного апарату для кристалізації цукру.
8. Центрифугування утфелю (суміші кристалів цукру).
9. Сушка і пакування готового цукру.

На рис. 1.3 представлена загальна схема виробничого процесу цукру.



Рис. 1.3. Загальна схема виробництва цукру

Окрім основної продукції — цукру, на цукрових заводах також можуть виготовляти побічні продукти, такі як меляса, жом, вапно тощо. Ці продукти можуть знаходити застосування в інших галузях промисловості, зокрема у виробництві кормів для тварин, спирту або використовуватися як добрива.

1.2. Компоненти системи

Ми вже з'ясували, що цукровий завод має кілька виробничих етапів, і на кожному з них використовуються відповідні установки для обробки цукрових буряків. Для виробничого процесу необхідно встановити:

1. Бункер для зберігання буряків. На рис. 1.4 представлено бункер, у якому зберігаються буряки.

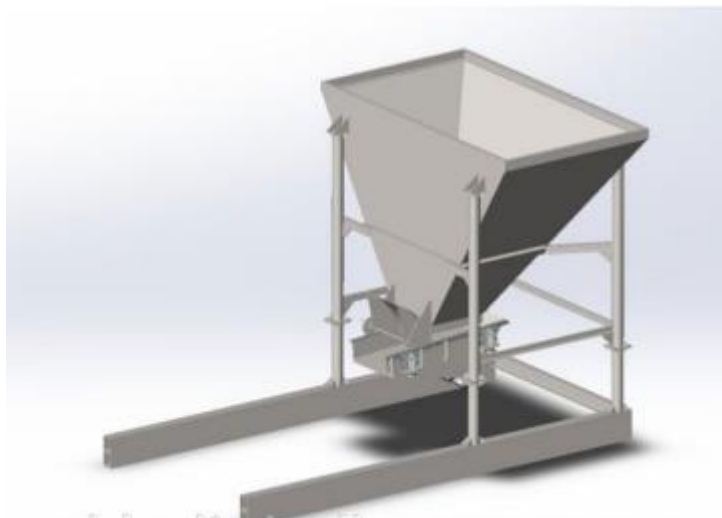


Рис. 1.4. Бункер зберігання буряку з віброподачею

2. Система транспортування буряків між об'єктами.

Цукрові буряки подаються до системи очищення за допомогою гідротранспортерів. На рис. 1.5 показана система транспортування буряків.



Рис.1.5. Гідротранспортер

3. Система очищення буряків.

Буряки потрапляють у велику ванну, де їх миють від піску та землі. На рисунку 1.6 зображена ванна для миття буряків.



Рис. 1.6. Миття буряку

Після миття буряки потрапляють до системи подрібнення.

4. Система подрібнення буряків.

Подрібнення буряків здійснюється за допомогою спеціальних бурякорізок, які перетворюють буряки на стружку. На рис. 1.7 показано процес подрібнення буряків.



Рис. 1.7. Бурякорізка

5. Дифузійна установка

Після подрібнення буряки надходять до дифузійного апарата, де проходить процес екстрагування цукрози з буряків.

6. Блок очищення

Дифузійний сік потрапляє на станцію очищення, де обробляється вапном і сатураційним газом.

7. Установка випарювання

Очищений сік спрямовується на станцію випарювання, де відбувається дегідратація. Потім сироп ще раз фільтрується і потрапляє до вакуумного апарата.

8. Установа вакуумного кристалізації цукру

9. У вакуумному апараті відбувається процес кристалізації цукру з цукрового сиропу. На рис. 1.8 зображений вакуумний апарат.

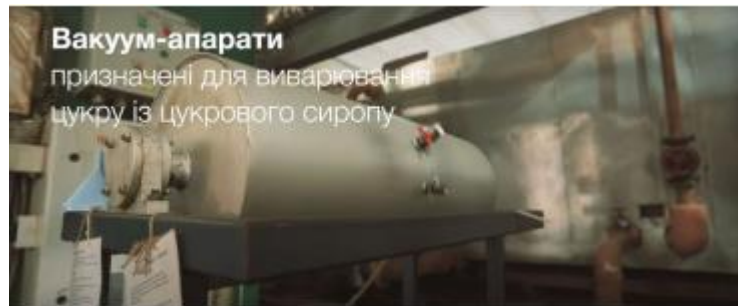


Рис. 1.8. Вакуум-апарат

10. Установки для сушки та пакування

Отриманий цукор після вакуумної машини підлягає центрифугуванню, в результаті якого цукор відокремлюється від патоки. Потім цукор висушують і фасують у пакети або мішки. На рис. 1.9 показані компоненти системи, які беруть участь у виробництві цукру.

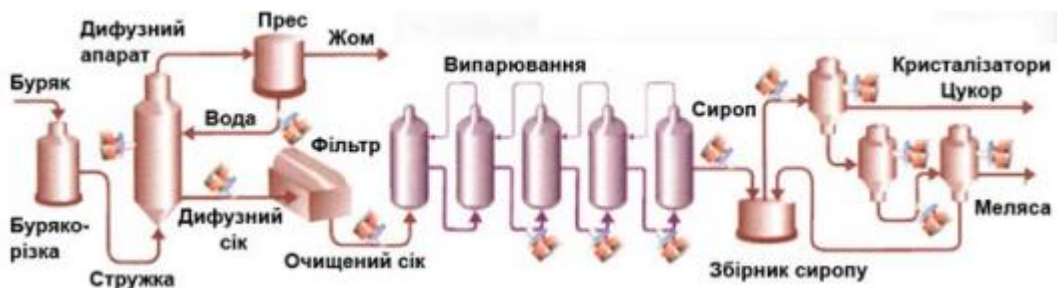


Рис. 1.9. Компоненти системи виробництва цукру

Усі процеси, що відбуваються в установках, управляються і контролюються за допомогою шафи керування. У цій шафі розміщені контролер, модулі вводу-виводу, автоматичні вимикачі та інша необхідна автоматизація.

1.3. Технічні характеристики процесу

З технічними характеристиками та умовами експлуатації установки можна ознайомитися у таблицях 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	131 т/год. 3 310 т/добу
2.	Ритмічність переробки буряків за зміну та за день	Не нижче 93%
3.	Транспортерно-мийна вода	pH 8.0-10,0
4.	Ополіскування відмитих буряків перед бурякоелеватором розчином хлорного вапна	П о с т і й н о
5.	Довжина 100 грам стружки	10 метрів
6.	Вміст мезги та браку в стружці	Не більше 2 %
7.	Фактор стружки	Не нижче 9,8
8.	Гранично допустимі втрати цукру на дифузії і жому	Не більше 0.38% до маси буряків
9.	Температура барометричної води Температура башеного соку Температура жомопресової води Температура сокостружечної суміші Температура середини колони	67*С 82*С 71*С 74*С 67*С
10.	pH барометричної води	5,7 – 6,1 од.
11.	Відкачка дифузійного соку	113%
12.	pH в дифапараті	Не понижувати нижче 6,3
13.	Дезинфекцію дифузії проводити формаліном з розрахунку 25 кг на 110 т. Буряків	Формалін вводити через кожні 2,5 години та додатково перед зупинкою на термін більше 15 хв.
14.	СР дифузійного соку на виробництво	16-16,5 %
15.	Вміст пульпи в дифузійному соці	Не більше 2 г/л

Таблиця 1.3.

Умови експлуатації автоматизованої системи виробництва цукру

Назва	Параметр
Кліматичні умови експлуатації: Вологість Температура	від 40 до 60% від 15 до 40 °С
Умови експлуатації ШК: Вологість Температура Положення Сутпінь захисту	від 40 до 60% від 15 до 40 °С Вертикальне IP53
Проведення технічного огляду	Раз на 3 місяця
Термін обробки буряку	не більше 110-130 діб

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОЧИСТКИ ДИFUЗІЙНОГО СОКУ

2.1. Моделювання статичного режиму роботи переддефектатора

Змоделюємо роботу апарату попередньої очистки дифузійного соку. Цей апарат буде об'єктом керування. Управління процесами, які відбуваються у даному апараті, буде здійснюватись шляхом утримання керованих величин на заданому оператором-технологом рівні.

Переддефектатор – апарат для змішування соку з вапняним розчином, результатом чого являється осадження та коагуляція небажаних речовин.

Даний апарат – горизонтальний перед дефектатор Брігель-Мюллера, в якому сік очищається від сторонніх речовин і відходів. На вхід подають дифузійний сік, вапно і повернення соків насичення.

Схема попереднього очищення з позначенням усіх технологічних параметрів процесу, показано на рис. 2.1.

На даній схемі наявні такі технологічні параметри:

$F_S, F_{RV}, F_{PSS}, F_{PS}, F_O$ – витрата соку цукрового буряка, вапна, повернення соку насичення, результуючої суміші, та осаду відповідно;

$t_S, t_{RV}, t_{PSS}, t_{PS}, t_O, C_S, C_{RV}, C_{PSS}, C_{PS}, C_O$ – температура та теплоємність сумішей, які подаються у апарат;



Рис. 2.1. Параметрична схема апарату
попередньої очистки дифузійного соку

При моделюванні динаміки та статички апарату очистки дифузійного соку допускаємо, що:

1. Параметри об'єкту розподілені лінійно.
2. Припускаємо, що питомі теплоємності – сталі.
3. Речовини, які випадають у осад, розподіляються по усій довжині перед дефекатору лінійно.
4. Температура у апараті розподіляється лінійно.
5. Осадження кислот – це реакція, яка має перший порядок [4]

Величини параметрів, що приймають участь у реакції в даному апараті при моделюванні статички, вказані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Величини параметрів статичного режиму для апарату
попередньої очистки дифузійного соку

Назва параметру	Умовне позначення	Числове значення	Розмірність
Температура соку цукрового буряку на вході	t_s	328	град. К
Температура суміші на виході	t_{PS}	335	град. К
Температура вапна	t_{RV}	328	град. К
Температура соку повернення після насичення на вході	t_{PSS}	328	град. К
Температура речовини з осадом на виході	t_o	335	град. К
Витрата соку цукрового буряку на вході	F_s	70	кг/с
Витрата вапна	F_{RV}	2,1	кг/с
Витрата соку повернення після насичення на вході	F_{PSS}	15	кг/с
Витрата речовини з осадом	F_o	0,4	кг/с
Витрата суміші на виході	F_{PS}	86,8	кг/с
Теплоємність соку цукрового Буряку	C_s	3966	Дж/(кг·К)
Теплоємність вапна	C_{RV}	3920	Дж/(кг·К)
Теплоємність соку повернення після насичення	C_{PSS}	3990	Дж/(кг·К)

Таблиця 2.1.

Величини параметрів статичного режиму для апарату попередньої очистки дифузійного соку (Продовження)

Назва параметру	Умовне позначення	Числове значення	Розмірність
Теплоємність речовини з осадом	C_O	3723	Дж/(кг·К)
Теплоємність суміші на виході	C_{PS}	3975	Дж/(кг·К)
Густина соку цукрового буряку	ρ_S	1070	кг/м ²
Об'єм речовини в апараті	V_a	170	м ³
рН в апараті	рН	11	рН
Концентрація кислот на вході	X_1	1.88	%
Концентрація кислот на виході	X_2	1.28	%
Концентрація розчину вапна на вході	X_{v1}	85	%
Концентрація розчину вапна на виході	X_{v2}	75	%

Нижче наведено розрахункову схему апарату попередньої очистки дифузійного соку, з позначенням концентрацій кислот показано на рис. 2.2.

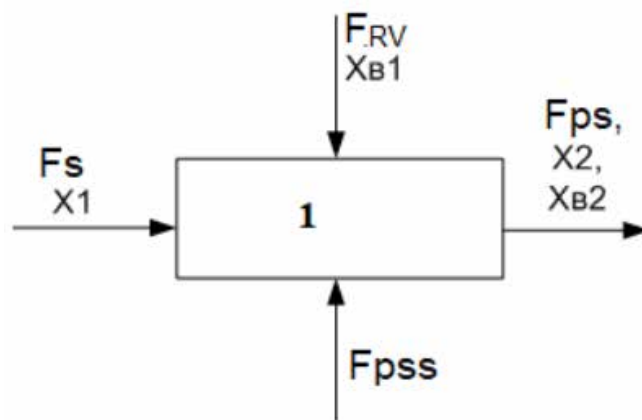


Рис. 2.2. Розрахункова схема апарату попередньої очистки дифузійного соку

На рис. 2.2 прийняті наступні позначення:

1 – апарат попередньої очистки соку цукрового буряку;

F_S – витрата соку цукрового буряку при вході в апарат попередньої очистки дифузійного соку;

X_1 – концентрація при вході у апарат кислоти, що необхідно усунути;

F_{RV} – витрата вапна при вході в апарат попередньої очистки дифузійного соку;

X_{v1} – концентрація вапна при вході в апарат попередньої очистки дифузійного соку;

F_{PSS} – витрата повернень соків сатурації;

F_{PS} – витрата результуючої суміші;

X_2 – концентрація кислот при виході;

X_{v2} – концентрації розчину вапна при виході з апарату попередньої очистки дифузійного соку.

Складаємо баланс по кислотному балансу:

Кількість кислоти, що прибуває у апарат попередньої очистки дифузійного соку:

$$F_S \cdot X_S;$$

Кількість кислоти, що виходить із апарату попередньої очистки дифузійного соку:

$$(F_S \cdot (1-n) + F_{PS}) \cdot X_1;$$

Кількість кислоти, що пройшла реакцію, виражену через кількість прореагованого вапна:

$$K_1 \cdot (F_{RV} \cdot X_{v1} - (F_S \cdot (1-n) + F_{PS}) \cdot X_{v2});$$

Кількість кислоти, що знаходиться в апараті попередньої очистки дифузійного соку, врахувавши лінійний розподіл концентрації кислоти на всю довжину апарату попередньої очистки дифузійного соку:

$$V_A \cdot \rho_S \cdot \frac{d\left(\frac{X_1 + X_2}{2}\right)}{dt}.$$

Матеріальний баланс апарату попередньої очистки дифузійного соку за загальними витратами речовин:

$$F_S + F_{PSS} + F_{RV} = F_{PS} + F_O, \quad (2.1.1)$$

по зважених частинках:

$$F_S \cdot X_S = F_{PS} \cdot X_{PS} + F_O \cdot X_O. \quad (2.1.2)$$

Де F_S , F_{PS} , F_O – кількість сумішей що реагують: соку цукрового буряка, соку на виході, та осаду в соку, кг;

X_S , X_{PS} , X_O – концентрація кислот в соці, що проходить реакцію, соку на виході і осаду.

Розрахуємо швидкість реакції:

$$\omega = K \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \cdot \frac{(X_S + X_{PS})}{2}. \quad (2.1.3)$$

Припустимо, що при статичному режимі лінеаризована залежність лужності: $pH = f(X)$. В такому випадку для потоку на виході з апарату попередньої очистки дифузійного соку:

$$pH = A - B \cdot X_{PS}, \quad (2.1.4)$$

де A і B – коефіцієнти, що відповідають величині pH в залежності від концентрації кислоти в переддефікованому соці X_{PS} .

Експериментальні дані: $A = 11,024$ pH ; $B = 4 \frac{pH}{\%}$.

Тоді за виразом (2.1.4) маємо

$$X_{PS} = \frac{\frac{A}{B} - 1}{B \cdot pH}. \quad (2.1.5)$$

Рівняння динаміки прийме вид:

$$\begin{aligned} -F_S \cdot X_1 + K \cdot e^{-\frac{E}{RT_{PS}}} \cdot \frac{(X_1 + X_2)}{2} \cdot V_A \cdot \rho_S - F_{PS} \cdot X_2 = \\ = V_A \cdot \rho_S \cdot \frac{d\left(\frac{X_1 + X_2}{2}\right)}{dt} \end{aligned} \quad (2.1.6)$$

де V_a – об'єм сумішей в апараті попередньої очистки дифузійного соку;
 ρ_S – густина суміші.

Із закону збереження маси виходить, що величина речовин, що надходить ($F_S + F_{PS} + F_{RV}$) буде рівнятись величині речовини ($F_O + F_{PS}$), що виходить.

Баланс по енергії у апараті попередньої очистки дифузійного соку [1]:

$$\sum Q = \sum Q_S + \sum Q_{PSS}$$

$\sum Q$ – загальна теплова енергія при виході;

$\sum Q_S$ – загальна теплова енергія при вході в апарат попередньої очистки дифузійного соку (сік цукрового буряка та вапно);

$\sum Q_{PSS}$ – загальна теплова енергія соку насичень, що надходять у апарат.

Кількість тепла, що надходить у апарат попередньої очистки дифузійного соку, визначається таким відношенням

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.1.7)$$

де Q_1 - кількість тепла, що надходить від соку цукрового буряка та вапна;
 Q_2 - кількість тепла, що надходить ззовні – з поверненням соків насичення; Q_3 – кількість тепла, що виділяється при різних фізичних і хімічних реакціях.

Баланс по теплу у апарату попередньої очистки дифузійного соку:

$$Q_S + Q_{PSS} + Q_{RV} - Q_{PS} + w_S \cdot \rho_S \cdot q = V \cdot \rho \cdot \frac{d\left(\frac{T_S + T_{PS}}{2}\right)}{dt} \quad (2.1.8)$$

Кількість тепла, яке надходить з вхідними речовинами, змінюється при хімічних реакціях, а також відходить, представляється в такому вигляді:

$$Q = F \cdot C \cdot t \quad (2.1.9)$$

де t , C , F – температура, теплоємність і витрата розчинів;

$Q_S = F_S \cdot t_S \cdot C_S$ – тепло, яке приходить з соком цукрового буряку;

$Q_{RV} = F_{RV} \cdot t_{RV} \cdot C_{RV}$ – тепло, яке приходить з вапном;

$Q_{PSS} = F_{PSS} \cdot t_{PSS} \cdot C_{PSS}$ – тепло, яке приходить з соком насичення;

$Q_{PS} = F_{PS} \cdot t_{PS} \cdot C_{PS}$ – тепло, яке виходить з результуючою сумішшю;

q – тепло, що утворюється як наслідок реакції кислот з вапном.

В процесі реакції, що проходить у апараті попередньої очистки дифузійного соку, температура на виході більше, ніж на вході приблизно на 5°C , тому необхідно знайти кількість тепла, що утворюється:

$$5 \cdot (F_S \cdot (1 - n) + F_{PSS}) \cdot C = q. \quad (2.1.9)$$

Запишемо результуюче рівняння:

$$F_S \cdot t_S \cdot C_C + F_{PSS} \cdot t_{PSS} \cdot C_{PSS} + F_{RV} \cdot t_{RV} \cdot C_{RV} - F_{PS} \cdot t_{PS} \cdot C_{PS} + w_S \cdot V_A \cdot \rho_S \cdot q = 0$$

$$F_S \cdot t_S \cdot C_C + F_{PSS} \cdot t_{PSS} \cdot C_{PSS} + F_{RV} \cdot t_{RV} \cdot C_{RV} - F_{PS} \cdot t_{PS} \cdot C_{PS} + w_S \cdot V_A \cdot \rho_S \cdot q =$$

$$= V_A \cdot \rho_S \cdot \frac{d\left(\frac{T_S + T_{PS}}{2}\right)}{dt}.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_S \cdot X_1 + K \cdot \left(\frac{X_1 + X_2}{2}\right) \cdot V_A \cdot \rho_S - F_{PS} \cdot X_2 = 0 \end{array} \right. \quad (2.1.10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_S \cdot t_S \cdot C_C + F_{PSS} \cdot t_{PSS} \cdot C_{PSS} + F_{RV} \cdot t_{RV} \cdot C_{RV} - F_{PS} \cdot t_{PS} \cdot C_{PS} + \\ + K \cdot \left(\frac{X_1 + X_2}{2}\right) \cdot V_A \cdot \rho_S = 0 \end{array} \right. \quad (2.1.11)$$

Виразимо з рівняння (2.1.11) витрату F_{PS} :

$$F_{PS} = F_{RV} + F_{PSS} + F_S \cdot n \quad (2.1.12)$$

Підставимо вираз (2.1.12) в (2.1.10) рівняння:

$$F_{PS} \cdot X_1 - K \cdot \left(\frac{X_1 + X_2}{2}\right) \cdot V_A \cdot \rho_S - (F_{RV} + F_{PSS} + F_S \cdot n) \cdot X_2 = 0 \quad (2.1.13)$$

Виразимо з одержаного рівняння кількість кислоти при виході:

$$X_2 = \frac{X_1 \cdot (2 \cdot F_S - K \cdot V_A \cdot \rho_S)}{2 \cdot (F_{RV} + F_{PSS} + F_S \cdot n) + K \cdot V_A \cdot \rho_S} \quad (2.1.14)$$

Статичні характеристики всіх каналів апарату попередньої очистки дифузійного соку для номінального режиму навантаження, побудовані у математичному пакеті MathCAD, приведені на рис. 2.3 – 2.4.

Оскільки регульованим параметром являється концентрація кислот при виході з апарату попередньої очистки дифузійного соку, яка в свою чергу залежить від витрати розчину вапна, то статична характеристика для каналу керування $F_{RV} \rightarrow X_2$ матиме вигляд (рис. 2.3).

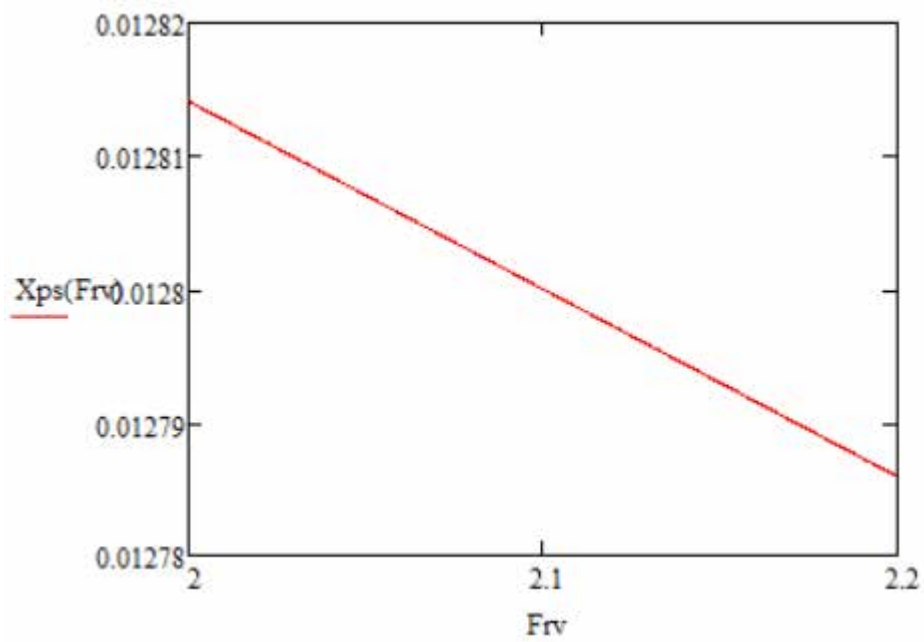


Рис. 2.3. Статична характеристика
для каналу керування $F_{RV} \rightarrow X_2$

За каналом збурення "витрати соку цукрового буряка – рівень рН", статична характеристика набуває вигляд (рис. 2.4).

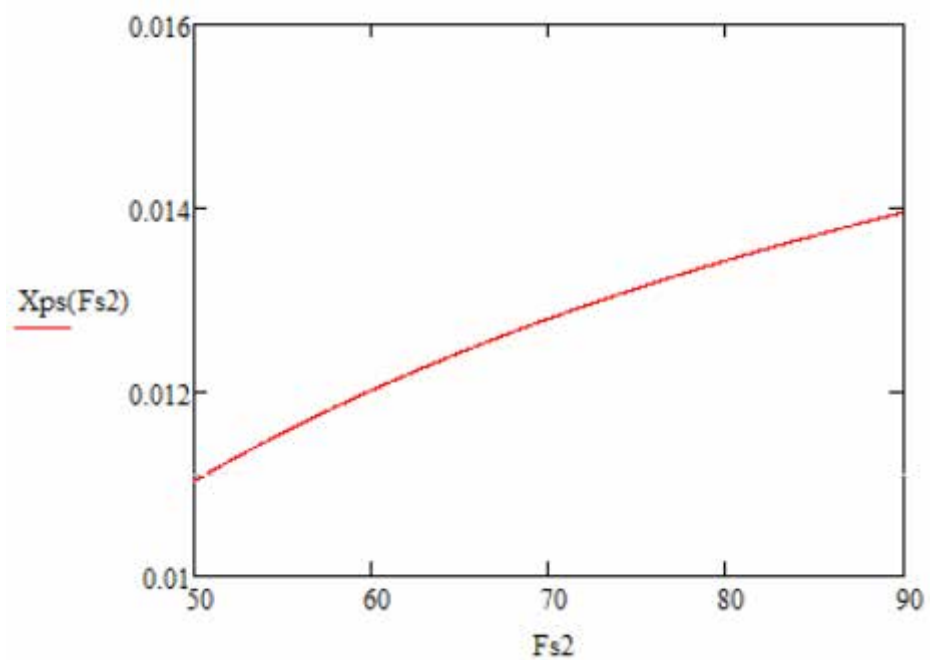


Рис. 2.4. Статична характеристика
канал збурення $F_s \rightarrow X_2$

2.2. Моделювання динамічного режиму апарату попередньої очистки дифузійного соку

Параметрами є:

- регульована величина X_2 ;
- керуючий вплив F_{RV} ;
- збурення на систему – зміна F_S , X_1 .

Оскільки невелика кількість вапна, що надходить в апарат, не вступає в реакцію з соком цукрового буряку безпосередньо в апараті, і йде далі по технічній лінії з переддефектатору, то необхідно записати рівняння для відповідності реагуючих концентрацій:

$$F_S \cdot X_1 - (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS}) \cdot X_2 = K_1 \cdot (F_{RV} \cdot X_{V1} - (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS}) \cdot X_{V2}) \quad (2.2.1)$$

X_1, X_2 – концентрації узагальнених кислот при вході та виході апарату;

X_{V1}, X_{V2} – концентрації вапна при вході та виході апарату.

Рівняння по балансу узагальнених кислот в апарат попередньої очистки дифузійного соку:

$$\begin{aligned} F_S \cdot X_1 + K \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS}}} \cdot \left(\frac{X_{V1} + X_{V2}}{2} \right) \cdot V_A \cdot \rho_S - (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS}) \cdot X_2 = \\ = V_A \cdot \rho_S \cdot \frac{d\left(\frac{X_1 + X_2}{2}\right)}{dt} \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

Виразимо X_{V2} з 2.2.1:

$$X_{V2} = \frac{-F_S \cdot X_1 + (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS}) \cdot X_{PS} + K_1 \cdot F_{RV} \cdot X_{V1}}{K_1 \cdot (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS})}$$

Отже, маємо таке рівняння динаміки кислот в апараті попередньої очистки дифузійного соку:

$$\begin{aligned} F_S \cdot X_1 + K \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS}}} \cdot \left(X_{V1} + \frac{-F_S \cdot X_1 + (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS}) \cdot X_{PS} + K_1 \cdot F_{RV} \cdot X_{V1}}{K_1 \cdot (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS})} \right) * \\ * V_A \cdot \rho_S \cdot \frac{q}{2} - (F_S \cdot (1-n) + F_{PSS}) \cdot X_2 = V_A \cdot \rho_S \cdot \frac{d\left(\frac{X_1 + X_2}{2}\right)}{dt} \end{aligned} \quad (2.2.3)$$

Опис апарату попередньої очистки соку цукрового буряка представимо у відхиленнях величин від головного статичного режиму, за індексом «0»:

$$X_1 = X_{10} + \Delta X_1;$$

$$X_2 = X_{20} + \Delta X_2;$$

$$F_{RV} = F_{RV0} + \Delta F_{RV};$$

$$F_S = F_{S0} + \Delta F_S;$$

$$T_{PS} = T_{PS0} + \Delta T_{PS}.$$

Лінеаризуємо рівняння динаміки апарату попереднього очищення соку цукрового буряку:

$$\begin{aligned} & \Delta F_S \cdot (X_{10} - (1-n) \cdot X_{20}) - \left(\frac{X_{10} \cdot F_{PS}}{K_1 \cdot (F_{S0} \cdot (1-n) + F_{PS})^2} + \frac{(1-n) \cdot F_{RV} \cdot X_{V1}}{F_{S0} \cdot (1-n) + F_{PS}} \right) * \\ & K \cdot \left(e^{-\frac{E}{T_{PS0}}} + \frac{E \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS0}}}}{R \cdot T_{PS0}^2} \cdot (\Delta T_{PS} - T_{PS0}) \right) \cdot V_A \cdot \rho_S \\ & * \frac{\quad}{2} + \\ & + \Delta X_1 \cdot \left(F_{S0} - \frac{F_{S0}}{K_1 \cdot (F_{S0} \cdot (1-n) + F_{PS})} \right) \cdot \frac{K \cdot \left(e^{-\frac{E}{T_{PS0}}} + \frac{E \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS0}}}}{R \cdot T_{PS0}^2} \cdot (\Delta T_{PS} - T_{PS0}) \right) \cdot V_A \cdot \rho_S}{2} + \\ & K \cdot \left(e^{-\frac{E}{T_{PS0}}} + \frac{E \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS0}}}}{R \cdot T_{PS0}^2} \cdot (\Delta T_{PS} - T_{PS0}) \right) \cdot V_A \cdot \rho_S \quad (2.2.4) \\ & + \Delta X_2 \cdot \frac{\quad}{2 \cdot K_1} - (F_{S0} \cdot (1-n) + F_{PS}) + \\ & K \cdot \left(e^{-\frac{E}{T_{PS0}}} + \frac{E \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS0}}}}{R \cdot T_{PS0}^2} \cdot (\Delta T_{PS} - T_{PS0}) \right) \cdot V_A \cdot \rho_S \cdot X_{V1} \\ & + \Delta F_{RV} \cdot \frac{\quad}{2 \cdot (F_{S0} \cdot (1-n) + F_{PS})} = \\ & = \frac{V_A \cdot \rho_S}{2} \cdot \left(\frac{d\Delta X_1}{dt} + \frac{d\Delta X_2}{dt} \right) \end{aligned}$$

Виразимо T_{PS} з рівняння (2.2.4):

$$\begin{aligned}
 & \left(e^{\frac{E}{T_{PS0}}} + \frac{E \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS0}}}}{R \cdot T_{PS0}^2} \cdot (\Delta T_{PS} - T_{PS0}) \right) * \\
 & * (\Delta X_2 \cdot \frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S}{2 \cdot K_1} + \Delta F_{RV} \cdot \frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S \cdot X_{V1}}{2 \cdot (F_{S0} \cdot (1-n) + F_{PS})} - \\
 & - \Delta F_S \left(\frac{X_{10} \cdot F_{PS}}{K_1 (F_{S0} (1-n) + F_{PS})^2} + \frac{(1-n) F_{RV} X_{V1}}{F_{S0} (1-n) + F_{PS}} \right) \cdot \frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S}{2} - \\
 & - \Delta X_1 \left(\frac{F_{S0}}{K_1 (F_{S0} (1-n) + F_{PS})} \cdot \frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S}{2} \right) = \frac{V_A \cdot \rho_S}{2} \left(\frac{d\Delta X_1}{dt} + \frac{d\Delta X_2}{dt} \right) - \\
 & - \Delta F_S \cdot (X_{10} - (1-n) \cdot X_{20}) - \Delta X_1 F_{S0} + \Delta X_2 (F_{S0} (1-n) + F_{PS})
 \end{aligned} \tag{2.2.3}$$

Так як більшість коефіцієнтів відома, замінимо наступні вирази для спрощення ведення запису:

$$\frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S}{2 \cdot K_1} = A;$$

$$\frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S \cdot X_{V1}}{2 \cdot (F_{S0} \cdot (1-n) + F_{PS})} = B;$$

$$\left(\frac{X_{10} \cdot F_{PS}}{K_1 (F_{S0} (1-n) + F_{PS})^2} + \frac{(1-n) F_{RV} X_{V1}}{F_{S0} (1-n) + F_{PS}} \right) \cdot \frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S}{2} = C;$$

$$\frac{F_{S0}}{K_1 (F_{S0} (1-n) + F_{PS})} \cdot \frac{K \cdot V_A \cdot \rho_S}{2} = D;$$

$$e^{\frac{E}{T_{PS0}}} = E1;$$

$$\frac{E \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{PS0}}}}{R \cdot T_{PS0}^2} = E2;$$

$$X_{10} - (1-n) \cdot X_{20} = G;$$

$$F_{S0} (1-n) + F_{PS} = H;$$

$$\frac{V_A \cdot \rho_S}{2} = K;$$

$$\begin{aligned}
 & (E1 + E2 \cdot (\Delta T_{PS} - T_{PS0})) \cdot (A \cdot \Delta X_2 + B \cdot \Delta F_{RV} - C \cdot \Delta F_S - D \cdot \Delta X_1) = \\
 & = K \frac{d\Delta X_1}{dt} + K \frac{d\Delta X_2}{dt} - G \cdot \Delta F_S - \Delta X_1 \cdot F_{S0} + H \cdot \Delta X_2;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& A \cdot X_{20} \cdot \Delta T_{PS} \cdot E_2 + D \cdot F_{RV} \cdot \Delta T_{PS} \cdot E_2 - C \cdot F_{S0} \cdot \Delta T_{PS} \cdot E_2 - D \cdot X_{10} \cdot \Delta T_{PS} \cdot E_2 = \\
& = K \frac{d\Delta X_1}{dt} + K \frac{d\Delta X_2}{dt} - \Delta F_S (G - C \cdot E_1) - \Delta X_1 (F_{S0} - D \cdot E_1) + \Delta X_2 \cdot (H - A \cdot E_1) \\
& \Delta T_{PS} \cdot (A \cdot X_{20} \cdot E_2 + D \cdot F_{RV} \cdot E_2 - C \cdot F_{S0} \cdot E_2 - D \cdot X_{10} \cdot E_2) = \\
& = K \frac{d\Delta X_1}{dt} + K \frac{d\Delta X_2}{dt} - \Delta F_S (G - C \cdot E_1) - \Delta X_1 (F_{S0} - D \cdot E_1) + \Delta X_2 \cdot (H - A \cdot E_1);
\end{aligned}$$

Нехай

$$(A \cdot X_{20} \cdot E_2 + D \cdot F_{RV} \cdot E_2 - C \cdot F_{S0} \cdot E_2 - D \cdot X_{10} \cdot E_2) = L;$$

$$\Delta T_{PS} = \frac{K}{L} \frac{d\Delta X_1}{dt} + \frac{K}{L} \frac{d\Delta X_2}{dt} - \Delta F_S \frac{(G - CE_1)}{L} - \Delta X_1 \frac{(F_{S0} - DE_1)}{L} + \Delta X_2 \frac{(H - AE_1)}{L} \quad (2.2.5)$$

Отже, ми маємо виражену температуру суміші на виході, виражену через реакцію, що проходить у перед дефекаторі.

Перейдемо до рівняння динаміки теплового балансу апарату попередньої очистки дифузійного соку:

$$F_S t_S C_S + F_{PSS} t_S C_{PSS} + F_{RV} t_{RV} C_{RV} - F_{PS} T_{PS} C_{PS} + w_S V_A \rho_S q = V \rho_S \frac{d\left(\frac{T_S + T_{PS}}{2}\right)}{dt} \quad (2.2.6)$$

Змінні величини:

T_{PS} – регульована температура;

F_{RV} – керування подачею вапна;

F_S, t_S – збурення по витраті та температурі вхідного соку.

Підставимо виражену температуру з матеріального балансу та лінеаризуємо рівняння динаміки теплового балансу апарату попередньої очистки дифузійного соку:

$$\begin{aligned}
& \Delta F_S t_S C_S + \Delta t_S (F_S C_S + F_{PSS} C_{PSS}) + \Delta F_{RV} t_{RV} C_{RV} - \\
& - \Delta T_{PS} (F_{PS} C_{PS} + K X_{PS} V_A \rho_S q) = V_A \rho_S \frac{d\left(\frac{T_S + T_{PS}}{2}\right)}{dt} \quad (2.2.7)
\end{aligned}$$

$$t_S \cdot C_S = At;$$

$$F_S \cdot C_S + F_{PSS} \cdot C_{PSS} = Bt;$$

$$T_{RV} \cdot C_{RV} = Ct;$$

$$F_{PS} \cdot C_{PS} + K \cdot X_{PS} \cdot V_A \cdot \rho_S \cdot q = Dt.$$

Прийmemo також, що вхідна концентрація речовин – стала. Тоді рівняння (2.2.7), також підставивши заміну з рівняння (2.2.5) прийме вид:

$$\begin{aligned} & \Delta F_S \cdot At + \Delta t_S \cdot Bt + \Delta F_{RV} \cdot Ct = \\ & = \frac{V \cdot \rho}{2} \cdot \frac{d \left(\frac{K}{L} \frac{d\Delta X_1}{dt} + \frac{K}{L} \frac{d\Delta X_2}{dt} - \Delta F_S \frac{G - CE1}{L} - \Delta X_1 \frac{F_{S0} - DE1}{L} + \Delta X_2 \frac{H - AE1}{L} \right)}{dt} + \\ & + \frac{V\rho}{2} \frac{d\Delta T_{PS}}{dt} + \left(\frac{K}{L} \frac{d\Delta X_1}{dt} + \frac{K}{L} \frac{d\Delta X_2}{dt} - \Delta F_S \frac{G - CE1}{L} - \Delta X_1 \frac{F_{S0} - DE1}{L} + \Delta X_2 \frac{H - AE1}{L} \right) Dt; \end{aligned}$$

Розділимо обидві частини рівняння на Dt:

$$\begin{aligned} & \Delta F_S \cdot \frac{At}{Dt} + \Delta t_S \cdot \frac{Bt}{Dt} + \Delta F_{RV} \cdot \frac{Ct}{Dt} - \frac{V\rho}{2Dt} \frac{d\Delta T_S}{dt} = \\ & = \frac{V \cdot \rho}{2Dt} \cdot \frac{d \left(\frac{K}{L} \frac{d\Delta X_1}{dt} + \frac{K}{L} \frac{d\Delta X_2}{dt} - \Delta F_S \frac{G - CE1}{L} - \Delta X_1 \frac{F_{S0} - DE1}{L} + \Delta X_2 \frac{H - AE1}{L} \right)}{dt} + \\ & + \left(\frac{K}{L} \frac{d\Delta X_1}{dt} + \frac{K}{L} \frac{d\Delta X_2}{dt} - \Delta F_S \frac{G - CE1}{L} - \Delta X_1 \frac{F_{S0} - DE1}{L} + \Delta X_2 \frac{H - AE1}{L} \right); \end{aligned}$$

Прийmemo

$$\frac{V \cdot \rho}{2Dt} = T, \text{ тоді}$$

$$\begin{aligned} & \frac{T(G - CE1)}{L} \frac{d\Delta F_S}{dt} + \Delta F_S \left(\frac{At}{Dt} + \frac{2(G - CE1)}{L} \right) + \Delta t_S \frac{Bt}{Dt} + \Delta F_{RV} \frac{Ct}{Dt} - T \frac{K}{L} \frac{d^2\Delta X_1}{dt^2} + \\ & + \frac{d\Delta X_1}{dt} \left(T \left(\frac{F_{S0} - DE1}{L} \right) + \frac{K}{L} \right) + \Delta X_1 \left(\frac{F_{S0} - DE1}{L} \right) = \\ & = T \frac{K}{L} \frac{d^2\Delta X_2}{dt^2} + \frac{d\Delta X_2}{dt} \left(T \left(\frac{H - AE1}{L} \right) + \frac{K}{L} \right) + \Delta X_2 \left(\frac{H - AE1}{L} \right) \end{aligned}$$

Виконаємо заміни та перетворення за Лапласом:

$$\frac{T(G - CE1)}{L} = K_{1FS};$$

$$\frac{At}{Dt} + \frac{2(G - CE1)}{L} = K_{2FS};$$

$$\frac{Bt}{Dt} = K_{TS};$$

$$\frac{Ct}{Dt} = K_{FRV};$$

$$T \frac{K}{L} = K_1;$$

$$T\left(\frac{F_{S0} - DE1}{L}\right) + \frac{K}{L} = K_{2X1};$$

$$\frac{F_{S0} - DE1}{L} = K_{3X1};$$

$$T\left(\frac{H - AE1}{L}\right) + \frac{K}{L} = K_{2X2};$$

$$\frac{H - AE1}{L} = K_{3X2};$$

$$\begin{aligned} & K_{1FS} \frac{d\Delta F_S}{dt} + K_{2FS} \Delta F_S + K_{TS} \Delta t_S + \Delta F_{RV} K_{FRV} - K_1 \frac{d^2 \Delta X_1}{dt^2} + K_{2X1} \frac{d\Delta X_1}{dt} + K_{3X1} \Delta X_1 = \\ & = K_1 \frac{d^2 \Delta X_2}{dt^2} + K_{2X2} \frac{d\Delta X_2}{dt} + K_{3X2} \Delta X_2. \end{aligned}$$

Отже, маємо такий вид рівняння:

$$\begin{aligned} & F_S(p)(K_{1FS}p + K_{2FS}) + K_{TS}T_S(p) + K_{FRV}F_{FRV}(p) - X_1(p)(K_1p^2 + K_{2X1}p + K_{3X1}) = \\ & = X_2(p)(K_1p^2 + K_{2X2}p + K_{3X2}) \end{aligned} \quad (2.2.8)$$

Передатна функція для каналу керування $F_{RV} \rightarrow X_2$:

$$W_{KEP}(p) = \frac{K_{FRV}}{K_1p^2 + K_{2X2}p + K_{3X2}} \quad (2.2.9)$$

$$K_{FRV} = 2,869;$$

$$K_1 = 137,612;$$

$$K_{2X2} = 110,746;$$

$$K_{3X2} = 0,98.$$

$$W_{KEP}(p) = \frac{2,869}{137,612p^2 + 110,746p + 0,98} \quad (2.2.10)$$

Перехідна характеристика об'єкта за каналом керування $F_{RV} \rightarrow X_2$ знаходиться зворотнім перетворенням Лапласа і добутку передаточної функції за каналом $W(p)$ та перетвореного за Лапласом одиничного сигналу $1(t)$:

$$h_{obk}(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} * W_k(p)\right] \quad (2.2.11)$$

За допомогою математичного пакету MathCAD визначаємо

$$\text{Hob}(t) := \frac{\text{Wob}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace}, p \\ \text{float}, 2 \end{array} \right. \rightarrow 0.033 \cdot e^{-0.8 \cdot t} + -3.0 \cdot e^{-0.0089 \cdot t} + 2.9$$

Перехідна характеристика за каналом керування $\text{Hob}(t)$, за формулою (2.2.11) наведена на рис. 2.5.

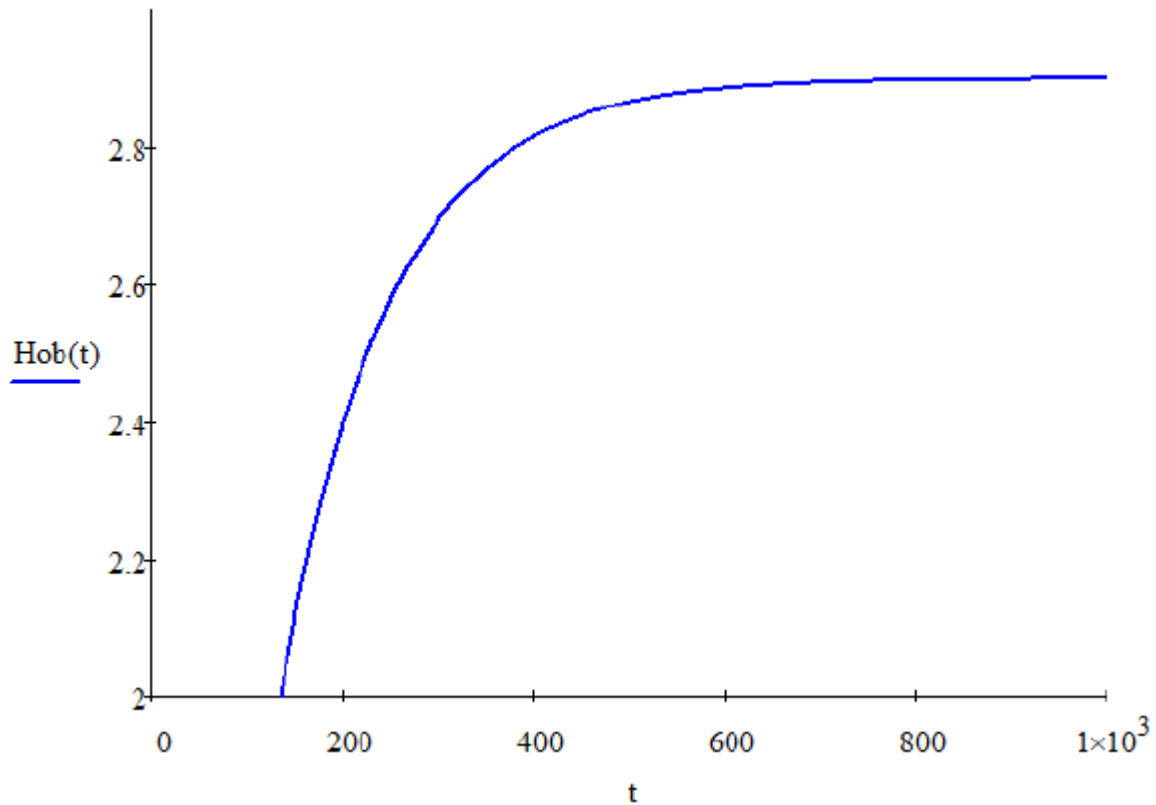


Рис. 2.5. Перехідна характеристика об'єкта управління
для каналу керування $F_{RV} \rightarrow X_2$

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА

3.1. Визначення параметрів настройки регулятора за методом Ціглера-Нікольса

Згідно цього методу, замкнену систему управління із П-регулятором виводять на границю стійкості, плавно збільшуючи коефіцієнт підсилення регулятора K_P . З отриманого коливного режиму вираховують критичне значення коефіцієнта підсилення регулятора та критичний період коливань. За цими визначеними параметрами вираховують оптимальні параметри налаштування регулятора використовуючи такі залежності:

- П-регулятор: $K_{OPT} = 0,55 K_{KP}$;

- ПІ-регулятор: $K_{OPT} = 0,35 K_{KP}$;

Метод Ціглера-Нікольса простий для розрахунку, та дозволяє забезпечити у системі управління потрібний запас стійкості, але не може гарантувати екстремального значення інтегрального критерію якості.

$$K_{FRV} = 2,869; K_1 = 137,612; K_{2 \times 2} = 110,746; K_{3 \times 2} = 0,98.$$

$$W_{KEP}(p) = \frac{2,869}{137,612p^2 + 110,746p + 0,98}$$

$$\begin{aligned} W_{regNast} &:= K_{reg_nas} \\ W_{zsNast}(p) &:= \frac{W_{ob}(p) \cdot W_{regNast}}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_{regNast}} \end{aligned}$$

$$H_{nastr}(t) := \frac{W_{zsNast}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, } p \\ \text{float, } t \end{array} \right. \rightarrow -8.4 \cdot e^{-0.0045 \cdot t} + -0.9 \cdot \cos(4.0 \cdot t) + -0.001 \cdot \sin(4.0 \cdot t) + 8.4$$

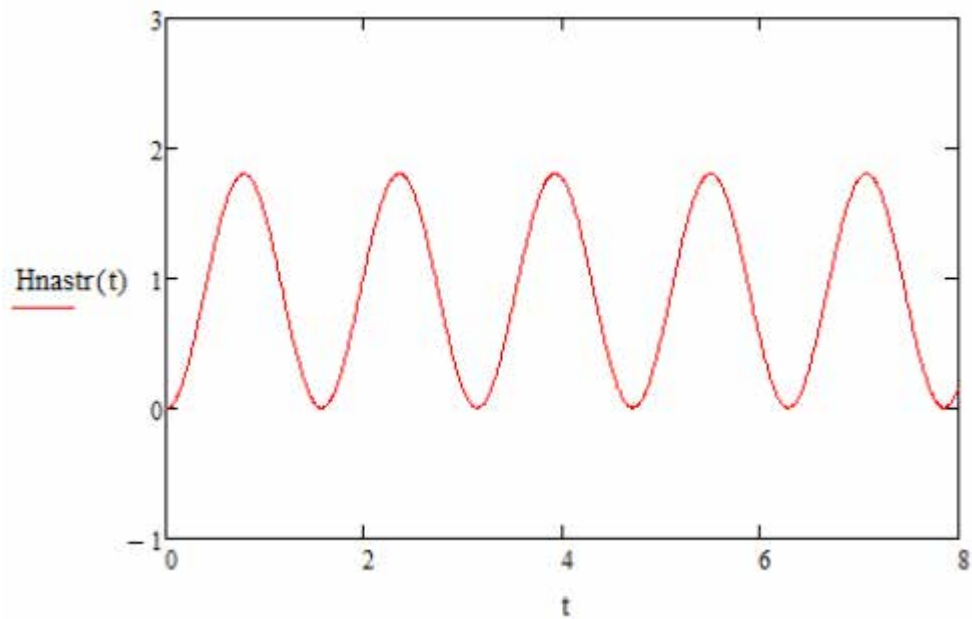


Рис. 3.1. Перехідна характеристика замкненої системи автоматичного керування каналу $F_{RV} \rightarrow X_2$ із виведенням системи на границю стійкості для методу Ціглера-Нікольса

$$K_{reg_p} := 0.55 \cdot K_{reg_nas}$$

$$K_{reg_pi} := 0.35 K_{reg_nas}$$

$$W_{regP} := K_{reg_f} \quad W_{zsP}(p) := \frac{W_{ob}(p) \cdot W_{regP}}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_{regP}}$$

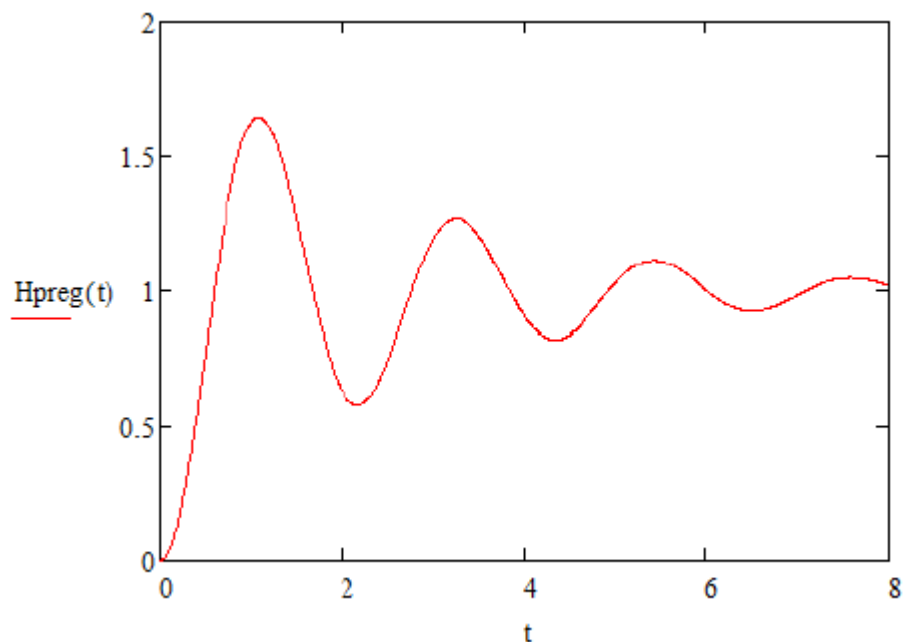


Рис. 3.2. Перехідний процес замкненої САК із П-регулятором

$$K_{reg_pi} := 0.35 K_{reg_nas}$$

$$T_{ikr} := 9000 \quad T_{i_opt} := 1.25 T_{ikr}$$

$$W_{regPI}(p) := K_{reg_pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{i_opt} \cdot p} \right)$$

$$W_{zsPI}(p) := \frac{W_{ob}(p) \cdot W_{regPI}(p)}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_{regPI}(p)}$$

$$HP_{Ireg}(t) := \frac{W_{zsPI}(p)}{p} \quad \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace , p} \\ \text{float , 1} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\rightarrow 0.001 \cdot e^{-0.00009 \cdot t} + 0.04 \cdot e^{-0.8 \cdot t} + -0.04 \cdot e^{-0.009 \cdot t} + -1.0 \cdot e^{-0.4 \cdot t} \cdot \cos(2.0 \cdot t) + -0.2 \cdot e^{-0.4 \cdot t} \cdot \sin(2.0 \cdot t) + 1.0$$

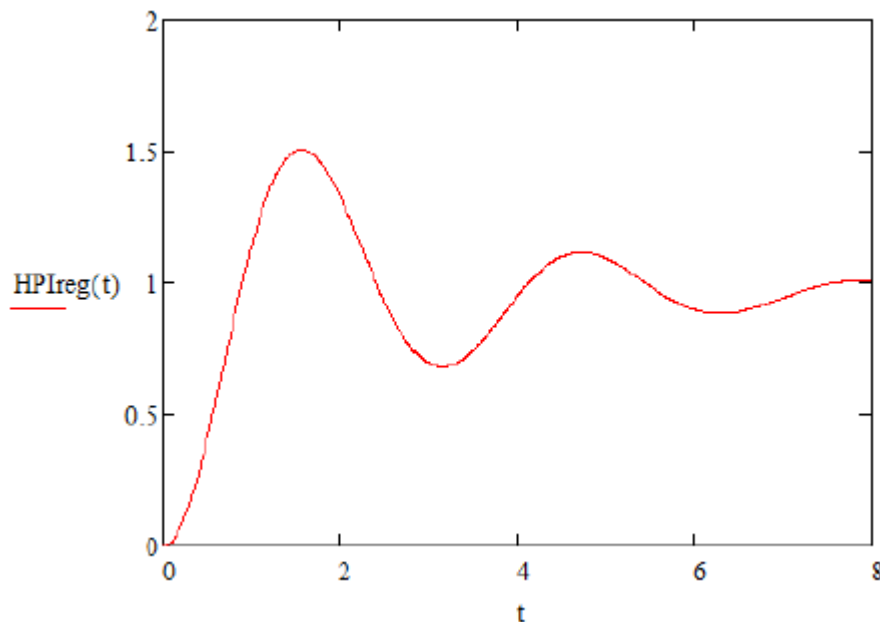


Рис. 3.3. Перехідний процес замкненої САК із ПІ-регулятором

Виходячи з даних графіків перехідних процесів замкненої системи із П- і ПІ-регулятором бачимо, що ліпшим у використанні для даної системи за методом Ціглера-Нікольса є ПІ-регулятор, оскільки він може забезпечити гарну якість регулювання, відсутність статичної похибки, малий час виходу на усталений режим та невелику чутливість до збурення.

3.2. Визначення параметрів настройки регулятора за табличним методом

У практиці, для того, щоб налагодити систему керування, як правило, використовуються наближені методи обчислення параметрів настройки регулятора. Вони дозволяють швидко, без проведення складних тестових досліджень, вирішити задачу вибору характеристик регулятора відповідно до прийнятого критерію керування та в залежності від властивостей об'єкту. Для приблизної оцінки динамічних властивостей використовуються спрощені моделі об'єкта керування у вигляді передатних функцій.

Із широко використовуваних евристичних правил визначення параметрів настройки регулятора скористаємося табличним методом. Відповідно до цього методу параметри настройки регулятора знаходяться з величин, що характеризують динамічний рух об'єкта керування (його передатну функцію).

Якщо представити передатну функцію (рис. 2.5) у вигляді інерційної ланки 1-го порядку, то отримаємо

$$W_{KEP}(p) = \frac{2,869}{110 \cdot s + 1} \cdot e^{-130 \cdot s} \quad (3.1)$$

Відношення τ/T дорівнює $130/110 = 1,2$.

Вирахуємо параметри налаштування для випадку П-, ІІ- та ІІІ-регуляторів за наступною таблицею 3.1:

Таблиця 3.1.

Визначення параметрів настройки різних типів регуляторів
при неперервному алгоритму керування

Закон регулювання	Параметри настройки	Відносне запізнювання ОК		
		$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 0.2$	$0.2 < \frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 1$	$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} > 1$
П	K_p	$\frac{1}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{\tau_{об}/T_{об} + 0.7}{2.6K_{об}(\tau_{об}/T_{об} - 0.08)}$	$\frac{1}{2K_{об}}$
		$\frac{1}{1.1K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{\tau_{об}/T_{об} + 0.6}{2.6K_{об}(\tau_{об}/T_{об} - 0.08)}$	$\frac{1}{2K_{об}}$
ПІ	T_I	$3.3\tau_{об}$	$\frac{0.8T_{об}}{\tau_{об}}$	$0.6\tau_{об}$
	K_p	$\frac{1}{0.8K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{\tau_{об}/T_{об} + 1.5}{3.7K_{об}(\tau_{об}/T_{об} - 0.13)}$	$\frac{1}{1.7K_{об}}$
ПІД	T_I	$2.5\tau_{об}$	$T_{об}$	$0.7\tau_{об}$
	T_D^*	$0.15T_I$	$0.15T_I$	$0.15T_I$

P

$$K_{rp1} := \frac{1}{2 \cdot K} \quad K_{rp1} = 0.1727$$

PI

$$K_{rpi1} := \frac{1}{2 \cdot K} \quad K_{rpi1} = 0.1727$$

$$T_{pi1} := 0.6 \cdot \tau_{об}$$

$$T_{pi1} = 1200$$

PID

$$K_{rpid1} := \frac{1}{1.7 \cdot K} \quad K_{rpid1} = 0.2031$$

$$T_{pid1} := 0.7 \cdot \tau_{об}$$

$$T_{pid1} = 1400$$

$$T_{pid11} := 0.15 T_{pid1}$$

$$T_{pid11} = 210$$

Вирахуємо параметри настройок різних регуляторів за таблицею 3.2.

Таблиця 3.2.

Оптимальні величини настройки регуляторів для ОК 1-го порядку
із запізненням

Закон	Параметри	Оптимальний перехідний процес з двадцяти-відсотковим перерегулюванням
		Статичний об'єкт
I	Кр	$\frac{1}{1.7K_{об}T_{об}}$
II	Кр	$\frac{0.7T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$
III	Кр	$\frac{0.7T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$
	T _I	$0.7T_{об}$
PID	Кр	$\frac{1.2T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$
	T _I	$2\tau_{об}$
	T _Д	$0.4\tau_{об}$

$$P \quad K_{rp2} := \frac{0.7 \cdot T}{K \cdot \tau} \quad K_{rp2} = 0.0134$$

$$PI \quad K_{rpi2} := \frac{0.7 \cdot T}{K \cdot \tau} \quad K_{rpi2} = 0.0134$$

$$T_{pi2} := 0.7 \cdot T \quad T_{pi2} = 77.5222$$

$$PID \quad K_{rpid2} := \frac{1.2 \cdot T}{K \cdot \tau} \quad K_{rpid2} = 0.0229$$

$$T_{pid2} := 2 \cdot \tau \quad T_{pid2} = 4000$$

$$T_{pid2} := 0.4 \cdot \tau \quad T_{pid2} = 800$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Kr1} &:= \begin{pmatrix} \mathbf{Krp1} & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{Krpi1} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{Krp1d1} \end{pmatrix} & \mathbf{Ti1} &:= \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{\mathbf{Tpi1}} \\ \frac{1}{\mathbf{Tpid1}} \end{pmatrix} & \mathbf{Td1} &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{Tpid1} \end{pmatrix} \\
 \mathbf{Kr2} &:= \begin{pmatrix} \mathbf{Krp2} & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{Krpi2} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{Krp2d2} \end{pmatrix} & \mathbf{Ti2} &:= \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{\mathbf{Tpi2}} \\ \frac{1}{\mathbf{Tpid2}} \end{pmatrix} & \mathbf{Td2} &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{Tpid2} \end{pmatrix} \\
 \mathbf{Wp1}(s) &:= \mathbf{Kr1} \cdot \left(1 + \frac{\mathbf{Ti1}}{s} + \mathbf{Td1} \cdot s \right) & \mathbf{Wp2}(s) &:= \mathbf{Kr2} \cdot \left(1 + \frac{\mathbf{Ti2}}{s} + \mathbf{Td2} \cdot s \right)
 \end{aligned}$$

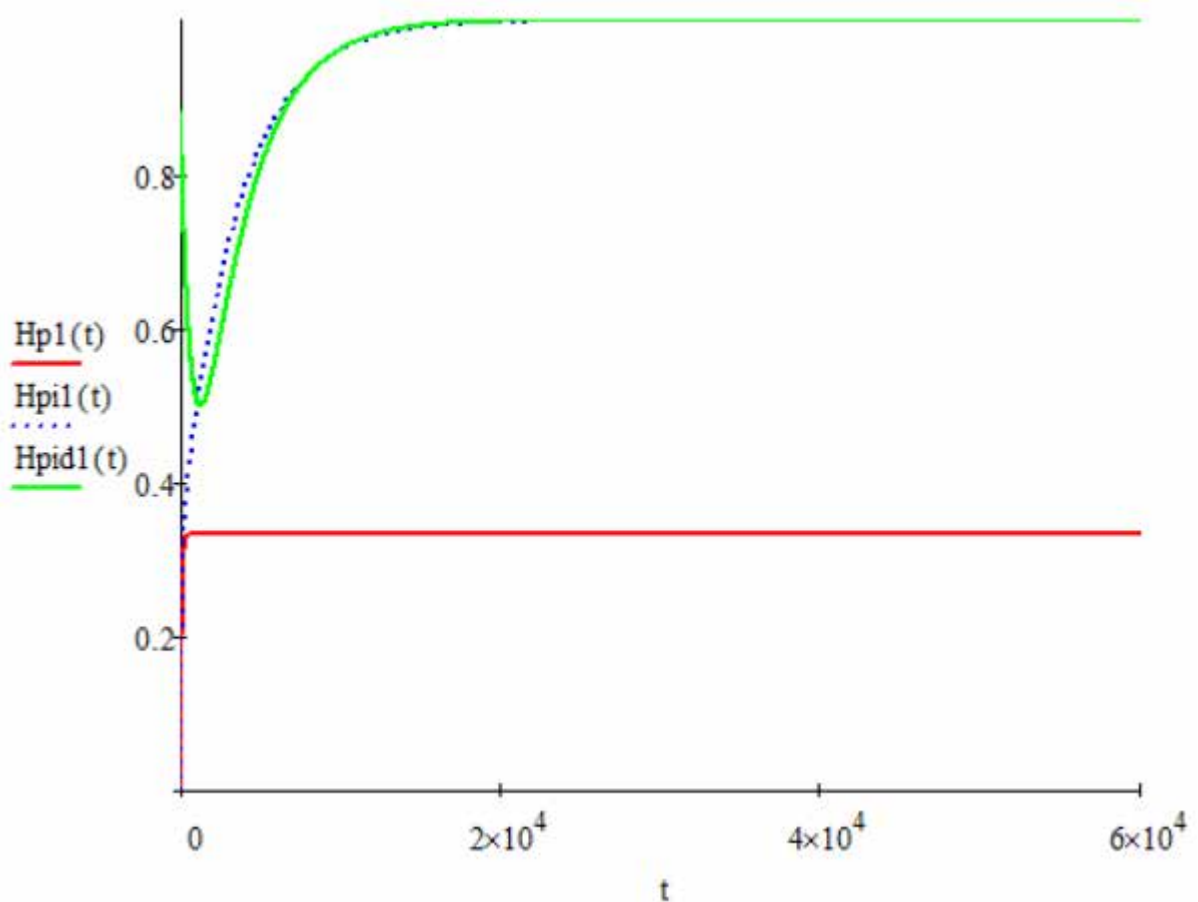


Рис. 3.4. Перехідні процеси у системі керування з передатною функцією та усіма регуляторами (за значеннями, вказаними у таблиці 3.1)

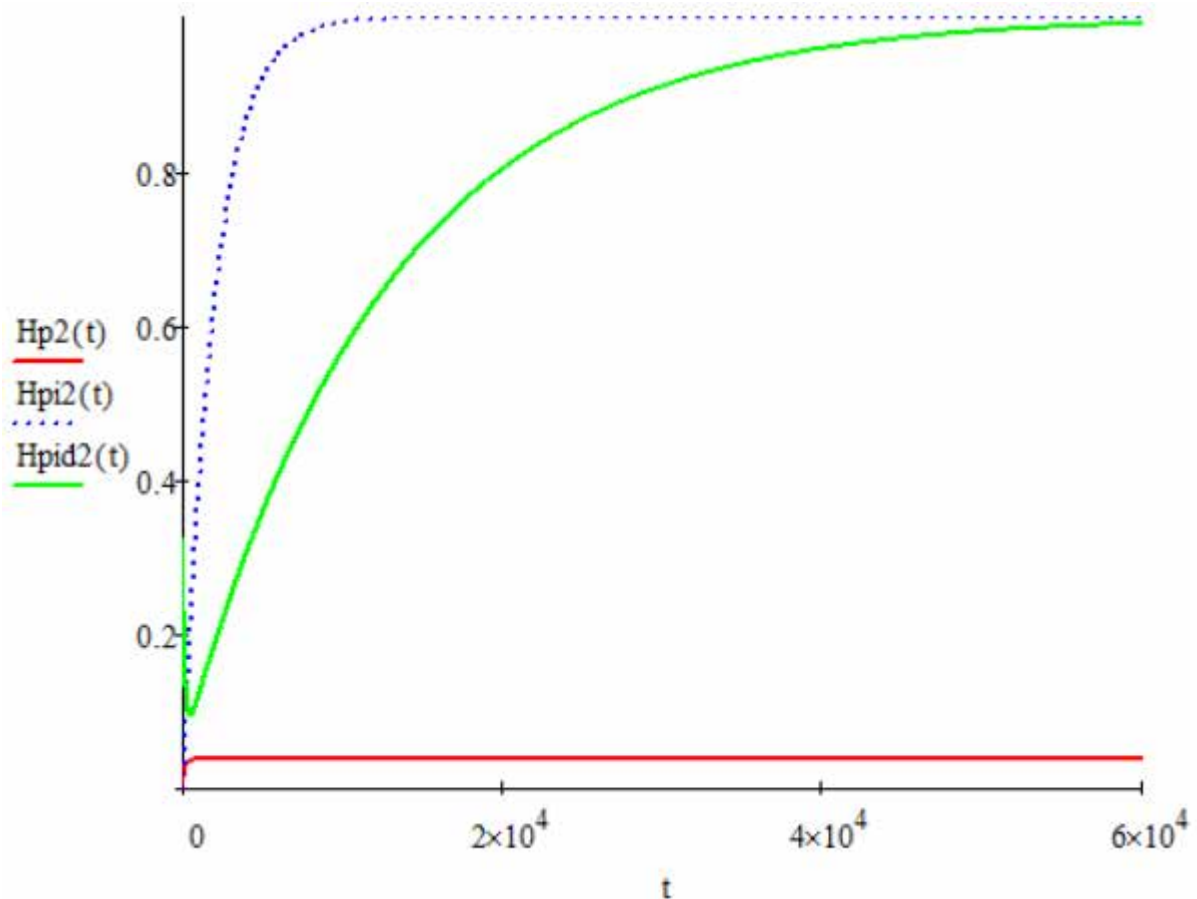


Рис. 3.5. Перехідні процеси у системі керування з передатною функцією та усіма регуляторами (за значеннями, вказаними у таблиці 3.2)

За даними графіками можна визначити, що П-складова подає сигнал, що протидіє відхиленню керованої величини у даний момент часу. Інтегральна складова, як видно, збирає результуючі значення, прибираючи, таким чином, не-доліки П регулятора – статичну помилку. Д-складова у ПІД регуляторі прогнозує усі відхилення завдання і стежить за її швидкістю, тому є самою швидкою з усіх.

Як видно з рис. 3.6, в результаті порівняння перехідних характеристик ПІД-регуляторів, отриманих різними способами (методом Ціглера-Нікольса та табличним способом), видно, що кращі значення параметрів налаштування регулятора отримані табличним методом.

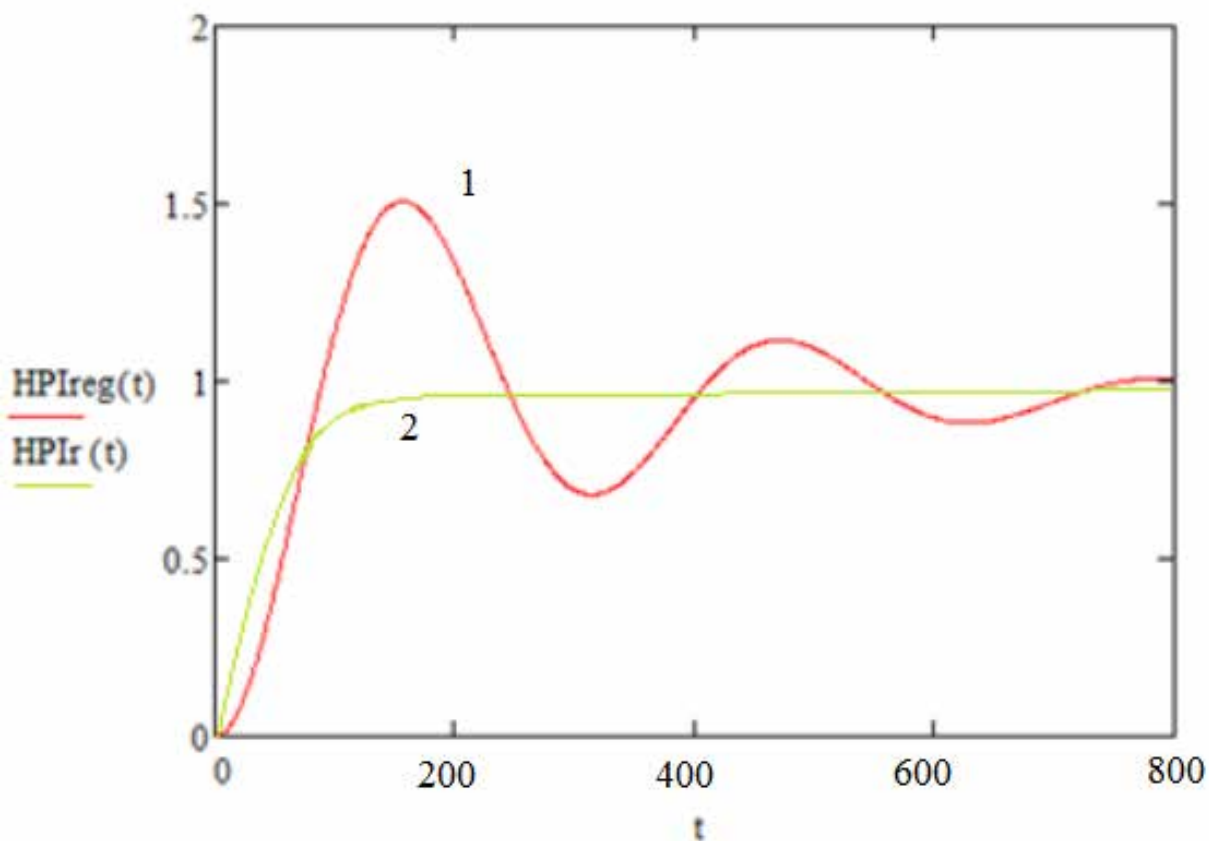


Рис. 3.6. Перехідні процеси у системі автоматичного керування із ПІ-регулятором, отримані за: методом Ціглера-Нікольса (1) та за табличним методом (2)

3.3. Розробка функціональної схеми автоматизації апарату попередньої очистки дифузійного соку за допомогою багатоконтурних систем

Для керування лужності соку цукрового буряка в цій роботі впроваджено каскадну систему керування. За головну керовану величину приймаємо рН суміші на виході з апарату, яку регулюють за допомогою керуванням витрати вапна і соку цукрового буряка (внутрішній контур). Спрощена схема системи керування наведена на рис. 3.7.

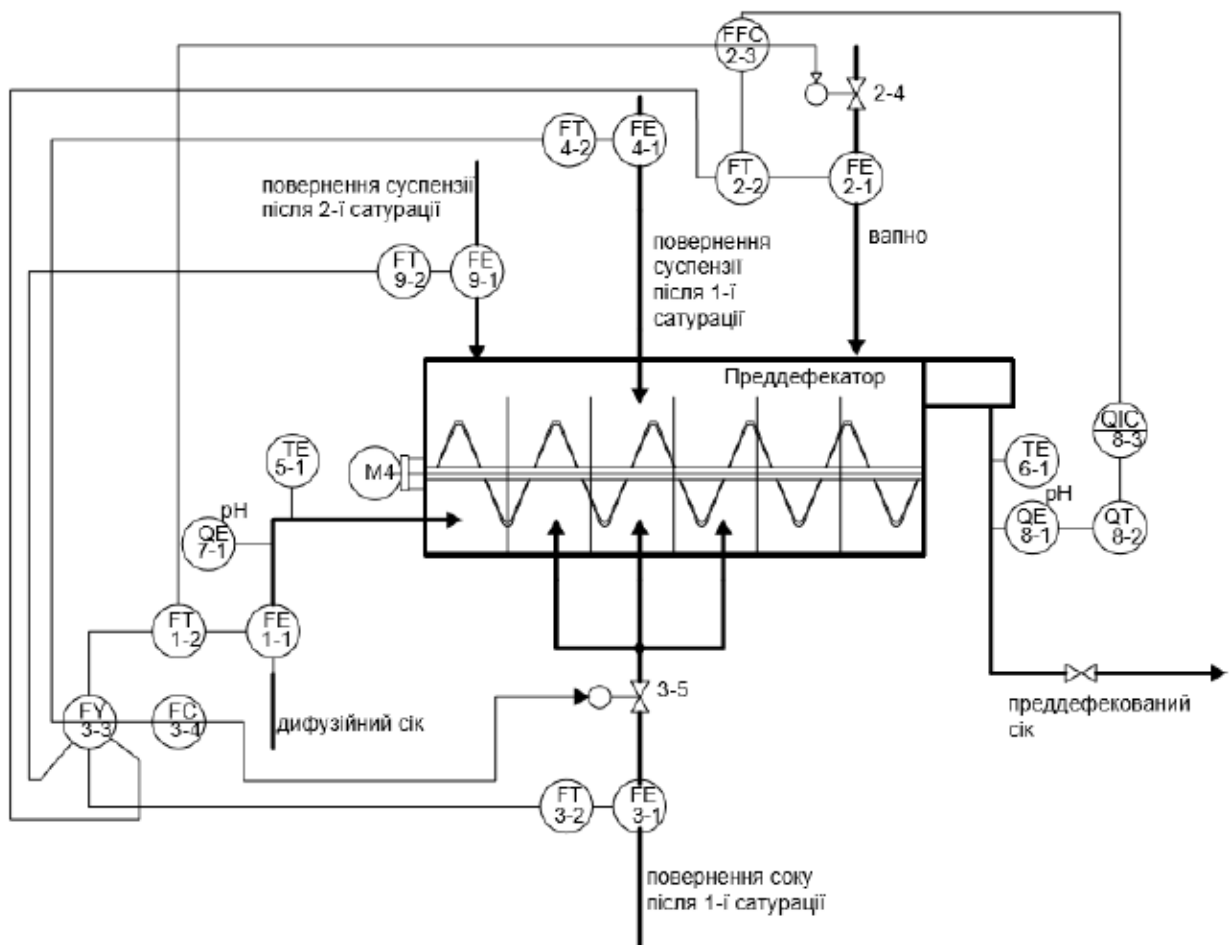


Рис. 3.7. Функціональна схема автоматизації системи керування витратою вапна з корекцією по значенню рН на виході з апарату

Витрата соку F_s є основним потоком, що визначає проходження процесу. Щоб змінити рН на виході з апарату, необхідно змінити співвідношення витрати соку і вапна. Для того, щоб підтримувати заданий час процесу τ , запропоновано

розподілити сумарну витрату між соками F_s , розчином вапна F_{rv} і соками витрат повернень F_{pss} . [8]

У такому випадку, витрата вапна визначається в залежності від витрати соку цукрового буряка, регулятором співвідношення. Вихід рН є керованим каскадною системою, внутрішнім контуром відбувається керування співвідношенням витрат соку цукрового буряка і вапна і складається з чутливих елементів (1-1) і (2-1) та їх перетворювачів сигналу (1-2) і (2-2), регулятора (2-3) та механізму (2-4). Зовнішній контур - регулятор рН, в якому присутній датчик (8-1), перетворювач (8-2) та контролер (8-3).

Загальна тривалість процедури визначається загальним потоком рідин у приладі, соком цукрового буряка (1-2), вапном (2-2), поверненням соку першого насичення (3-2), поверненням суспензії соку після першого і другого насичення (4-2) та (9-2). Стабілізація загальної суми потоків виконується за допомогою зміни витрати соку після першого насичення. Це можливо за допомогою сумі витрат цих потоків у суматорі (3-3) і регулюванню цієї величини регулятором (3-4) через ВМ (3-5) на лінії після першого насичення соку. Керування двигуном мішалки у апараті незалежне.

РОЗДІЛ 4

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ З ЦУКРОВОГО БУРЯКУ

4.1. Технологія процесу виробництва цукру з цукрового буряку

Детальніше ознайомитися з технологічним процесом виробництва цукру з цукрового буряку можна за допомогою структурної схеми виробництва, зображеної на рис. 4.1.

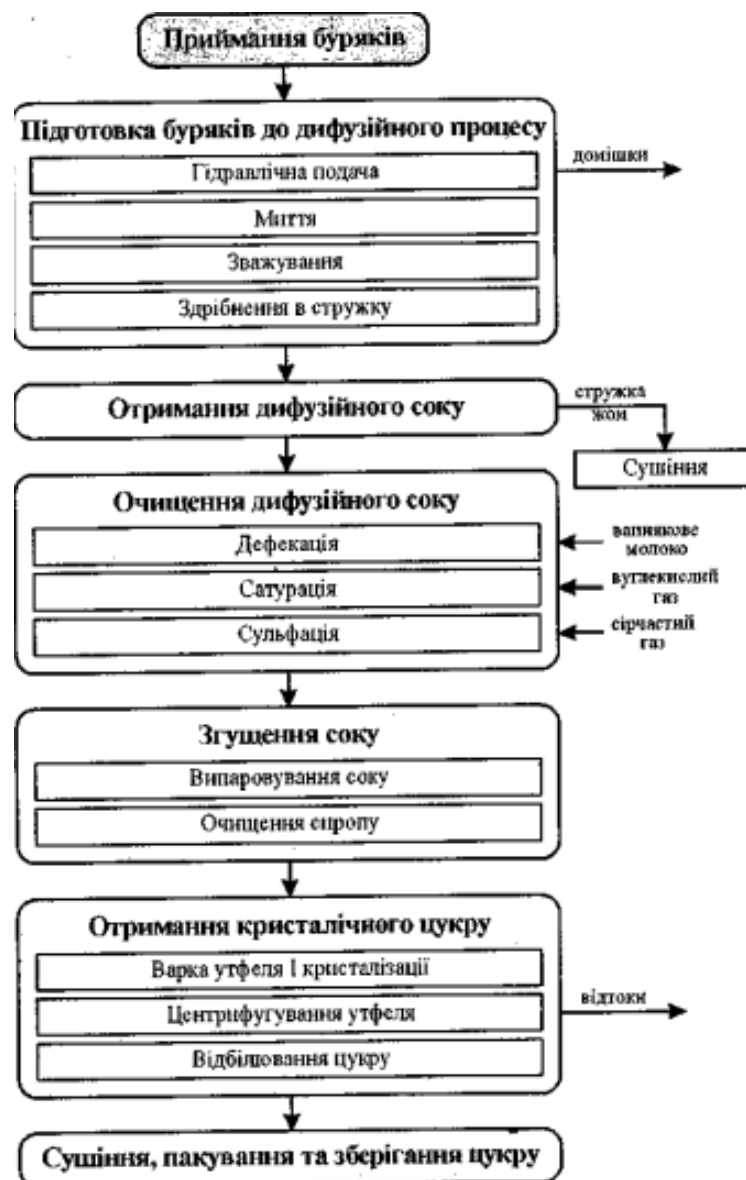


Рис. 4.1. Структурна схема виробництва

4.2. Формування функціональних задач автоматизації

Формулюємо функціональні задачі автоматизації:

1. Регулювання та контроль подачі буряків.
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 центрифугування цукру.

4.3. Контури керування

Автоматизовану установку для виробництва цукру можна розділити на 4 контури керування. Це дозволяє детально розглянути кожен об'єкт управління, включаючи виконавчі механізми та датчики зворотного зв'язку, які встановлюються безпосередньо на польовому рівні автоматизації.

4.3.1 Контур підготовки буряків до дифузійного процесу

Контур підготовки буряків до дифузійного процесу є ключовою частиною технологічної лінії на цукровому заводі. Цей контур включає кілька етапів та відповідне обладнання, яке автоматизується для забезпечення ефективної підготовки буряків перед екстракцією цукру:

1. Бурякосховище та буряконавантажувальне відділення:
 - Датчики вологості та температури в бурякосховищі для контролю умов зберігання.
 - Система управління 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.
- 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 її подачі до дифузійного відділення.

лення.

На рис. 4.2 зображено контур підготовки буряків до дифузійного процесу.

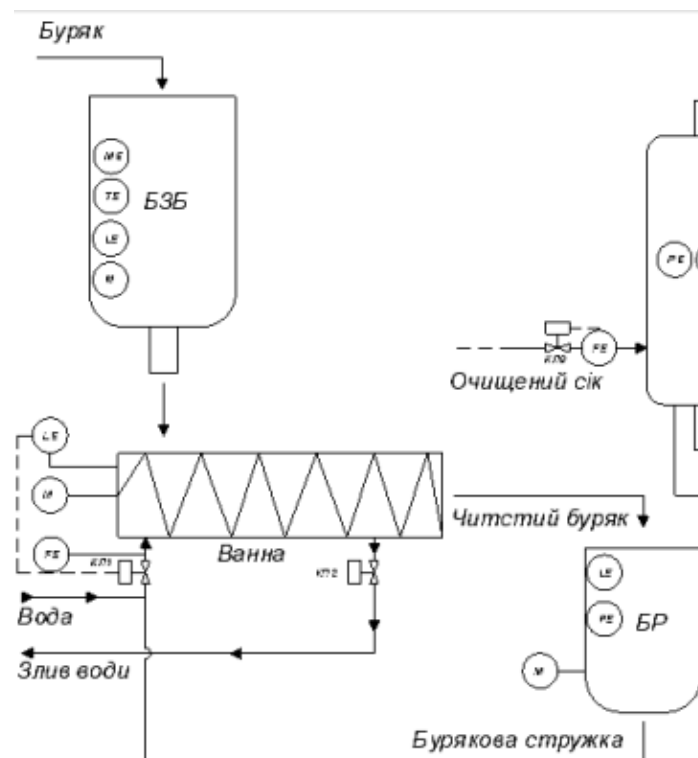


Рис. 4.2. Контур підготовки буряків до дифузійного процесу

4.3.2. Контур отримання та очищення дифузійного соку

Контур отримання та очищення дифузійного соку є критичним етапом у процесі виробництва цукру з буряків. Він включає кілька основних стадій, які підлягають автоматизації:

1. Дифузійне відділення:
 - Контроль температури дифузійного соку в батареї.
 - Регулювання витрати води для процесу 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.

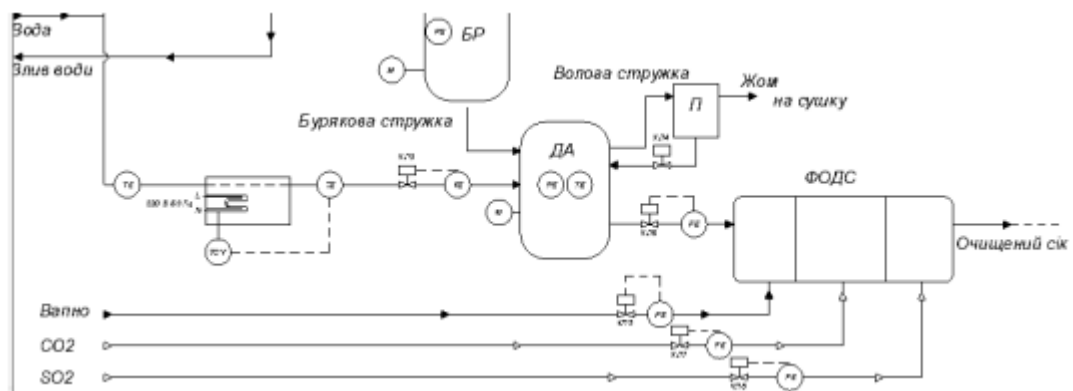


Рис. 4.3. Контур отримання та очищення дифузійного соку

4.3.3. Контур випарювання

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

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

На рисунку 4.4 зображено контур випарювання

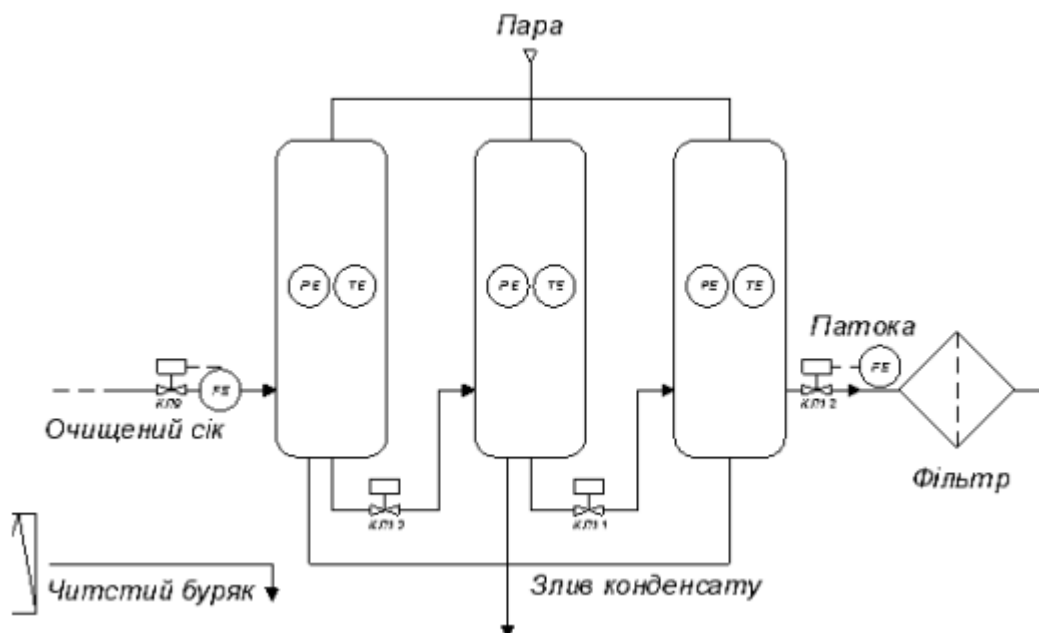


Рис. 4.4. Контур випарювання

4.3.4. Контур отримання кристалічного цукру

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

1. Утфелеві вакуум-апарати:

- Контроль температури та рівня 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 4.5 зображено контур отримання кристалічного цукру.

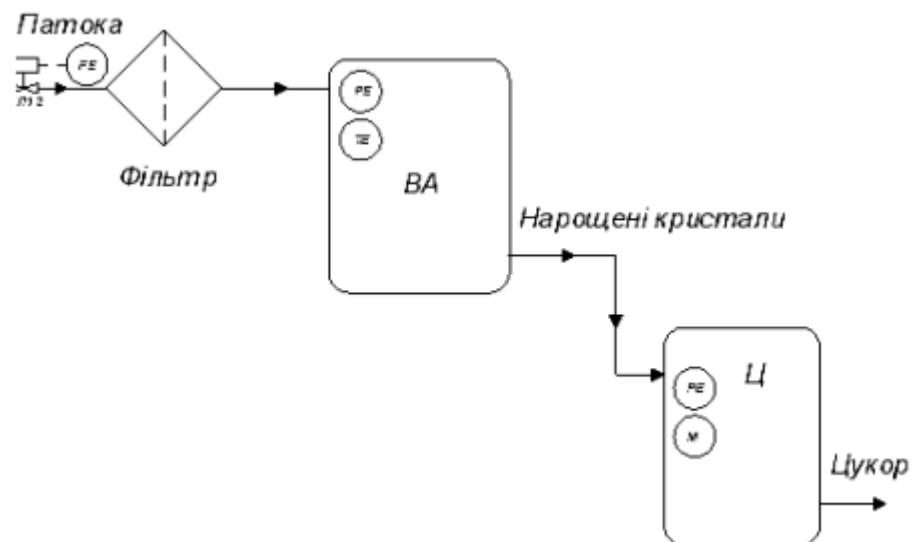


Рис. 4.5. Контур отримання кристалічного цукру

Проаналізувавши контури керування, можемо створити таблицю вхідних і вихідних сигналів для кожного контуру:

Таблиця 4.1

Вхідні вихідні сигнали для кожного контуру

Таблиця вхідних сигналів			
№	Назва сигналу	Діапазон вим.	Тип сигналу
1	Температура	0...250 С*	4...20мА
2	Швидкість оберту	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 4.2

Таблиця вихідних 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

РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Вибір контролера та електроніки

Шафа керування виступає основним елементом автоматизованої системи, який містить кілька важливих компонентів. Серед основних складових шафи: захисні пристрої, програмований логічний контролер (ПЛК), блоки живлення, реле, прохідні клеми та інші електронні елементи, що забезпечують роботу системи.

Програмований логічний контролер (ПЛК) здійснює збір і обробку даних від датчиків, а також керує виконавчими механізмами. Блоки живлення постачають електроенергію для датчиків і самого контролера. Важливою складовою системи є панель керування, що дає оператору можливість контролювати процес випробування та налаштовувати параметри.

Автоматичні вимикачі є важливим елементом захисту в шафі керування, оскільки вони захищають систему від перевантажень і коротких замикань. У нашій системі необхідно використовувати два типи вимикачів: силові – для підключення високопотужних споживачів, таких як асинхронні двигуни, та стандартні – для живлення контролера й інших електронних пристроїв з низьким енергоспоживанням.

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

Вибір цих моделей обумовлений їх технічними характеристиками, які повністю відповідають вимогам нашої системи. Докладні параметри даних вимикачів можна знайти в їхніх технічних специфікаціях.



Рис. 5.1 Автоматичний вимикач COMPACT NSX250F 36kA 4P3D 200A

Таблиця 5.1

Технічні характеристики COMPACT NSX250F

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



Рис. 5.2. Автоматичний вимикач Acti9 iK60N, 2P, 16A

Таблиця 5.2

Технічні характеристики Acti9 IK60N

Характеристики	Значення
Кількість полюсів	2P
Тип мережі	Змінний струм
Номінальний струм	16 А
Крива відключення	C

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

Schneider Electric пропонує різні серії ПЛК, кожна з яких розроблена для виконання конкретних завдань. Наприклад, серія Modicon M221 ідеально підходить для автоматизації відносно простих промислових процесів і обладнання в галузі машинобудування.

Для більш складних і вимогливих застосувань компанія створила потужніші серії контролерів: M241, M252, M258 і M262. Ці моделі мають розширені можливості, підвищену продуктивність і функціональність, що дозволяє їм ефективно виконувати складні завдання автоматизації в різних промислових секторах.

Кожна серія має свої унікальні особливості та переваги. Вибір конкретної моделі визначається специфікою проєкту, вимогами до швидкодії, обсягом пам'яті, кількістю входів/виходів, комунікаційними можливостями та іншими технічними характеристиками.

Таблиця 5.3

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 входних/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 8700 грн	від 14900 грн	від 13400 грн	від 48000 грн	від 32700 грн

Для реалізації нашої системи автоматизації найкращим вибором є контролер Modicon M221 від Schneider Electric. Цей ПЛК оптимально підходить для вимог проєкту, забезпечуючи ідеальне співвідношення вартості та функціональності. Контролер відповідає за загальне керування процесом, наприклад, приймають рішення щодо запуску або зупинки різних технологічних етапів, виявляють несправності та відправляють дані операторам. Виконує логічні операції, контролює роботу обладнання, а також може здійснювати регулювання параме-

трів (наприклад, температури через PI-регулятори) у межах автоматизованої системи.

Modicon M221 відзначається економічною ефективністю, що робить його привабливим вибором для проєктів з обмеженим бюджетом. У той же час, контролер не поступається продуктивністю та надійністю, необхідними для успішної автоматизації нашої системи.

Основною перевагою обраної моделі є достатня кількість контрольних точок (цифрових входів/виходів), що повністю відповідає потребам нашої системи. Це забезпечує ефективне управління всіма необхідними процесами без зайвих витрат ресурсів.

Візуальне представлення контролера Modicon M221 можна знайти на відповідному зображенні (рис. 5.3), яке демонструє його компактний і ергономічний дизайн. Це сприяє легкій інтеграції контролера в щит управління.



Рис. 5.3. Програмований логічний контролер Modicon M221CE24R

Таблиця 5.4

Технічні характеристики контролера Modicon M221CE24R

Характеристики	Значення
Живлення, В	220 В 50 Г
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.

При проектуванні щита управління важливим компонентом є блок живлення. Його основна функція полягає в перетворенні 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 вибір блоків живлення, які можуть задовольнити різноманітні потреби автоматизованих систем. Для нашого проекту найкращим вибором є блок живлення моделі ABL2 DC 24 В потужністю 50 Вт.

Цей блок живлення вирізняється компактністю та ефективністю, що робить його ідеальним для інтеграції в наш щит управління. Візуальне представлення обраного блоку живлення можна побачити на рисунку 5.4, де чітко відображені його конструктивні особливості та компактні розміри.

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками блоку живлення ABL2 DC 24 В, 50 Вт, рекомендується звернутися до таблиці 5.5. У ній наведені 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.



Рис. 5.4. Блок живлення Schneider ABL2 DC 24 В, 50 Вт

Таблиця 5.5.

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 потрібно обрати відповідні реле. Реле — це електромеханічний пристрій, що складається з двох основних компонентів: котушки та контактної групи. Принцип його роботи ґрунтується на електромагнітному ефекті: коли на котушку подається струм, виникає магнітне поле, яке активує контактну групу, замикаючи або розмикаючи відповідні контакти.

Ця особливість реле дозволяє ефективно використовувати їх для комутації кіл з високою напругою та струмом, контролюючи їх за допомогою низьковольтних сигналів, які надходять від програмованого логічного контролера

(ПЛК). Таким чином, реле виступає в ролі проміжного елемента між системою керування та силовими колами.

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

Окрім вибору реле, важливо також правильно підібрати розетку для його монтажу. Розетка забезпечує надійне закріплення реле в щиті керування і значно спрощує його заміну в разі необхідності.

Візуалізацію вибраного реле можна знайти на рис. 5.5. Це зображення демонструє конструктивні особливості реле, що дозволяє краще зрозуміти його будову та принцип дії.



Рис 5.5. Реле Schneider

Таблиця 5.6

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 коректно вибрати клемники, зважаючи на специфіку електричних з'єднань у системі. Вибір клемників залежить від струму, який вони будуть проводити.

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, призначені для дроту перерізом 2,5 мм². Такі клемники забезпечать надійне з'єднання для сигнальних ліній та кіл живлення постійного струму низької напруги.

2. Силові кола: Для з'єднань, де передбачено проходження більших струмів, рекомендується використовувати клеми, розраховані на дріт перерізом 4 мм². Це забезпечить необхідну пропускну здатність і безпеку при роботі з силовими колами.

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

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



Рис. 5.6. Прохідні клеми

Останнім елементом у комплектуванні нашого щита керування є панель оператора.

Панель оператора забезпечує користувачеві зручний інтерфейс для управління процесом та моніторингу основних параметрів випробування. Вона дозволяє оператору в режимі реального часу слідкувати за станом системи, вносити потрібні корективи та контролювати прогрес випробувань.

Оптимальним вибором для нашої системи є панель оператора HMIET 6400 від компанії Schneider Electric. Ця модель поєднує сучасні технології візуалізації з надійністю та функціональністю, які відрізняють продукцію Schneider Electric.

Візуальне представлення панелі оператора HMIET 6400 можна побачити на рис. 5.7. Зображення демонструє ергономічний дизайн панелі, який забезпечує зручність використання та чітке відображення інформації.



Рис. 5.7. Панель оператора Schneider HMIET 6400

Вибір цієї панелі оператора сприятиме створенню ефективного інтерфейсу між людиною та машиною. Крім того, використання обладнання від одного виробника (Schneider Electric) для різних компонентів системи забезпечить оптимальну сумісність і інтеграцію всіх елементів автоматизації.

Панель оператора НМІЕТ 6400 має широкі комунікаційні можливості, підтримуючи різні інтерфейси зв'язку, такі як Ethernet, RS232C, RS485 та послідовний порт. Для нашої системи особливо важливим є інтерфейс Ethernet, який забезпечить надійне та швидке з'єднання з програмованим логічним контролером.

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

Слід особливо підкреслити важливість програмного забезпечення для налаштування панелі. Schneider Electric пропонує спеціалізоване ПЗ, розроблене саме для конфігурації та програмування їхніх панелей оператора.

5.2. Вибір датчиків

Систему керування не можна уявити без контрольно-вимірювальних пристроїв, або датчиків. Ці пристрої виконують важливу роль у перетворенні фізичних величин на електричні сигнали. Їх робота ґрунтується на взаємодії чутливих елементів з робочим середовищем, що дозволяє отримувати як дискретні, так і аналогові сигнали для подальшої обробки в системі керування.

Для вимірювання температури в усіх контурах нашої системи найкращим вибором є датчик температури Danfoss MBT 3279. Цей датчик пропонує різноманітні модифікації та широкий діапазон вимірювання температур. Оскільки температури в нашій системі не перевищуватимуть 300°C, він повністю відповідає нашим вимогам.

Danfoss MBT 3279 має відмінне співвідношення ціни та якості, що робить його вигідним вибором для нашого проекту. Візуальне представлення дат-

чика можна знайти на рисунку 3.8, де видно його конструктивні особливості та компактний дизайн.

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками датчика Danfoss MBT 3279 варто звернутися до таблиці 5.7. У ній наведені ключові параметри, такі як діапазон вимірювання, точність, тип вихідного сигналу та інші важливі показники, що підтверджують відповідність цього датчика вимогам нашої системи автоматизації.

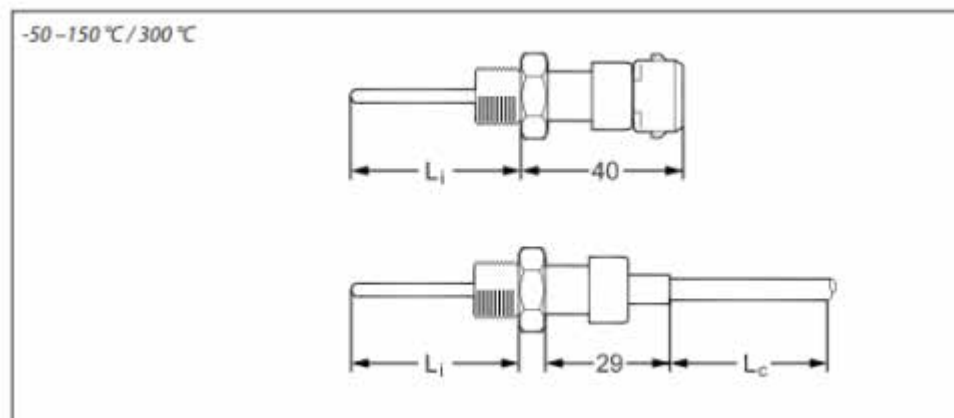


Рис. 5.8. Давач температури MBT 3279

Таблиця 5.7

Характеристики датчика Danfoss MBT 3279

Характеристика	Значення
Діапазон температур вимірювального серидовища	-50 °C – 300 °C
Максимальний зовнішній тиск	500 бар
Чутливий елемент	Pt 100
Похибка	EN 60751 клас B
Клас захисту корпусу	IP65 по IEC 60529

Для вимірювання тиску в нашій системі найкращим рішенням є датчик Danfoss MBS 1700. Цей пристрій повністю відповідає основним вимогам проекту, відзначаючись високими показниками за важливими технічними параметрами.

По-перше, датчик Danfoss MBS 1700 ідеально підходить для необхідного діапазону вимірювання тиску, що забезпечує точний контроль у всьому робочо-

му діапазоні системи. Це дозволяє отримувати надійні дані про тиск у різних точках контуру, що є ключовим для ефективного управління процесом.

По-друге, цей датчик має високу надійність, що є важливим критерієм для промислових застосувань. Надійність Danfoss MBS 1700 забезпечує стабільну роботу системи контролю тиску на тривалий період, знижуючи ризик збоїв та потребу в частому технічному обслуговуванні.



Рис. 5.9. Danfoss MBS 1700

Таблиця 5.8.

Характеристики давача Danfoss MBS 1700

Характеристика	Значення
Вид робочого середовища	рідина, газ
Тип вимірюваного тиску	Відносний
Діапазони вимірювань	0 – 8 бар
Діапазон допустимих температур робочого середовища	-35 – 75°C
Діапазон компенсованих температур	0 – 85°C
Час реакції	5 мс

Для вимірювання та контролю об'єму повітря, що надходить до системи, важливим компонентом є датчик витрати, або витратомір. У нашому випадку оптимальним вибором є ротаметр.

Ротаметр є надійним і ефективним приладом для вимірювання витрати газів та рідин. Він забезпечує точний моніторинг кількості повітря, що подається в систему, що є важливим параметром для контролю роботи компресора під час випробувань.

Візуальне відображення вибраного ротаметра представлено на рисунку 5.10. На цьому зображенні чітко показані конструктивні особливості пристрою, що дозволяє краще зрозуміти його принцип дії.



Рис. 5.10. Витратомір віхрьовий KROHNE OPTISWIRL 4070

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками ротаметра рекомендується звернутися до таблиці 5.9. У цій таблиці наведено ключові параметри, такі як діапазон вимірювання, точність, робочий тиск, температурний режим та інші важливі показники. Ця інформація підтверджує, що обраний ротаметр повністю відповідає вимогам нашої системи автоматизації.

Таблиця 5.9

Характеристики давача Danfoss MBS 1700

Характеристика	Значення
Робоча температура	До 220 *С
Робочий тиск	до 90 бар
Похибка	2% на барі

Останнім елементом у нашому наборі датчиків для системи автоматизації є датчик рівня. Сучасний ринок пропонує широкий вибір таких пристроїв, серед яких найпоширенішими є поплавкові, ультразвукові та інші різновиди, що дозволяє підібрати оптимальний варіант для конкретних умов експлуатації.

Після детального аналізу доступних варіантів і з урахуванням вимог нашого проєкту, найкращим рішенням для забезпечення автоматизації процесу став ультразвуковий датчик рівня. Він забезпечує точність вимірювань та надійну роботу в умовах нашої системи.

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 підвищує його довговічність та надійність.
2. Висока точність: ці датчики забезпечують точні вимірювання навіть у складних умовах.
3. Універсальність: ультразвукові датчики можуть використовуватися для роботи з різними типами рідин та сипучих матеріалів.
4. Легкість установки та обслуговування: ці пристрої просто монтуються та не потребують складного технічного обслуговування.
5. Стійкість до зовнішніх факторів: ультразвукові датчики ефективно функціонують у різних умовах навколишнього середовища.



Рис. 5.11. Ультразвуковий рівнемір UM30 – 13113

Таблиця 5.10

Технічні характеристики ультразвукового датчика рівня UM30 – 13113

Характеристика	Значення
Діапазон спрацювання, мм	100 - 1980
Робоча частота, кГц	300
Вихідний сигнал, мА	4-15
Тип з'єднання	роз'єм M12, 5 пінний роз'єм
Швидкість спрацювання, мс	150
Захист	IP 65
Робоча температура, *С	-20...70

5.3. Вибір виконавчих механізмів

На наступному етапі розробки системи автоматизації потрібно обрати виконавчі механізми, які є критично важливими для реалізації керуючих впливів. До таких механізмів належать електромагнітний клапан, трубчастий електронагрівач (ТЕН), а також електроприводи для шнека, віброподачі та інших виконавчих механізмів.

Зосередимо увагу на виборі електромагнітного клапана. Для нашої системи ідеальним варіантом є електромагнітний клапан GAMA GFSS-50F DN 50 N.C. Цей клапан виготовлений з нержавіючої сталі, що гарантує високу корозійну стійкість та тривалий термін експлуатації. Фланцеве з'єднання спрощує мон-

таж і обслуговування. Діаметр умовного проходу DN 50 відповідає вимогам нашої системи з точки зору пропускної здатності. Робочий діапазон тиску від 0 до 10 бар охоплює всі можливі режими роботи нашої системи. Клапан є нормально закритим (N.C.) у знеструмленому стані, що забезпечує безпеку системи при відключенні електроживлення.

Візуальне зображення обраного електромагнітного клапана GAMA GFSS-50F DN 50 N.C. представлено на рис. 5.12. Це зображення ілюструє конструктивні особливості клапана та надає уявлення про його зовнішній вигляд.



Рис. 5.12. Електромагнітний клапан GAMA GFSS

Таблиця 5.11

Технічні характеристики клапана GAMA

Характеристика	Значення
Живлення	220В 50 Гц
Робочий тиск	0...8 Бар
Тип з'єднання	Фланець
Швидкість спрацювання, мс	200
Захист	IP 65
Робоча температура, *С	-10...85 *С

Для задоволення потреб нашої системи оптимальним вибором є промисловий ТЕН потужністю 2 кВт (рис. 5.13).



Рис. 5.13. ТЕН 2 кВт

Основним виконавчим механізмом нашої системи є електропривод потужністю 10 кВт. Цей привод відповідає за обертання шнека та забезпечує функціонування вібромоторів подачі, які є важливими компонентами в процесі виробництва цукру.

Для цієї задачі ми вибрали асинхронний трифазний двигун АІР160М8. Цей тип двигуна славиться своєю надійністю, ефективністю та універсальністю в промислових умовах. Потужність 10 кВт забезпечує необхідний крутний момент для ефективного функціонування шнека та вібромоторів.

Візуалізацію двигуна АІР160М8 можна побачити на рис. 5.15. Це зображення надає ясне уявлення про конструкцію двигуна, його розміри та особливості монтажу.

Для детального ознайомлення з технічними характеристиками двигуна АІР160М8 варто звернутися до таблиці 5.13. У ній наведені основні параметри, такі як номінальна потужність, частота обертання, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності та інші важливі показники. Ця інформація підтверджує, що обраний двигун відповідає вимогам нашої системи автоматизації.



Рис. 5.15. AIP 180M8 10кВт

Таблица 5.13

Параметри электродвигуна AIP 180M8

Характеристика	Значення
Живлення	380В 50 Гц
Частота обертання	720 об/хв
Крут. Момент	155 НМ
ном. Струм	25,6

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА НМІ – ІНТЕРФЕЙСУ

6.1. Основні поняття про НМІ

НМІ, або інтерфейс людина-машина, відіграє ключову роль у сучасних автоматизованих системах. Він включає апаратне та програмне забезпечення, яке сприяє ефективній взаємодії оператора з технологічним обладнанням або процесом. Завдяки графічному інтерфейсу НМІ оператор отримує можливість контролювати, управляти та моніторити різні аспекти виробничого процесу, що значно підвищує точність та швидкість прийняття рішень.

Основна мета НМІ полягає в наданні операторам зручного та інтуїтивно зрозумілого способу взаємодії зі складними системами. Він демонструє важливу інформацію про стан обладнання, параметри процесу, аварійні сигнали та інші ключові дані у візуально зрозумілій формі. Це може включати графіки, діаграми, анімовані схеми або числові показники.

НМІ (рис. 6.1.) також надає операторам можливість вводити команди, змінювати налаштування та контролювати різні аспекти системи. Це може включати запуск або зупинку обладнання, коригування параметрів процесу або зміну режимів роботи. Сучасні НМІ зазвичай оснащені сенсорними екранами для більш інтуїтивного управління.

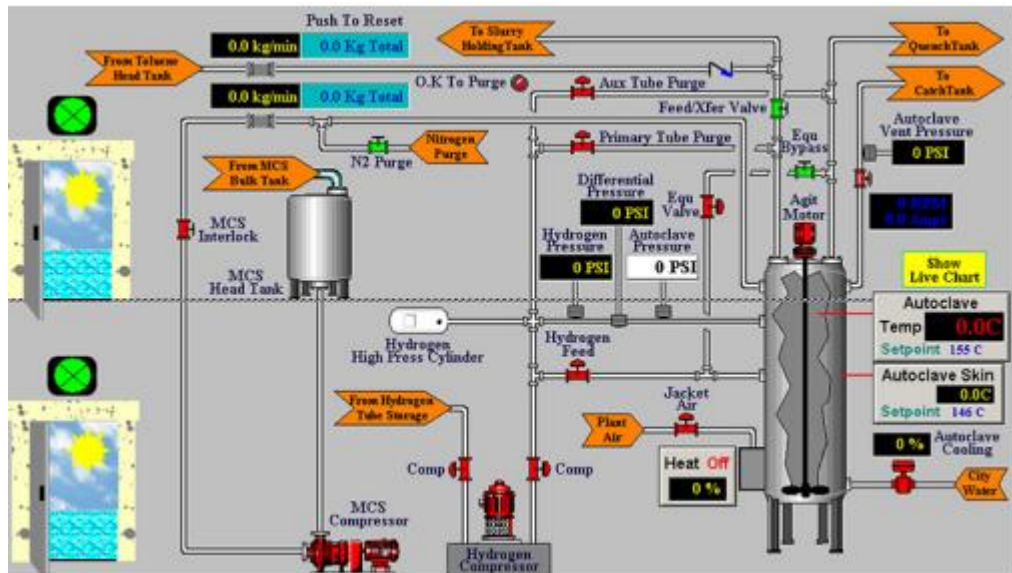


Рис. 6.1. Приклад НМІ

Безпека є важливим елементом у проектуванні НМІ. Інтерфейс повинен забезпечувати ясне відображення критичних станів системи та аварійних ситуацій, а також надавати операторам швидкий доступ до функцій екстреної зупинки або коригування процесу.

НМІ зазвичай інтегрується з іншими елементами 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 детального розуміння технологічного процесу, ергономіки та принципів взаємодії між людиною та машиною. Основна мета полягає у створенні інтерфейсу, який зменшує ймовірність людських помилок, підвищує продуктивність роботи оператора та забезпечує оптимальне управління процесом.

З розвитком технологій НМІ стають дедалі складнішими та багатофункціональними. Вони можуть включати елементи штучного інтелекту для прогнозування та оптимізації процесів, підтримувати віддалений доступ через мобільні пристрої, а також інтегруватися з системами доповненої реальності для покращення взаємодії оператора з фізичним обладнанням.

6.2. Вибір середовища розробки

Програмні середовища SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) є важливими інструментами для створення систем диспетчерського управління та збору даних в промислових і інфраструктурних сферах. Ці середовища пропонують розробникам потужні засоби для проектування, реалізації та обслуговування складних систем моніторингу та управління.

SCADA-системи зазвичай містять кілька основних елементів: сервери збору даних, операторські станції, комунікаційну інфраструктуру та програмне забезпечення для візуалізації та управління. Програмні середовища SCADA інтегрують ці компоненти в одну єдину платформу.

Основні функції, які пропонують програмні середовища SCADA, включають:

- Розробку графічного інтерфейсу користувача (GUI): Створення інтуїтивно зрозумілих екранів для візуалізації даних процесу, стану обладнання та елементів управління.
- Конфігурацію збору даних: Налаштування зв'язку з польовими пристроями, а також визначення тегів даних і 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 бази 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 і захист критичних функцій системи.
- Діагностику та налагодження: Забезпечення інструментів для тестування, симуляції та виявлення несправностей у розробленій системі.

Серед найбільш відомих програмних середовищ SCADA можна виділити:

1. Wonderware InTouch: Потужне рішення з розвиненою графічною бібліотекою та підтримкою сценаріїв.
2. Siemens WinCC: Інтегрована платформа, що тісно співпрацює з іншими продуктами Siemens для автоматизації.
3. Promotic SCADA: Гнучке середовище, яке підтримує розподілені системи та демонструє високу продуктивність.
4. ABB Ability Symphony Plus: Сучасна платформа з акцентом на інтеграцію технологій IoT та хмарних рішень.
5. Ignition by Inductive Automation: Інноваційна веб-базована платформа з модульною архітектурою.

Сучасні напрямки розвитку програмних середовищ SCADA охоплюють:

- Об'єднання з хмарними платформами для покращення аналітики та зберігання даних.
- Сприяння використанню мобільних пристроїв для віддаленого доступу та управління.
- Застосування технологій машинного навчання для предиктивної аналітики.
- Підвищена кібербезпека для захисту від зростаючих загроз.
- Впровадження стандартів промислового інтернету речей (IIoT) для забезпечення більшої інтеграції та масштабованості.

Вибір програмного середовища SCADA визначається специфікою проєкту, вимогами до функціональності, сумісністю з існуючим обладнанням та планами подальшого розвитку системи. Важливо також брати до уваги підтримку з боку виробника, наявність навчальних ресурсів та активність користувачької спільноти при виборі платформи для створення SCADA-систем.

Promotic SCADA є чудовим варіантом для багатьох промислових застосувань завдяки своїм унікальним властивостям і перевагам. Це програмне забезпечення вирізняється гнучкістю та масштабованістю, що дозволяє успішно використовувати його як у невеликих проєктах, так і в масштабних розподілених системах.

Однією з головних переваг Promotic SCADA є його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і легкість у використанні, що значно скорочує час на навчання персоналу та прискорює розробку проектів. Середовище розробки пропонує широкий набір інструментів для створення візуально привабливих і функціональних операторських інтерфейсів.

Значущою особливістю Promotic SCADA є вбудована підтримка численних промислових протоколів зв'язку, що дозволяє легко інтегрувати різноманітне обладнання та системи. Це особливо важливо в ситуаціях, коли необхідно об'єднати пристрої від різних виробників у єдину систему управління.

Promotic SCADA вирізняється своєю високою продуктивністю та надійністю, що є ключовими для систем реального часу. Вона здатна обробляти значні обсяги даних з мінімальними затримками, забезпечуючи швидке реагування на зміни в контрольованих процесах.

Значущою перевагою Promotic SCADA є її вбудована система безпеки, яка захищає від несанкціонованого доступу та дозволяє встановлювати різні рівні прав для користувачів. Це особливо актуально в сучасних умовах, коли кібербезпека стає критично важливою для промислових систем.

Promotic SCADA також надає потужні засоби для аналізу даних і генерації звітів, що допомагає операторам і керівникам отримувати важливу інформацію для оптимізації процесів і прийняття рішень. Вбудовані можливості архівування даних забезпечують надійне довгострокове зберігання історичної інформації.

Варто зазначити, що Promotic SCADA відрізняється вигідною ціновою політикою, особливо враховуючи її багатий функціонал. Це робить її привабливим рішенням для компаній, які прагнуть оптимізувати витрати на автоматизацію, не втрачаючи при цьому ефективності та можливостей системи.

Регулярні оновлення та технічна підтримка від розробників гарантують, що система залишається сучасною та готовою до вирішення будь-яких проблем, які можуть виникнути в процесі її експлуатації. Крім того, наявність детальної

документації та навчальних матеріалів значно полегшує адаптацію нових користувачів до роботи з системою.

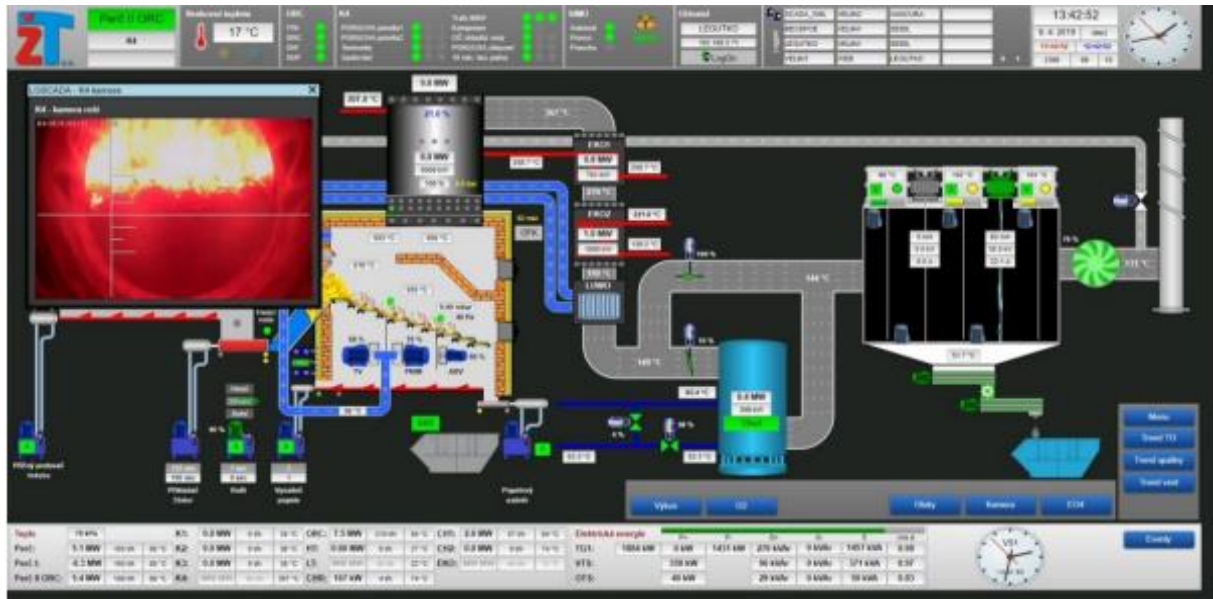


Рис. 6.2. Promotic SCADA

Загалом, PromoticSCADA є обґрунтованим вибором завдяки своїй всебічній функціональності, надійності, гнучкості та економічній ефективності, що робить її оптимальним рішенням для широкого кола завдань промислової автоматизації.

6.3. Розробка інтерфейсу

Для створення інтерфейсу пропоную використовувати наші контури керування як основу і на їхній основі розробити інтерфейс оператора.

На початку ми створимо головний екран інтерфейсу оператора. Він міститиме кнопки для вибору контуру керування, інформацію про стан технологічного об'єкта та можливість реєстрації логів, які система надсилатиме у спеціальне вікно. Головна сторінка представлена на рис. 6.3.

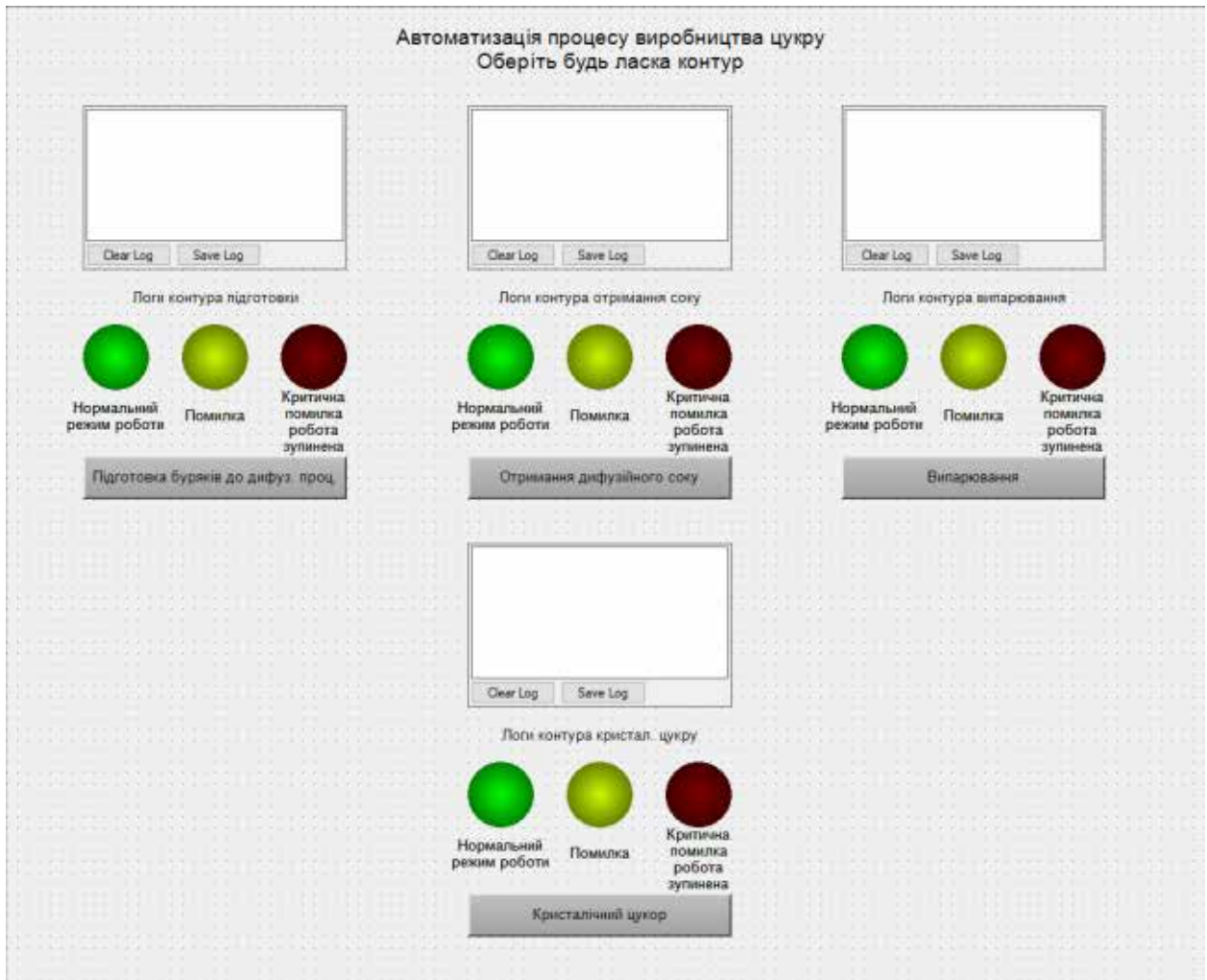
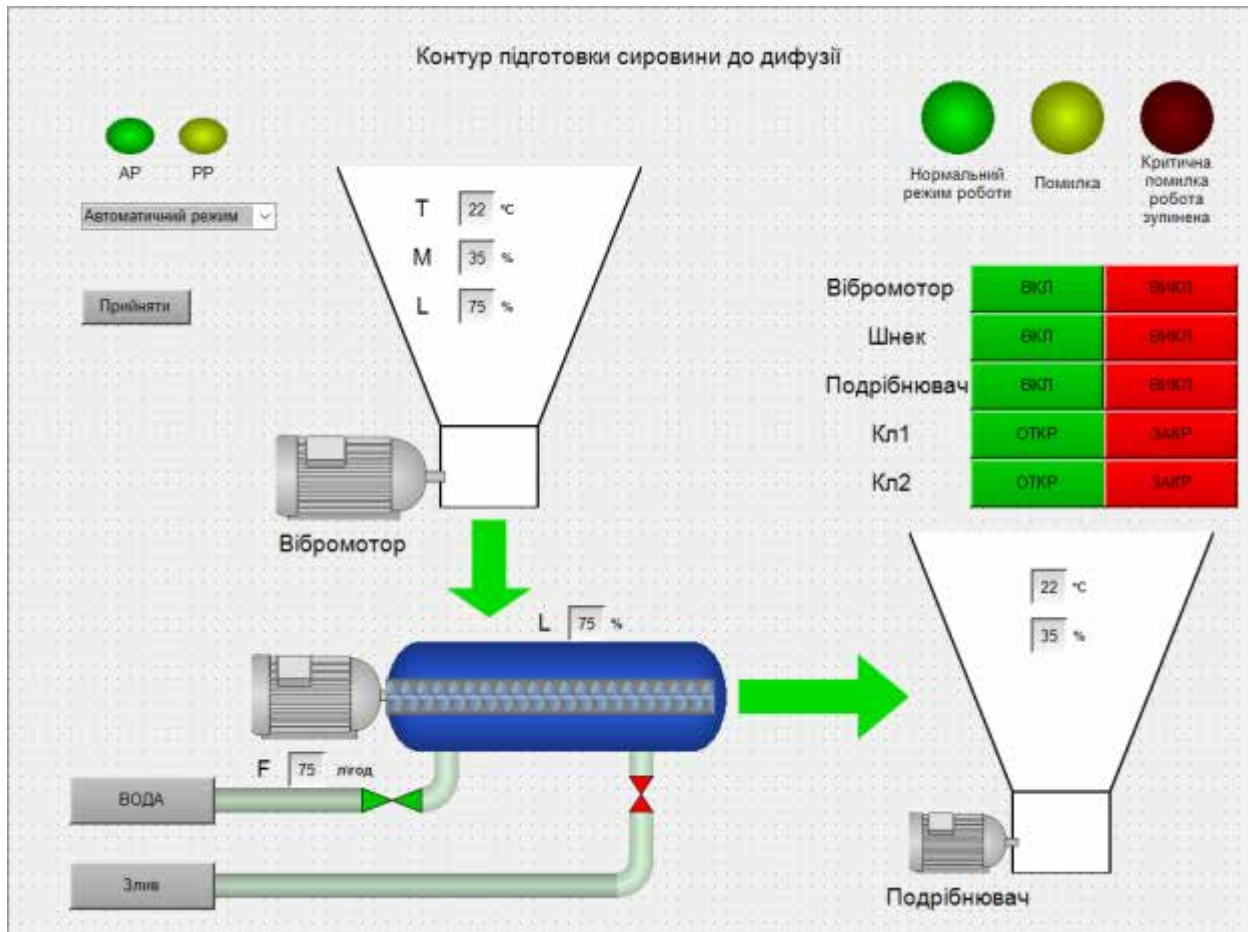


Рис. 6.3. Головний екран НМІ

Перейдемо до контуру підготовки сировини для дифузійного процесу. На цьому екрані буде зображено бункер, куди скидається буряк, після чого він потрапляє у мийну ванну. Потім буряк надходить до подрібнювача. Усе це представлено на рис. 6.4.



Також було включено вибір режимів керування, відображення інформації про стан роботи конкретного об'єкта та можливість ручного керування вібраторами в режимі роботи системи.

Другим контуром керування є контур процесу дифузії. Після подрібнення кашка потрапляє до дифузійного апарату, де відбувається відповідний процес. У цьому контурі представлені всі елементи, що були на попередній сторінці. Пропоную ознайомитися з контуром керування на рис. 6.5.

Наступною сторінкою інтерфейсу оператора став контур випарювання. Він включає клапани, випарювальні колони та інші елементи управління, які були використані раніше. Ознайомитися з контуром керування можна на рис. 6.6.

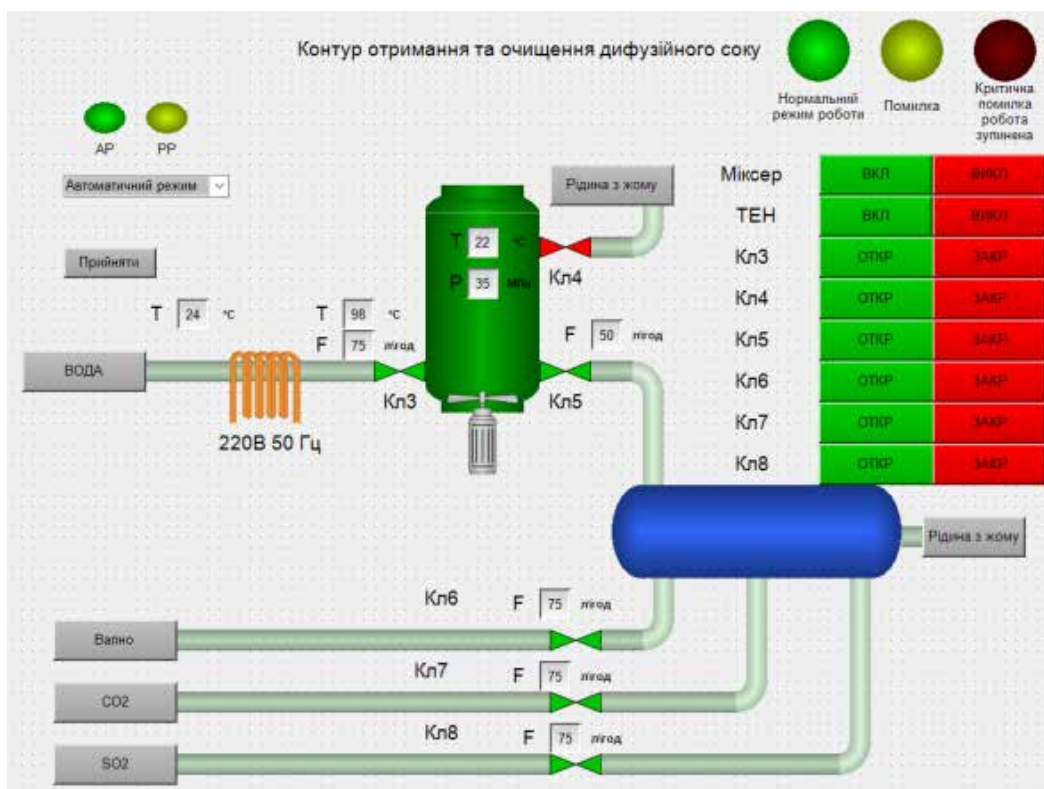


Рис. 6.5. Дифузійний процес

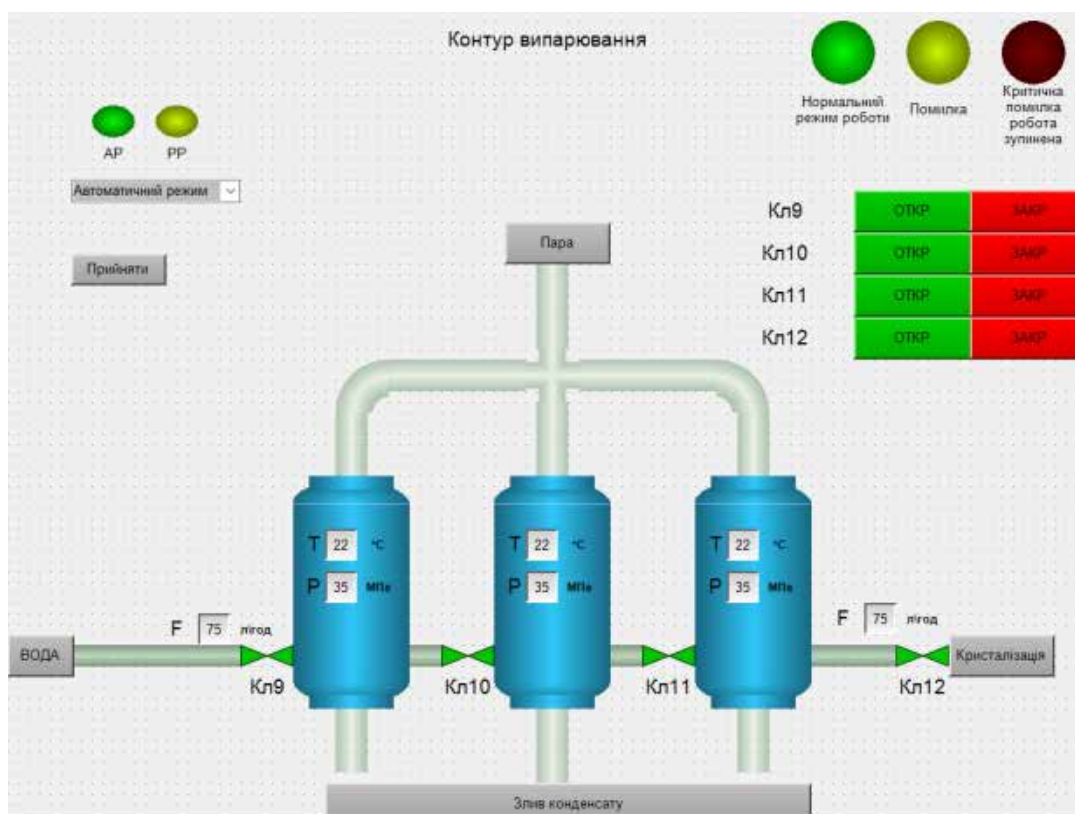


Рис. 6.6. Контур випарювання

Останній контур – формування цукру. Отримана патока, після тривалого процесу, переміщується до вакуумного апарату, а потім потрапляє під центрифугу, в результаті чого отримують цукор.

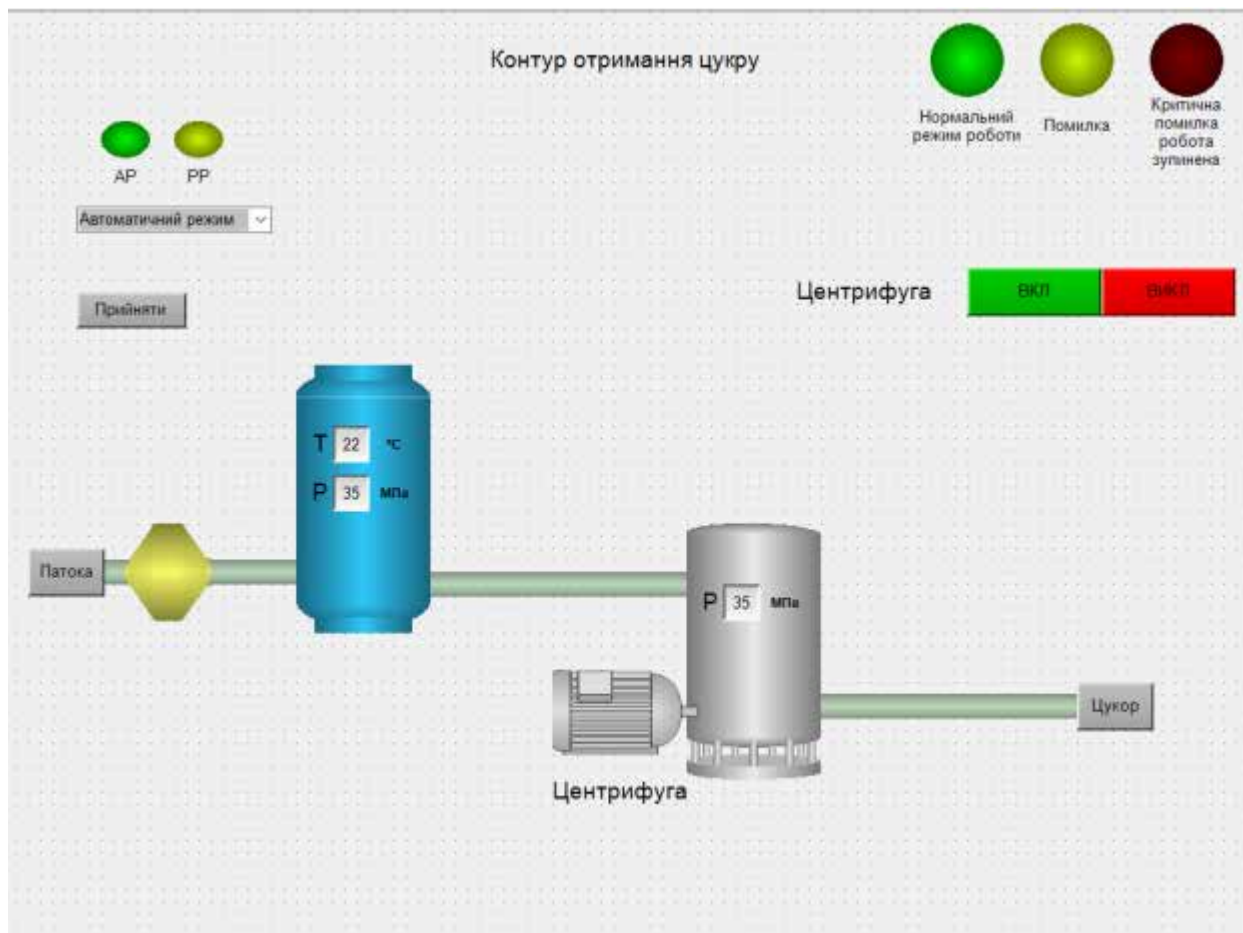


Рис. 6.7. Контур формування цукру

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі детально досліджено процес автоматизації виробництва цукру з цукрового буряку. Основна увага була приділена розробці та впровадженню комп'ютерно-інтегрованої системи керування із використанням обладнання Schneider Electric, що відповідає сучасним вимогам промисловості.

У ході дослідження виконано аналіз предметної області, що дозволив визначити ключові етапи технологічного процесу, які потребують автоматизації. Особливу увагу приділено процесам попередньої очистки дифузійного соку, екстракції, випарювання та отримання кристалічного цукру.

Розроблено математичні моделі, які дозволяють оптимізувати статичний і динамічний режими роботи апаратів. На основі цих моделей створено функціональну схему багатоконтурної системи керування, що забезпечує стабільність і ефективність процесів.

Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, таких як програмовані логічні контролери (ПЛК), датчики та виконавчі механізми, що забезпечують точність і надійність роботи системи. Створено зручний НМІ-інтерфейс для моніторингу та управління технологічним процесом.

Результати роботи підтверджують можливість впровадження запропонованої системи як на існуючих виробництвах, так і при проектуванні нових заводів. Це сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних виробників на світовому ринку, забезпечуючи високу якість продукції та зниження виробничих витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів. - К.: Ліра-К, 2020.
2. Штангєєв 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. С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко, І.С. Беляєва. Побудова лінеаризованих математичних моделей сокоочисного обладнання цукрового виробництва [Текст] // Автоматизовані системи управління та прилади автоматики: Всеукраїнський міжвидомчий науково-технічний збірник – Харків, 2012. – 104 с. Бібліогр. – 94–101 с. – ISSN 0135-1710
6. Дослідження методів визначення оптимальних величин рН і лужності соку предфекації / Л.П. Рева, Г.О. Сімахіна, Н.М. Пушанко, В.Ю. Яковенко// Цукор України. –1996.–№4.–С.20–22.
7. З. Ловкис, Т. Турбан, Н. Петюшев Очистка диффузионного сока в сахарном производстве[Текст]: под общ. Ред. З.В. Ловкиса. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 232с. – (Настольная книга производственника) – ISBN 978-985-08-1619-1.
8. Остапенко Ю.О., Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студентів вищих закладів освіти, що навчаються за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології». – К.: Задруга, 1999. – 424 с.
9. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.

10. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006 – 448 с.
11. Лукінюк М. В., Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології» – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
12. Дітковський І. П., Козаневич З. Я. Процесс попереднього очищення дифузійного соку у виробництві цукру як технологічний об'єкт керування / І.П.Дітковський, З. Я. Козаневич // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей Десятої науково-практичної конференції студентів; Київ, «КПІ ім. І.Сікорського», 8-9 грудня 2016 р. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016. – 92 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез, С. 28 – 29.
13. Гребенюк С.М., Ельперін І.В. Цифрові технології в автоматизації цукрового виробництва. - К.: Аграрна наука, 2022..
14. Smith J.A., Brown K.L. "Automation in Sugar Production: Recent Advances and Future Prospects". - Sugar Tech, 2021.
15. Johnson R.M., Richard E.P. "Sugarcane and Sugar Beet Processing: Technology and Production". - Wiley-Blackwell, 2019.
16. Chen J.C.P., Chou C.C. "Cane Sugar Handbook: A Manual for Cane Sugar Manufacturers and Their Chemists". - Wiley, 2020.
17. Asadi M. "Beet-Sugar Handbook". - Wiley-Blackwell, 2022.
18. Kumar D., Singh V. "Sugar Beet: Production, Uses and Health Implications". - Nova Science Publishers, 2019.
19. Rein P. "Cane Sugar Engineering". - Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2022.
20. O'Hara I.M., Mundree S.G. "Sugarcane-based Biofuels and Bioproducts". – Wiley Blackwell, 2021.
21. Saleh A.M. "Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications". - IntechOpen, 2023.

22. 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. Изм. Лист № докум. Подпись Дата Лист 54
СУдн-01ш 6.151.00.ПЗ

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