

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри КСУ  
Коротка Т.В.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

за спеціальністю 151"Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

на тему:

Автоматизоване управління процесом кристалізації утфеля в вакуум-апараті

Керівник проекту:

к.т.н., доцент

Черв'яков В.Д.

дипломник:

студент групи СУ.мдн-01П

Приступа М.Г.

# Суми 2021

## ЗМІСТ

Перелік скорочень і умовних позначень .....	3
Вступ .....	4
1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УВАРЮВАННЯ УТФЕЛЮ ...	7
1.1 Теоретичні основи процесу кристалізації .....	7
1.2 Конструктивно - технологічна характеристика вакуум-апаратів цукрового виробництва .....	10
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	16
2.1 Технічні характеристики об'єкта автоматизації .....	16
2.2 Управління процесом уварювання утфелю .....	18
2.3 Можливості системи автоматизації .....	19
3 ВИМОГИ ДО АСУТП .....	21
3.1 Вимоги до приладів і засобів автоматизації .....	21
3.2 Вимоги до робочого місця оператора .....	21
3.3. Вимоги до надійності системи .....	25
4 ПЕРЕЛІК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І ЦІЛЬОВИХ ПІДСИСТЕМ ТА ЇХ ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ .....	26
5 КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АСУТП «ВАРНИК» .....	27
5.1 Перетворювачі інформаційних сигналів .....	27
5.2 Прилади індикації та оперативного управління .....	28
5.3 Перетворювачі сигналів .....	30
5.4 Мікропроцесорний контролер .....	31
6 ОПИС АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОЇ ВАРКИ.....	46
7 СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	51
8 АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕЧНИХ І ШКІДЛИВИХ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ ЦУКРОВО-ПІСОЧНОГО ВИРОБНИЦТВА .....	65
ВИСНОВОК.....	72
Список використаної літератури .....	74
Додатки	

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ - автоматизована система управління

АСУТП - автоматизована система управління технологічним процесом

САУ - система автоматичного управління

СУ - система управління

КВП - контрольно-вимірювальні прилади

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина

АРМ - автоматизоване робоче місце

ЦПУ - центральний пульт управління

ПК - персональний комп'ютер

НТР - норми технологічного контролю

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку цукрового виробництва, заснованого на безперервності технологічного процесу з використанням основного безперервно діючого устаткування, є всі передумови для комплексної та повної автоматизації.

Зростання продуктивності праці на цукрових заводах, розробка нової технології, спрямованої на поліпшення якості та підвищення ефективності виробництва, потребують оновлення і вдосконалення систем управління на базі новітніх засобів вимірювальної техніки і автоматизації. Автоматизація технологічних процесів є найважливішим засобом підвищення продуктивності праці, скорочення витрат матеріалів і енергії, поліпшення якості продукції, впровадження прогресивних методів управління виробництвом і підвищення надійності роботи.

При будь-якому виді управління в тій чи іншій мірі виконуються наступні етапи:

- Отримання інформації про стан об'єкта управління;
- Обробка та аналіз отриманої інформації, на підставі чого формується рішення про необхідність і характер впливів на об'єкт управління;
- Реалізація прийнятого рішення, наприклад, шляхом зміни матеріальних або енергетичних потоків.

Виконання першого етапу пов'язано з визначенням значень величин, що характеризують стан об'єкта управління - тисків, температур, витрат робочих середовищ, рівнів в технологічних апаратах, фізико-хімічних показників речовин, що переробляються на різних стадіях технологічного процесу і т.д.

При ручному управлінні людина виконує всі функції з аналізу стану технологічного процесу, прийняття і здійснення рішень про вплив на процес.

Застосовується також ручне дистанційне керування, коли оператор впливає на процес на відстані за допомогою спеціальних пристроїв. У цьому випадку він отримує

інформацію про параметри процесу за допомогою систем автоматичного контролю за показниками автоматичних контрольно-вимірювальних приладів.

При автоматизації безперервних технологічних процесів велике значення має окремий випадок керування - регулювання. Призначення автоматичних систем регулювання (АСР) - підтримка заданих або оптимальних значень величин, що визначають перебіг технологічного процесу.

Автоматичні системи регулювання принципово можуть бути створені за допомогою досить простих технічних засобів - локальних регуляторів. Однак функціональні можливості таких систем дуже обмежені. Автоматизувати більш складні функції управління, такі, наприклад, як оптимізація технологічного процесу або прийняття рішень при неприпустимих порушеннях в ході технологічного процесу, неможливо без застосування засобів обчислювальної техніки і пристроїв оперативного обміну інформацією між виробничим персоналом і технічними засобами. У зв'язку з цим для управління стали широко застосовуватися автоматизовані системи управління (АСУ). Вони призначені як для керування технологічними процесами, так і для організаційного управління підприємствами. На відміну від автоматичних систем управління, які можуть функціонувати без участі людини, в автоматизованих системах управління передбачено участь людини (адміністративний і виробничо-технічний персонал, оператори тощо).

Основними умовами надійного функціонування та ефективного використання засобів автоматизації є наступні:

- Психологічний настрій обслуговуючого персоналу;
- Чітка організація метрологічної роботи служби;
- Правильний вибір технічних засобів і регулюючих органів;
- Якість монтажу засобів автоматизації;
- Облік характеристики вимірюваного, регульованого і навколишнього середовищ;
- Удосконалення та оновлення засобів автоматизації.

Подолання психологічної недовіри обслуговуючого персоналу до запроваджуваних засобів автоматизації - завдання важке, але дуже важливе, так як при цьому долаються сформовані робочі навички і традиції. Не випадково, що на споруджуваних заводах впровадження автоматизації проходить значно легше, ніж на діючих. Тому одночасно з впровадженням автоматизації передбачається підготовка персоналу технологічних ділянок

шляхом безпосереднього користування системами управління при нормальній і аварійній ситуації на об'єкті.

**Об'єктом автоматизації** є технологічний процес уварювання утфелю першої кристалізації в вакуум-апараті періодичної дії, обладнаного мішалкою, спільно з ємнісним господарством:

- збірник сиропу (повна висота 2,2 м);
- збірник білої патоки (повна висота 2,2 м);
- збірник зеленої патоки (повна висота 2,2 м);
- збірник аміачної води (повна висота 2,5 м);
- утфелемішалка (горизонтально розташований апарат коритного типу).

**Метою виконання роботи** є створення системи з забезпечення ритмічності роботи бурякоцукрового виробництва при підвищених навантаженнях із забезпеченням якості одержуваного продукту.

**Задачі досліджень.** Виконати синтез та аналіз оптимальної одноконтурної САУ при використанні ПД - закону регулювання. Довести, що з усіх типів регуляторів ПД - закон регулювання є найкращим для систем комп'ютерної автоматизації цукрових виробництв. Провести розрахунки по використанню ПД регулятора в цифрових системах.

Створювана автоматизована система управління технологічним процесом уварювання утфелю призначена для:

- підвищення ритмічності роботи виробництва за рахунок узгодження навантажень відділень;
- поліпшення якості регулювання основних технологічних параметрів;
- зменшення відхилень від норм технологічного режиму;
- заміни морально і фізично застарілих існуючих засобів автоматизації;
- реалізації сучасних принципів управління.

## 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УВАРЮВАННЯ УТФЕЛЮ

### 1.1 Теоретичні основи процесу кристалізації

Основний і допоміжні технологічні процеси отримання цукру складаються з ряду станцій та ділянок, однією з яких є кристалізаційне відділення. У цьому відділенні уварюють в вакуум-апаратах сироп після випарних установок з метою отримання кристалічного цукру. Технологічна схема руху продуктів в кристалізаційному відділенні передбачає роботу в дві або три стадії (рис.1.1).

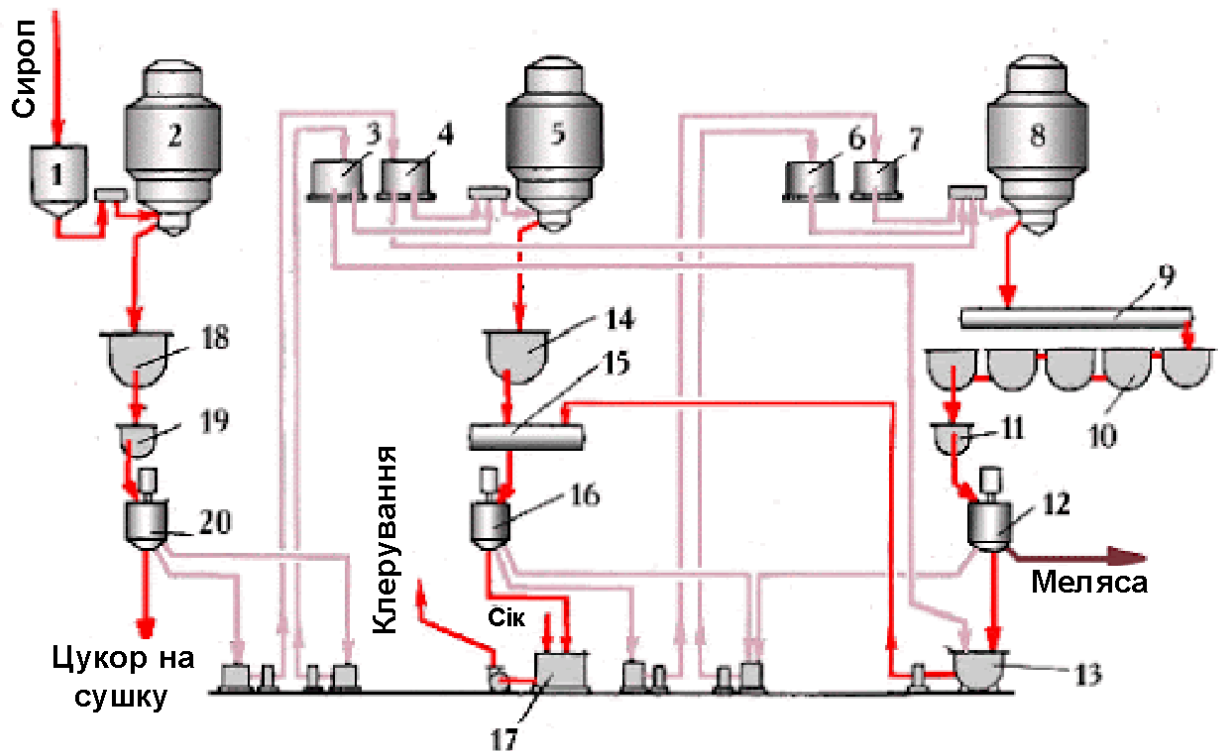


Рисунок 1.1 - Технологічна схема руху продуктів в кристалізаційному відділенні

За цією схемою очищений сироп зі збірки 1 надходить в вакуум-апарат 2 на уварювання до змісту 92,5% сухих речовин. Готовий утфель I кристалізації (утфель I) спускається в мішалку 18. З неї утфель надходить через розподільник 19 в центрифуги 20, де центрифугується з відбором двох відтоків: першого (міжкристального розчину утфелю) і другого, отриманого в результаті промивання (пробілювання) кристалів цукру гарячої водою. Пробілений цукор вологістю 0,8-1,2% вивантажується з центрифуг і транспортерами прямує на сушку.

Відтоки, отримані при центрифугуванні утфелю I, перекачують у збірник 3 для першого відтоку і збірник 4 для другого відтоку.

Утфель II уварюють в вакуум-апараті 5 до 93% сухих речовин, спускають в приймальну мішалку 14 і через розподільник 15 подають в центрифугу 16. При центрифугуванні утфелю II отримують два відтоки і направляють перший відтік в збірник 6, другий - в збірник 7.

При уварюванні утфеля III в вакуум-апараті 8 послідовно забирають другий і перший відтоки утфеля II. Зміст сухих речовин в готовому утфелі доводять до 93,5-94,0% і через приймальну мішалку 9 його спускають в кристалізаційну установку 10. Тут



протягом 24-28 год відбувається додаткова кристалізація цукру охолодженням від 63-67 до 35-40°C . Через розподільник 11 утфель III надходить в центрифуги 12, в яких цукор не пробілюється водою. Відтік (меляса), що відбирають з цих центрифуг, зважують на вагах і перекачують в ємність для зберігання.

Цукор III кристалізації направляють в афінатор 13, де він змішується з першим відтоком утфеля I, розведеним очищеним соком. При цьому утворюється афінаційний утфель з вмістом 89-90% сухих речовин. У процесі перемішування утфелю (протягом 20 хв) в афінаторі частина нецукрів з плівки на кристалах цукру переходить (дифундує) в більш чистий межкристальної розчин. Такий спосіб підвищення чистоти цукру III кристалізації називається афінацією (очищенням). З афінатора утфель подається в розподільник 15 і центрифугується разом з утфелем II в центрифугах 16.

Після цього цукор II і III кристалізації подається в клеровочний апарат 17, де розчиняється (клерується) в соці II сатурації до змісту 65-70% сухих речовин. Клеровка, що утворюється при цьому, разом з сиропом з випарної установки направляється на сульфитацію.

На першій стадії; в процесі уварювання сиропу в апаратах I продукту отримують утфель I кристалізації, а з нього, після відповідної обробки - білий цукор, білий і зелений відтоки.

Білий відтік повністю використовують в процесі варіння I продукту, а зелений - у другій стадії роботи в вакуум-апаратах II продукту, з утфеля яких отримують бурий відтік, жовтий цукор і мелясу.

Бурій відтік повністю використовують в процесі II кристалізації. Меляса є відходом цукробурякового виробництва і виводиться в збірники, а жовтий цукор після розчинення соком II сатурації використовують в процесі I кристалізації.

При роботі за трьохпродуктовою схемою після II кристалізації отримують зелений і білий відтоки і жовтий цукор, який клерують і використовують на I кристалізації.

Зелений і білий відтоки служать сировиною для проведення III кристалізації, в результаті якої отримують бурий відтік, бурий цукор і мелясу. Відтік використовують в вакуум-апаратах III продукту, бурий цукор після клеровки - в процесі I кристалізації, а мелясу виводять в збірники.

Процес кристалізації в вакуум-апаратах проводять в чотири етапи: згущення сиропу, заведення кристала, нарощування кристала і згущення утфелю.

Стан продуктів на цих етапах характеризується коефіцієнтом пересичення  $\alpha$ .

Кристалізаційне відділення на відміну від попередніх до нього ділянок, розташованих по ходу технологічного процесу, має більш складну, розгалужену схему матеріального потоку, велике число буферних збірників сиропу і відтоків, обладнання періодичної дії (вакуум-апарати, центрифуги). Цією особливістю матеріального потоку поряд із застосуванням значного числа апаратів періодичної дії пояснюється використання в кристалізаційному відділенні різноманітної арматури, за допомогою якої в ході технологічного процесу здійснюють перемикання потоків, регулювання їх інтенсивності, допоміжні операції. Все це ускладнює управління кристалізаційним відділенням і перш за все - його матеріальним потоком.

Дуже складний в управлінні також процес кристалізації при уварюванні утфелей у вакуум-апаратах. При заповненні верхніх збірок сиропу і відтоків контролюють рівень в збірниках. Витрата цих продуктів, попередньо підігрітих паром, на уварювання в вакуум-апаратах ведуть відповідно до вимог технологічного процесу.

Технологічний регламент ведення процесу уварювання і конструкція апарату вимагають контролю і підтримки в заданих межах наступних параметрів: коефіцієнта пересичення на різних стадіях варіння ( $\alpha = 1,0-1,4$ ), рівня сиропу по висоті апарату, розрідження в апараті (0,08-0,09 МПа), температури пари, що гріє (105-115°C), абсолютного тиску пара (0,17 МПа), температури утфелю в апараті (70-80°C), витрати-конденсату з гріючої камери.

Роботу вакуум-апаратів і центрифуг регулюють таким чином, щоб запобігти переповнення утфелемішалок і своєчасно підготувати їх до прийому утфелю.

Спуск утфеля з утфелемішалок в утфелерозподільники для утфелей I і II і з приймальні мішалки утфелю III в мішалки-кристалізатори здійснюють невеликими дозами в міру зниження рівня в розподільниках та кристалізаторах в результаті витрати з них утфелю на центрифугування.

Режим охолодження і підігріву утфелю III в кристалізаторах контролюють з метою забезпечення необхідного темпу кристалізації утфелю і підготовки його до отримання кристалів цукру.

Нормальна робота варочних апаратів продуктового відділення забезпечується конденсаційною установкою, що створює розрідження в вакуум-апаратах і випарній установці, а також яка здійснює відведення вторинних парів і газів, що не конденсувалися.

## 1.2 Конструктивно - технологічна характеристика вакуум-апаратів цукрового виробництва.

Сучасні типи вакуум-апаратів цукрового заводу класифікуються наступним чином:

- в залежності від принципу дії - періодичні і неперервні;
- за характером продукту, що уварюється - I, II, III і т. д. ;
- за просторовим положенням - вертикальні, горизонтальні;
- за видом поверхні нагрівання - змієвикові, трубчасті з підвісною камерою, з комбінованою поверхнею;
- за видом надутфельного простору - нормальні, розширені, сферичні, сундучні і ін. ;
- за режимом циркуляції - з природною і примусовою.

До вакуум-випарних апаратів незалежно від конструкції висуваються такі вимоги:

- наявність досить розвиненої площі поверхні нагрівання і інтенсивного теплообміну для забезпечення мінімальної тривалості процесу уварювання при раціональній відповідності між тепловою потужністю поверхні нагрівання і швидкістю кристалізації;
- відсутність «мертвих», застійних зон і інтенсивна рівномірна циркуляція уварюваного розчину, надійне сепарування вторинного пара при мінімальному опорі;
- уварювання продуктів до певного вмісту сухих речовин при строго встановленій температурі і нормованому часу варіння, при мінімальному наростанні кольоровості і втрати цукру;
- безперервне і надійне видалення конденсату з парових камер;
- швидкий спуск увареного утфеля, надійна герметизація апарату; мінімальна кількість уварюваного продукту в нижній частині вакуум-апарату під гріючою камерою;
- простота, безпека, компактність, надійність конструкції при мінімальній питомій витраті металу на одиницю площі поверхні нагрівання;
- можливість регулювання і контролю теплового, температурного, технологічного режимів роботи апарату;

- рівномірний розподіл пари, що гріє в міжтрубному просторі;
- оптимальне співвідношення висоти утфельної шару в апараті до його діаметру, що обумовлює мінімальну величину гідродинамічної депресії і невелике зниження корисної різниці температур.

На рис 1.2 наведена конструктивна схема вакуум-апарату.

Він складається:

- 1-затвор для спуску утфеля
- 2-патрубок для відводу конденсату
- 3-пробний кран
- 4-патрубок для входу пара
- 5-вакууметр
- 6-циркуляційна труба
- 7- патрубок для відводу газів,
- 8-вентиль сполучення з атмосферою
- 9-вловлювач конус
- 10-шолом вловлювач
- 11-патрубок для виходу утфельної пари
- 12-запобіжний клапан
- 13-патрубок для підведення гарячої води до оглядових вікон
- 14-оглядові вікна
- 15- корпус апарату
- 16-верхня трубна решітка
- 17-нагрівальні трубки
- 18-патрубок для входу пари
- 19-колектор
- 20-клапан
- 21-отвір для входу продуктів в апарат
- 22- патрубок для відводу утфелю
- 23-поршень
- 24-гідроциліндр
- 25-отвір для підведення і відведення води в гідроциліндр
- 26-отвір для відводу води, що просочилася в над поршневий простір

27-штуцер для подачі пари для очищення затвора від утфеля

28-патрубок для відводу сиропу

29- патрубок для введення продуктів в апарат

30-патрубок для підведення другого відтоку

31 патрубок для підведення першого відтоку

32 патрубок для підведення води

33-нижня трубна решітка

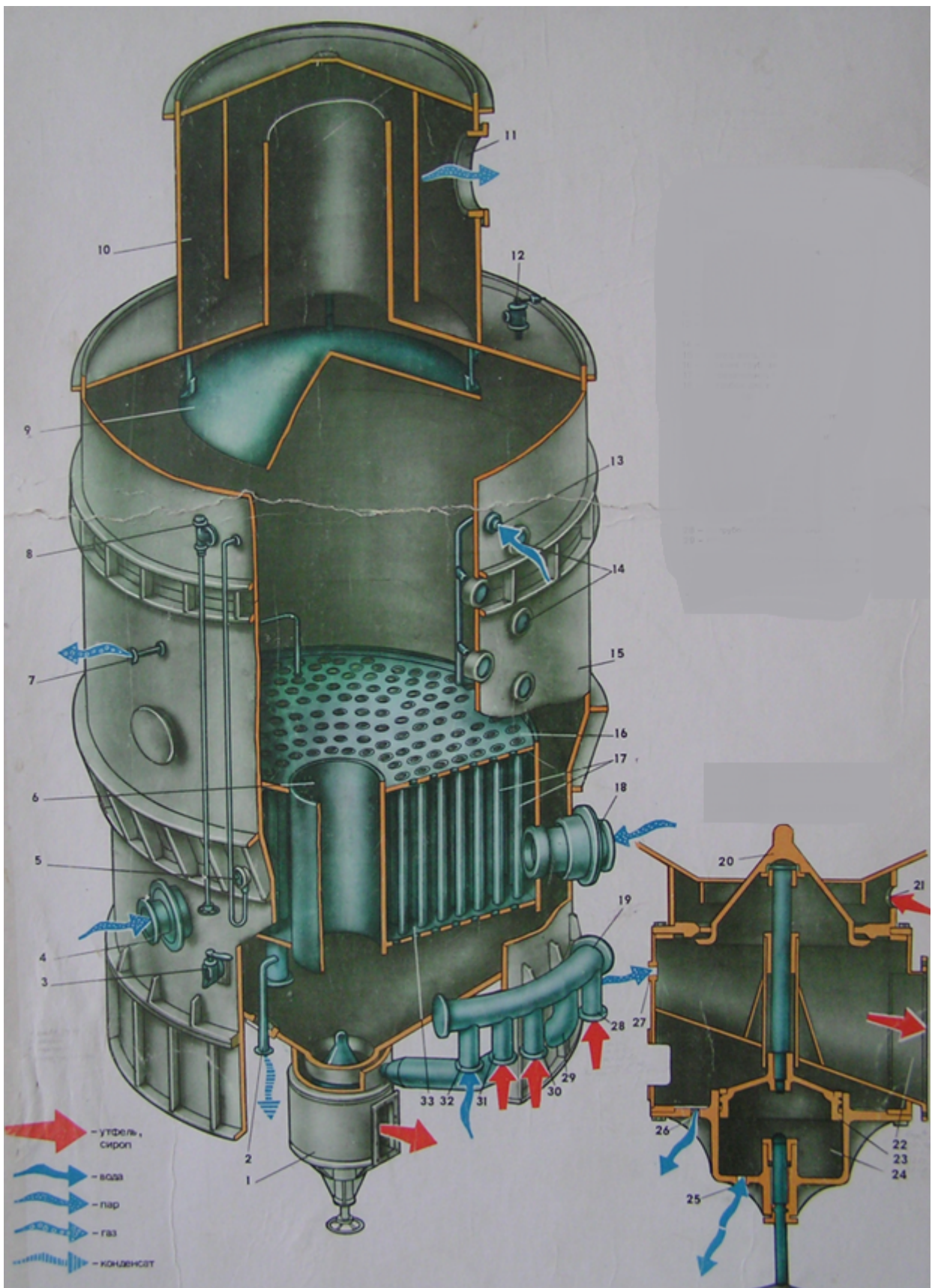


Рисунок 1.2 - Конструктивна схема вакуум-апарату

В даний час у вітчизняній цукровій промисловості проводиться широке дослідження вакуум-апаратів з посиленою (примусовою) циркуляцією уварювальної маси. Встановлено, що вакуум-апарати з природною циркуляцією, що повсюди застосовуються в цукровій промисловості, не забезпечують протягом усього процесу уварювання досить інтенсивної циркуляції і оптимальних умов кристалізації (якщо швидкість природної циркуляції на початку уварювання 0,5 м/с, то в кінці тільки 0,06-0,07 м/с, тобто в 5-6 разів менше).

Саме з цієї причини і внаслідок високої в'язкості, малої інтенсивності циркуляції знижується теплообмін в кінці процесу варіння, зменшується швидкість кристалізації, створюються умови для отримання неоднорідних кристалів з наявністю друз.

Використання саме в цій стадії варіння механічної циркуляції, а також введення повітря або пара, що збільшують турбулізацію граничного шару, підвищує коефіцієнт теплопередачі на 20-30%, покращує якість утфелю через менший приріст кольоровості, кращої його гранулометрії, зменшує втрати цукру. Доцільно в якості пара використовувати пари самовипаровування концентратора.

Поряд з поліпшенням технологічних показників товарного цукру при уварюванні утфеля з механічним перемішуванням істотно можна знизити витрату палива, так як варіння утфелей з висококонцентрованих сиропів може бути проведено з використанням для обігріву вакуум-апаратів пари низького потенціалу - II і III ступенів випарювання, домогтися відповідності між швидкістю кристалізації сахарози і швидкістю випаровування води, вести процес при більш високому пересичення і, як наслідок, з більшою швидкістю кристалізації сахарози. Механічні лопатеві циркулятори, інтенсифікуючи процес кристалізації, скорочують на 20% тривалість уварювання утфелю.

#### *Апарати безперервної дії.*

Завдяки впровадженню вакуум-апаратів безперервної дії на станції уварювання цукрових утфелів стабілізується робота тепло-силового господарства, всього заводу в цілому, зменшується обсяг запасу сиропу і відтоків, підвищується продуктивність праці, з'являється можливість автоматичного регулювання процесу і переходу в подальшому до заводів-автоматів. При цьому ліквідуються втрати робочого часу на допоміжних операціях, нерівномірний відбір вторинних парів випарювання для обігріву

вакуум-апаратів, а також коливання розрідження у вакуумній системі, відпадає необхідність у витраті пари на пропарювання.

Апарати безперервної дії розрізняються за просторовим розташуванням - вертикальні, горизонтальні і похилі; за кількістю секцій – одно- і багатосекційні; за характером руху уварюваної маси - циркуляційні, прямоплинні з природною і примусовою циркуляцією; за конструкцією корпусу - циліндричні, прямокутні, сундучні, коритні; за конструкцією поверхні нагрівання і способу передачі тепла - поверхневі, контактні, комбіновані.

Будова вакуум-апаратів безперервної дії дуже різноманітна, що пов'язано з посиленими пошуками найбільш досконалих конструкцій, що забезпечують отримання, насамперед, рівномірних кристалів цукру, необхідний ефект виснаження міжкристального розчину, мінімальні приріст кольоровості та втрати цукру, задовільну фуговочну здатність утфелей і можливість застосування теплоносіїв низького потенціалу. На даний момент застосування безперервних вакуум-апаратів обмежене, так як домогтися виконання оптимальної конструкції, що відповідає всім технологічним вимогам, не вдалося.



## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1 Технічні характеристики об'єкта автоматизації

Об'єктом автоматизації є технологічний процес уварювання утфелю першої кристалізації в вакуум-апараті періодичної дії, обладнаного мішалкою, спільно з ємнісним господарством:

- збірник сиропу (повна висота 2,2 м);
- збірник білої патоки (повна висота 2,2 м);
- збірник зеленої патоки (повна висота 2,2 м);
- збірник аміачної води (повна висота 2,5 м);
- утфелемішалка (горизонтально розташований апарат коритного типу).

Вакуум-апарат складається з посудини для цукрового сиропу, всередині якого знаходиться вбудована парова камера (теплообмінник). У паровій камері тепло передається цукровому сиропу, в результаті цього вода, що міститься в сиропі, випаровується, а концентрація цукру підвищується. Секція пари і секція цукрового сиропу повністю ізольовані одна від одної; тепло передається через стінку теплообмінника.

У паровій секції є вхідний фланець для пара і вихідний фланець для дренажу конденсату. Крім того, там є продувальні з'єднання для подачі повітря і вихідний фланець для виведення неконденсованих газів в тому випадку, якщо вони містяться в парі, що подається.

Сокова камера оснащена впускним фланцем для сиропу і випускним фланцем для концентрованого розчину цукру. Крім того, є фланець для випуску утфельної пари, що утворюється в результаті уварювання цукрового сиропу. У соковій камері є також сполуки для пропарювання камери під час технологічного процесу. Є також фланці для приладів контролю і регулювання.

Вакуум-апарат має парову камеру з центральною трубою і розрахований на оптимальну циркуляцію.

Кип'ятільні труби виконані з нержавіючої сталі.

Утфельна пара виводиться з апарату через ефективний сепаратор відцентрового типу.

Патрубок введення сиропу розташований по центру під трубою.

Вакуум-апарат забезпечений двошвидкісною мішалкою, розташованою в циркуляційній трубі. Розрахунковий гідродинамічний дизайн пропелера мішалки забезпечує найкращу циркуляцію утфелю при мінімальних витратах енергії.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики мішалки

Встановлена потужність	кВт	на буряках	45/30
		на тростнику	65/45
Діаметр пропелера	мм	1750	
Швидкість пропелера	гр/	на буряках	65/43
	м	на тростнику	45/30

### Технічні характеристики вакуум-апарату:

#### Вакуум-апарат І продукту

Матеріал нержавіюча сталь AISI 304 (Werkstoff 1.4301).

Ємність вакуум-апарату 60 тонн утфелю

Продукт І продукт цукрового буряка або цукру-сирцю

Поверхня нагріву 300 м<sup>2</sup>

Діаметр бака 4500 мм

Циліндрична висота бака 4100 мм

Висота 7000 мм

Діаметр труб 102 мм

Довжина труб 910 мм

Комплектуючі вакуум апарату:

Циркулятор Ø 1730 мм,

Мікроскоп

Пробний кран

Оглядове скло

Запобіжний клапан

Датчик рівня конденсату

Технологічна обв'язка вакуум-апарату приведена в додатку А

## 2.2 Управління процесом уварювання утфелю

У найбільш поширених системах управління процесом уварювання утфелю використовуються принципи, що базуються на непрямому вимірі пересичення по електропровідності (електроопору), реологічним властивостям, підвищенню температури кипіння утфелей. Знайшли також застосування комбіновані методи управління, що поєднують одночасне використання декількох параметрів.

Розроблена система автоматичного управління базується на принципі автоматичного забезпечення програмою залежності між структурною в'язкістю продукту і його кількістю в апараті, а також на вимірюванні опору розчину і регулювання співвідношення опір - рівень утфелю за цикл варіння. При цьому встановлене співвідношення може коригуватися вручну. Для вимірювання в'язкості був застосований вискозиметр польської фірми PIAP. Вимірювання електроопору здійснюється кондуктоміром німецької фірми «Endress-Hauser».

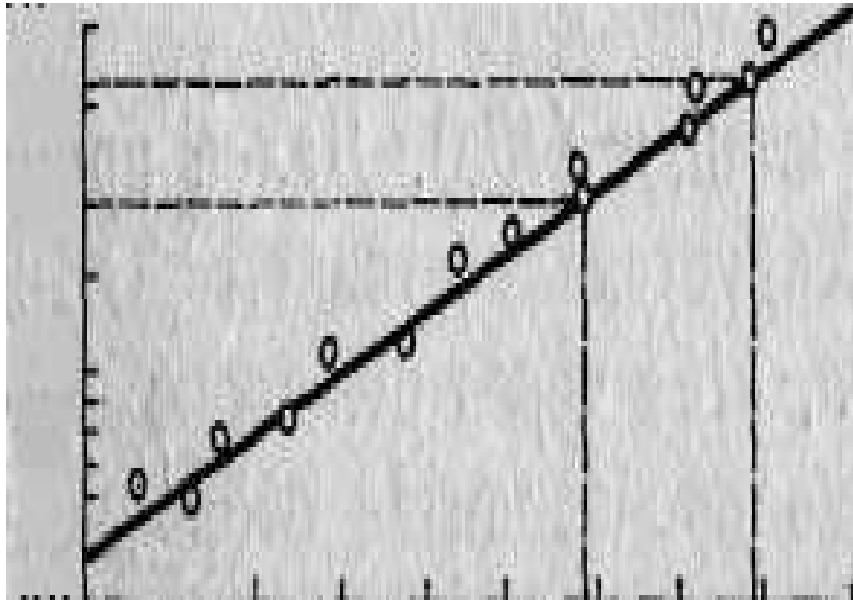


Рисунок 2.1 - Залежність електричного опору утфелю  $R$  від коефіцієнта пересичення  $a_{пр}$

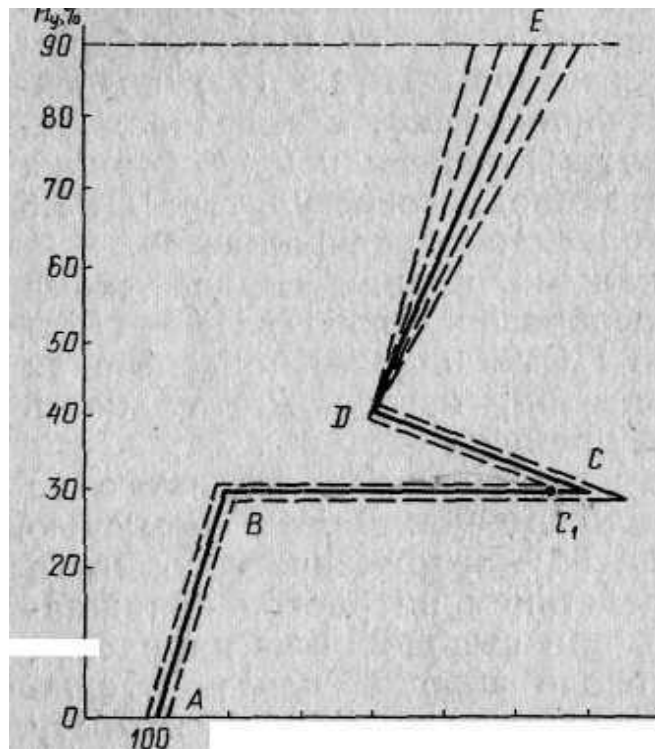


Рисунок 2.2 - Залежність між електричним опором утфелю  $R$  і його рівнем  $Nu$  у вакуум-апараті при уварюванні:  $AB$  - ділянка наповнення апарату сиропом до рівня, що

забезпечує повне покриття поверхні нагріву; ВСі - ділянка згущення сиропу до введення затравки; Сі - точка введення затравки; С<sub>1</sub>, С-ділянка утворення кристалів; CD - ділянка розкочки утфелю сиропом; DE - ділянку росту кристалів

### 2.3 Можливості системи автоматизації

Система автоматизації дозволяє здійснювати:

- автоматичний набір сиропу до заданого рівня і його стабілізацію до моменту заведення кристалів;
- програмне керування процесом нарощування кристалів шляхом впливу на надходження розчину в апарат з метою підтримки програмного співвідношення в'язкість-рівень утфеля в апараті;
- світлову і звукову сигналізацію про готовність утфелю;
- дистанційне керування запірними органами пари, що гріє, розчину, пари для пропарювання, скидання розрідження, випуску утфелю і регулюючими органами розрідження, витрати розчину і пара;
- сигналізацію падіння розрідження, заведення кристалів, заповнення апарату, стану управління, положення запірних органів;
- регулювання співвідношення - опір розчину - рівень початкового набору апарату;
- блокування відповідних регулюючих або запірних органів при падінні розрідження, заповненні апарату.

## 3 ВИМОГИ ДО АСУТП

### 3.1 Вимоги до приладів і засобів автоматизації

Застосовувані прилади та засоби автоматизації повинні бути сертифіковані на застосування в Україні.

Передбачити при проектуванні резервне живлення АСУ ТП «Варник» від другого незалежного джерела живлення з автоматичним включенням резерву.

Встановлювані щити систем автоматизації повинні відповідати ГОСТ 38.13-76, ГОСТ38.ЕД1-13-79 і керівним матеріалами РМЗ-82-83

Первинні перетворювачі розміщуються на одиночних і групових монтажних конструкціях.

У зв'язку з насиченістю в продуктовому відділенні кабельних і імпульсних трас, напрям проходження знову монтованих трас повинно бути уточнено за місцем в процесі складання проекту виконання робіт. Електропроводки повинні бути прокладені в сталевих коробах і захисних трубах. Прокладання вимірювальних кіл і кіл живлення виконати окремо. Сполучні коробки повинні відповідати умовам навколишнього середовища. При виконанні монтажних робіт слід мати на увазі, що температура вимірюваного середовища на датчиках не повинна перевищувати 95°C, а тиску - 1,6 МПа.

Монтажні роботи та заземлення повинні виконуватися відповідно до вимог СНиП 3.05.07-85 "Системи автоматизації", ПУЕ та інших нормативних документів, що визначають вимоги до прокладання електричних кіл.

### 3.2 Вимоги до робочого місця оператора

#### 3.2.1. Організація робочого місця оператора ЕОМ

Організація робочого місця оператора ЕОМ повинна відповідати таким ергономічним і психологічним вимогам:

- 1) досяжність - раціональне планування робочого місця передбачає таке розміщення всіх технічних засобів і робочих матеріалів, яке дозволяє працювати без зайвих рухів, що призводять до стомлення і зайвих витрат часу.
- 2) видимість - це вимога організувати робоче місце так, щоб всі без винятку матеріали в будь-який момент було видно.
- 3) ізолюваність - залежність між ступенем ізолюваності робочого місця розумової праці і продуктивністю праці. Ліквідується нервова напруга, що виникає при необхідності працювати прилюдно;
- 4) достатній робочий простір для оператора, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення при експлуатації машини;
- 5) достатні фізичні, зорові і слухові зв'язки між оператором та обладнанням;

- 6) оптимальне розміщення устаткування, головним чином засобів відображення інформації і органів управління, завдяки якому забезпечується зручне положення оператора при роботі;
- 7) чітке позначення органів управління, елементів системи позначення інформації, інших елементів обладнання, які потрібно знаходити, впізнавати і якими оператор повинен маніпулювати;
- 8) необхідне природне і штучне освітлення для виконання оперативних завдань і технічного обслуговування обладнання;
- 10) забезпечення комфорту в приміщеннях, де працюють оператори (температурний режим, допустимий рівень акустичних шумів, створюваних устаткуванням робочого місця);
- 11) наявність необхідних інструкцій і попереджувальних знаків, що застерігають про небезпеку і вказують на необхідні запобіжні заходи при роботі.

### 3.2.2. Планування і оснащення робочого місця

Особливе місце в системі ергономічних стандартів займає стандарт планування і оснащення робочого місця. Він встановлює вимоги до взаємного розташування пульта управління, засобів відображення інформації, органів управління, робочого сидіння, основного і допоміжного обладнання, організаційно-технічних засобів на робочому місці.

Планування робочого місця оператора ЕОМ повинно бути проведене таким чином, щоб забезпечити комфортні умови роботи при використанні робочої площі приміщення і дотримання всіх санітарно-гігієнічних норм.

Робоче місце включає інформаційний простір (відображення інформації) і моторне (органи управління) поле. В моторному полі розрізняють три зони:

- 1) зона оптимальної досяжності, обмежена дугами, описуваними передпліччями при русі в ліктьових суглобах з опорою;
- 2) зона легкої досяжності, обмежена дугами, описуваними розслабленими руками при русі їх в плечовому суглобі;
- 3) зона досяжності максимально витягнутими руками при русі їх в плечовому суглобі.

Площа робочої поверхні столу повинна бути достатньою для установки всього основного і допоміжного обладнання, органів управління і допоміжних матеріалів, і в той



же час забезпечувати оптимальні відстані між оператором і органами управління для здійснення всіх необхідних дій.

Управління ЕОМ здійснюється за допомогою клавіатури або маніпулятора типу «миша». Органи управління повинні розміщуватися в межах зони огляду і не повинні бути розосереджені на робочому місці, їх слід групувати, забезпечуючи обґрунтовану цілісність в просторі.

Органи ручного управління слід розташовувати так, щоб оператор міг маніпулювати ними при зігнутому лікті під кутом 90 - 135 градусів. Органи ручного управління постійної дії повинні бути розташовані на висоті на рівні ліктя плюс-мінус 100 мм. Орган управління повинен знаходитися не ближче 200 мм від оператора. Оптимальна відстань між корпусом оператора і серединою клавіатури 300-400 мм.

Висота столу, на якому розміщується обладнання, повинна бути такою, щоб відстань від підлоги до середини клавіатури витримувалося в межах 650-700 мм. На робочому місці оператора ЕОМ передбачається місце для блокнота, з нахилом в сторону оператора 10-15°С.

Приміщення ЦПУ має бути укомплектовано поворотними і рухливими кріслами, що мають такі характеристики:

- наявність регулювання висоти сидіння (в межах 350-500 мм);
- наявність в спинці крестцево - поперекової опори для фіксації, поперекового вигину поперекового стовпа;
- регулювання спинки по висоті і куту нахилу (висота спинки до - 540-560 мм);
- рекомендується сидіння з нахилом назад на 3 - 5 градусів, що перешкоджає сповзанню тіла з сидіння.

Таблиця 3.1 - Висота сидіння в залежності від росту людини.

Зріст людини, см	до 160	161-170	171-180	Понад
Висота сидіння, см	43	45	47	49

Проектування колірної рішення приміщення ЦПУ слід виконувати у відповідності з "Вказівками по проектуванню колірної обробки інтер'єрів виробничих будівель промислових підприємств".

### 3.2.3. Забезпечення заходів безпеки на робочому місці оператора ЕОМ.

Обсяг і площа виробничого приміщення ЦПУ, які повинні припадати на кожного працюючого оператора по санітарних нормах, повинні бути не менше 15 куб.м. і 4.5 м<sup>2</sup>, відповідно. Висота приміщення ЦПУ не повинна бути менше 3,2 м. Стіни і стелі повинні бути виконані з малотеплопровідних матеріалів, що не затримують осадження пилу. Підлоги повинні бути теплими, еластичними, рівними і неслизькими.

Рекомендується підтримувати інтервал температур від 17°C до 22°C. Вологість повітря в приміщенні ЦПУ повинна бути в інтервалі 60..70%. Згідно з нормами виробничих приміщень швидкість руху повітря не більше 0,3 м / с.

Для плавного регулювання і підтримки в необхідних межах температури і вологості повітря у виробничому приміщенні рекомендується встановити побутовий кондиціонер.

Згідно ГОСТ рівень шуму в приміщенні ЦПУ не повинен перевищувати 50 дБ. Середньоквадратичне значення коливальної швидкості для вібрацій з частотами, близькими до 5 Гц, не повинно перевищувати на робочому місці значення 5 мм/с або 10 дБ.

Для зниження рівня шуму слід вживати таких заходів:

- облицювання стелі та стін робочого приміщення звукопоглинальним покриттям;
- вплив на джерело шуму;
- створення звукопоглинальних перешкод між джерелом шуму і людиною;
- забезпечення персоналу засобами захисту від шуму.

Освітленість робочого місця є одним з основних факторів, що впливають на стомлюваність і працездатність. Для забезпечення сприятливих умов роботи операторів, необхідно забезпечити на робочому місці такі величини освітленості:

- не менш 5 - 7 Лк при верхньому і комбінованому природному освітленні;
- не менш 1,5 - 2 Лк при бічному природному освітленні;
- не менш 750-2000 Лк при системі комбінованого штучного освітлення;
- не менш 300-500 Лк при системі загального штучного освітлення.

### 3.3 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечити безперервне функціонування інформаційної та керуючої підсистем цілодобово в період виробництва.

При відключенні електроживлення система повинна зберігати інформацію про:

- системне програмування контролера (в т.ч. комплектність);
- конфігурацію каналів контролю і управління; конфігурацію алгоритмів (контурів) автоматичного регулювання;
- значення накопиченого масиву буфера даних (аналогові й дискретні змінні).

#### 4 ПЕРЕЛІК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І ЦІЛЬОВИХ ПІДСИСТЕМ ТА ЇХ ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

##### **Інформаційна підсистема:**

- блок-підсистема організації збору і первинної обробки інформації про стан технологічних параметрів і стан обладнання;
- надання інформації на дисплеї про хід технологічного процесу і роботу основного устаткування;
- протоколювання ходу технологічного процесу, представлення трендів і графіків по процесу, складання звітної документації;
- збереження інформації при відключенні електроживлення і надійне зберігання технологічної програми управління за рахунок зберігання її в постійній незалежній пам'яті;
- блок-підсистема розрахунку показників роботи зміни;
- складання рапортів, звітів про роботу відділення протягом зміни.

##### **Керуюча підсистема:**

- блок-підсистема дистанційного керування дозволяє управляти виконавчими механізмами з ПЕОМ або незалежних блоків дистанційного керування;
- блок-підсистема локального і взаємозалежного управління дозволяє стабілізувати параметри технологічного процесу, вести процес відповідно до розроблених алгоритмів, за допомогою мікропроцесорних контролерів (багатоканальних цифрових регуляторів). Розрахунок і видача керуючих впливів здійснюється контурами регулювання;
- блок-підсистема автоматичного блокування та сигналізації по технологічному процесу;
- блок-підсистема супервізорного управління процесом відповідно до визначених залежностями якісних і кількісних показників або моделей, управління ведеться в режимі ради і в режимі ЕОМ;
- Математичні залежності можуть бути відкоректовані в процесі обстеження і проведення дослідних робіт на діючій технологічній системі і перевірки залежностей показників технологічного процесу.

## 5 КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АСУТП «ВАРНИК»

Функціональна структура комплексу технічних засобів автоматизованої системи управління технологічним процесом АСУ ТП приведена в додатку Б.

Система управління дворівнева, з можливістю підключення третього рівня (підключення до мережі заводу).

1 - нижній рівень включає:

перетворювачі інформаційних сигналів;

прилади індикації та оперативного управління;

перетворювачі сигналів;

нижній рівень дозволяє отримувати інформацію від кожного вакуум-апарату і управляти ними в режимі ручного (дистанційного) управління.

2 - верхній рівень:

мікропроцесорний регулюючий контролер Premium TSXP27203;

операторська станція;

виносна мнемосхема в ЦПУ і на місцевих щитах управління;

мережеве обладнання.

### 5.1 Перетворювачі інформаційних сигналів

Технічне забезпечення АСУТП являє собою сукупність функціонально взаємопов'язаних засобів контролю і управління, що забезпечують реалізацію всіх завдань, поставлених в технічному завданні на розробку схеми.

Системою АСУТП «Варник» вся інформація з об'єкта за допомогою датчиків і перетворювачів перетворюється і в вигляді уніфікованих сигналів постійного струму 4-20 мА надходить на входи контролера, збирається на щиті ЦПУ.

Для перетворення струмового навантаження двигунів мішалки вакуум-апарату використовуються перетворювачі ПНС-3 (змінного струму), призначені для перетворення

параметрів електричних кіл у вихідний уніфікований сигнал. Вхідні і вихідні кола перетворювачів гальванічно розв'язані. На нього з трансформатора струму надходить сигнал змінного струму від 0 до 5А та перетворюється в сигнал 4-20 мА, що надходить на вхід контролера.

Для вимірювання температури живильної води, а також температур за збірниками сиропу і патоки використовуються мідні термометри опору ТСМ-1088 з градуванням 100М. Термометри підключаються по 4-х провідній схемі і працюють в комплекті з перетворювачами БПО-42, які призначені для перетворення опору резисторних датчиків (термоопорів) в струмовий сигнал 4-20 мА.

Для вимірювання температури в вакуум-апаратах використовується датчик температури, вбудований в кондуктометр CLD 132.

Витрата пари і живильної води вимірюється методом змінного перепаду з допомогою вимірювальних камерних діафрагм.

Для вимірювання тиску і перепаду тиску використовуються прилади серії Aplisens типу РС-28 і PR-28 імпортного виробництва ф-ми Aplisens (див. рис. 5.1)

Для вимірювання рівня в вакуум-апаратах застосовуються інтелектуальні датчики фірми Aplisens PR-2200 з розділовими мембранами.

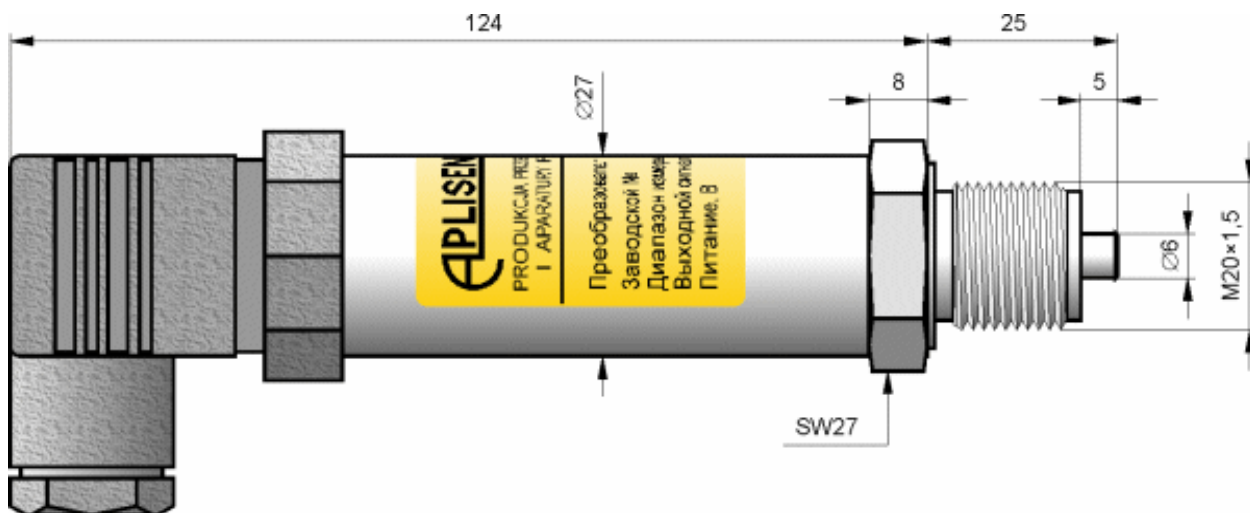


Рисунок 5.1- РС-28

## 5.2 Прилади індикації та оперативного управління

Вимірні значення витрат пари і рівнів в вакуум-апаратах виводяться на лицьові панелі приладів ИТМ-2 і БРЗ -7і, які розташовані на щиті.

ИТМ-2 це двоканальний багатофункціональний мікропроцесорний перетворювач, призначений для вимірювання входних уніфікованих сигналів постійного струму 0-5, 0-20, 4-20, і напруги 0-10 В для індикації перетвореного сигналу на вбудованому семисегментному світлодіодному індикаторі.

ИТМ-2 забезпечує також наступні додаткові функції:

- Порівняння результату перетворення з заданими значеннями (вставками сигналізації мінімуму і максимуму) і сигналізацію заданих відхилень.
- Розрахунок квадратного кореня з входного аналогового сигналу.
- Програмна калібрування каналів за зразковим зовнішнім джерелом аналогового сигналу (див. рис.5.2).



Рисунок 5.2- ИТМ-2

Блок ручного управління і індикації БРУ-7 призначений для ручного управління виконавчими аналоговими механізмами, з можливістю перемикання режимів управління (ручний / автомат), а також цифрової індикації входного аналогового сигналу.

Задатчик має наступні можливості:

- ручна установка завдання в межах від 0 до 100%;
- індикація технологічного параметра у вигляді вхідного аналогового сигналу, в межах від 0 до 100%;
- дистанційне перемикання кіл управління на два положення: ручний / автомат, зі світловою індикацією одного з них;
- ручне перемикання кіл управління в одне з положень кнопкою на лицьовій панелі.
- автоматичне блокування дистанційного перемикання при включенні кнопки на лицьовій панелі в ручний режим управління (див. рис. 5.3).



Рисунок 5.3- БРУ-7

### 5.3 Перетворювачі керуючих сигналів

Перетворювачами керуючих струмових сигналів з виходів контролера і блоків ручного завдання є ЭП3324. Він призначений для перетворення уніфікованого сигналу



постійного струму 4 - 20 мА в уніфікований пропорційний безперервний сигнал 20 - 100 кПа. Сигнал з виходу електропневмоперетворювача надходить на вхід пневматичного пневмопривода фірми Inter-App, який змінює положення заслінки залежно від величини сигналу.

#### 5.4 Мікропроцесорний контролер

Інформація про стан об'єкта управління за допомогою датчиків і перетворювачів у вигляді уніфікованих струмових 4-20 мА і дискретних сигналів напруги 0-24 В надходить на вхідні модулі контролера.

Перелік вхідних аналогових і дискретних сигналів наведено в додатках В і Г.

Для живлення дискретних входів / виходів використовується блок живлення на 24В, 5А постійного струму, що встановлюється на DIN-рейці. При підключенні модулів, що мають уніфіковані 25-pin роз'єми, використовуються телефасти (клемники). До них за допомогою гвинтових з'єднань кріпляться дроти від перетворювачів, датчиків і виносної мнемосхеми.

У контролері запрограмований алгоритм управління послідовністю операцій процесу уварювання утфелю першої кристалізації В результаті виконання даної програми формуються управляючі дії на об'єкт у вигляді вихідних аналогових (безперервних) і дискретних сигналів.

Перелік вихідних дискретних сигналів наведено в додатку Д.

Система має можливість організації 2-х мереж:

1 - Unitelway - з підключенням операторської станції до TER PORT контролера за допомогою шнура - узгоджувача TSX PCU 1030.

2 - Ethernet - з підключенням ПЕОМ або Noutbook наладчика та інших абонентів або систем через Нив-комутатор і модулі TSX ETY 410.

Контролер має можливість прийняти:

48 аналогових входів (з них задіяно в системі 39, а 9 можна використовувати в розвиток);

128 дискретних входів (з них задіяно 114 + 14 шт. резерв). і видати 16 + 128 = 144 керуючих сигнали (з них 15 + 74 = 69 задіяні, а 59 шт. - резерв).

Конфігурація і склад регулюючого контролера наведено в додатку Е.

#### 5.4.1 Опис застосовуваного мікроконтролера

##### 5.4.1.1 Шасі ПЛК Premium

*Призначення:*

Шасі TSX RKY (рис.5.4) є базовим компонентом системи автоматизації Premium.

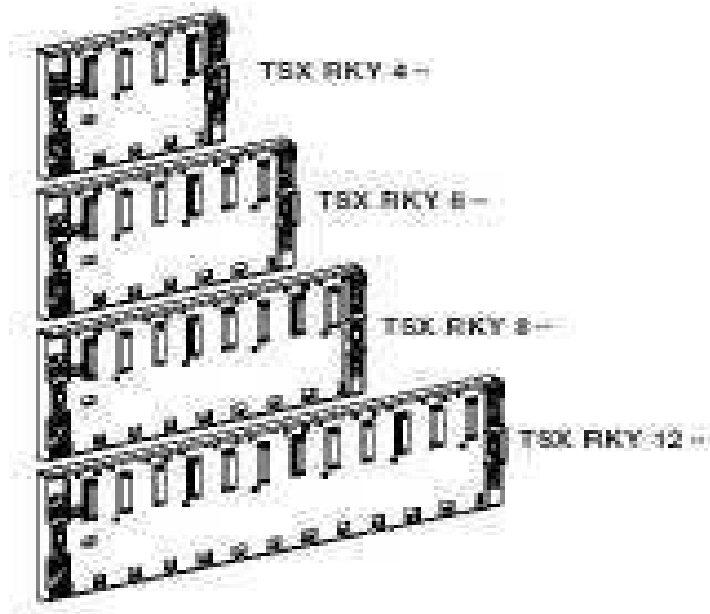


Рисунок 5.4 - Шасі TSX RKY

Ці шасі виконують такі функції:

- механічну функцію: шасі служать для установки всіх модулів ПЛК (блок живлення, процесор, дискретні входи / виходи, аналогові входи / виходи, спеціальні модулі).
- електричну функцію: шасі служать для под'єднання до шини (Bus X) і забезпечують розподіл: живлення, необхідного для всіх модулів в одному шасі; і даних і службових сигналів для всього ПЛК з декількома шасі.

В АСУ ТП «Варник» застосовується шасі на 12 слотів TSX RKY12.

##### 5.4.1.2 Модуль блоку живлення.

Модуль блоку живлення TSX PSY 2600M (рис.5.5) забезпечує живлення шасі з встановленими на неї модулями. Вибір модуля живлення здійснюється в залежності від:

- Напруження електромережі: 24 В пост, струму, від 24 до 48 В пост, струму, від 100 до 120 В змін. струму, від 200 до 240 В змін. струму.
- Споживаної потужності: споживаної моделями стандартної або подвійної ширини

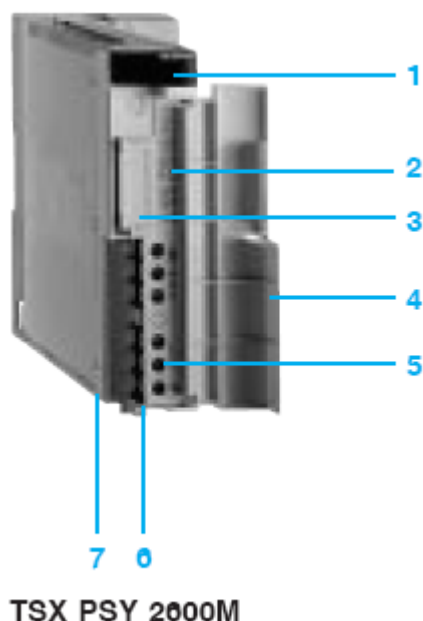


Рисунок 5.5 - Модуль блоку живлення TSX PSY 2600M

Модуль TSX PSY 2600M включає в себе:

1. Індикаторний блок, в якому є:
  - зелений індикатор ОК, який світиться при наявності належної напруги
  - червоний індикатор BAT, який світиться при несправності або відсутності акумулятора
  - зелений індикатор 24 В, який світиться при наявності напруги датчика (у деяких моделях).
2. Кнопку скидання RESET під кінчик авторучки для гарячого перезавантаження програми.
3. Роз'єм під батарею для захисту внутрішньої RAM процесора.
4. Захисну кришку передньої панелі модуля.
5. Гвинтові клеми для підключення
  - електроживлення

- контакту сигнального реле

- живлення датчика для живлення змінним струмом.

6. Отвір для кабельного хомута.

7. Плавкий запобіжник, розташований під нижньою поверхнею модуля і забезпечує захист первинної напруги інших джерел живлення.

8. Перемикач напруги 110/220 В

Таблиця 5.1 - Характеристики модуля TSX PSY 2600M

Пе рв ин ни й	Напруга	Номинальна	В	від 100 до 240 змін.
		Граничне значення	В	від 85 до 264 змін.
	Частота	Номинальна\гранична	Гц	від 50 до 60\ від 50 до 60
	Струм	Номинальний середньоквадратичний вхідний	А	≤0,5 при 100 змін. ≤0,3 при 240 змін.
	Первинний запуск при температурі 25°C	Сплеск пускового струму	А	≤37 при 100 змін. ≤75 при 240 змін.
		I <sup>2</sup> t при вмиканні	А <sup>2</sup> с	0.63 при 100 змін. 2.6 при 100 змін.
		I <sup>2</sup> t при вмиканні	Ас	0.034 при 100 змін. 0.067 при 240 змін.
	Тривалість короткочасного вимкнення живлення	Допустима в мережі живлення	мс	≤10
	Вбудований захист			Плавкий запобіжн.
	В т о р и н н	Потужність	Загальна споживана	Вт
Вихід 5 В. пост		Номинальна напруга	В	5.1
		Номинальний струм	А	5
		Потужність (типова)	Вт	25
Вихід 24 В. пост.		Номинальна напруга	В	24
	Номинальний струм	А	0.6	

и		Потужність (типова)	Вт	15
й	Вихід 24 В. пост. для датчиків			0.5

#### 5.4.1.3 Процесор TSX Premium

Процесор TSX P27 202м системи автоматизації Premium може управляти ПЛК, що складається з модулів дискретного вводу-виводу, модулів аналогового входу-виходу і спеціалізованих модулів, які можуть розташовуватися на одній або декількох шасі, підключених до шини bus X або fieldbus.

Процесор TSX P27 202м може мати

- 16 розширюване шасі (TSX RKY "EX)
- 1024 дискретних входів-виходів
- 80 аналогових входів-виходів
- 24 спеціалізованих каналів.

Крім того процесор має:

- Захищену внутрішню RAM, в яку можна завантажити всі додатки і яка розширюється за допомогою PCMCIA-плати пам'яті (RAM або flash EPROM).
- Годинник реального часу.
- Різні режими зв'язку:
  - зв'язок через порт терміналу (Uni-Telway або символний режим): 2 порти терміналу (TER і AUX), які забезпечують одночасне підключення декількох пристроїв (зазвичай це програматор і термінал з людино-машинним інтерфейсом);
  - зв'язок через PCMCIA-плату типу III: роз'єм, в який можуть встановлюватися різні плати зв'язку (Fipway, Modbus Plus, Fipio Agent, Uni-Telway, Modbus / Jbus, модем, послідовний канал зв'язку);
  - зв'язок через 9-контактний з'єднувач SUB-D (тільки на процесорах TSX P57 «52м): цей з'єднувач дозволяє використовувати ПЛК в якості адміністратора шини Fipio.

Розробка додатку здійснюється за допомогою програми PL7 Junior / Pro в середовищі Windows. У числі іншого, вона забезпечує наступні можливості:

- Чотири мови програмування: Grafset, мова драбинної логіки, мова структурованого тексту і мова списку інструкцій.
- Багатозадачна структура програм: головне завдання, швидке завдання і обробка подій.

- Зміна програми на етапі виконання (зміна в режимі реального часу).

#### *Опис*

На передній панелі процесора TSX P27 202M (рис.5.6) одинарної ширини є:

1 - індикаторний блок з 5 індикаторами:

- зелений індикатор RUN (робота):
- червоний індикатор ERR (помилка): при включенні вказує на збій процесора або на змонтованих на його платі пристроїв (PCMCIA-плат пам'яті і зв'язку)

• червоний індикатор введення-виведення: при включенні вказує на збій модуля іншого ПЛК або неправильну конфігурацію

- жовтий індикатор TER: миготить при включенні порту терміналу

- червоний індикатор FIP: миготить при роботі внутрішньої шини Fіріо

2 - кнопка RESET (скидання) для холодного перезапуску включеного ПЛК

3 - порт терміналу TER використовується для підключення програматора або конфігуратора

4 - порт терміналу AUX використовується для підключення периферійних пристроїв

5 - роз'єм для PCMCIA-плати розширення пам'яті типу 1

6 - роз'єм для PCMCIA-плати зв'язку типу 3

7 - 9-контактний з'єднувач SUB-D (тільки на процесорах TSX P27 \* 52м) для зв'язку з адміністратором шини Fіріо.

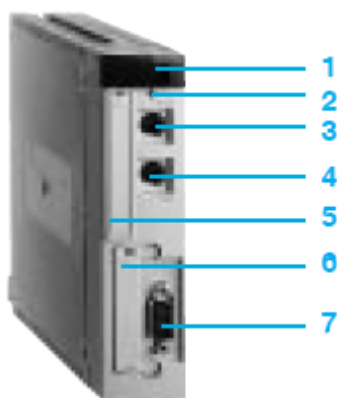


Рисунок 5.6 - передня панель процесора TSX P27 202M

#### *Організація пам'яті*

Простір пам'яті ПЛК Premium утворений внутрішньою пам'яттю RAM, призначеною для завантаження додатків (даних, програми і констант), що розширюється

PCMCIA-платою пам'яті, яка служить для завантаження програми і констант, а також (у деяких моделях) для збереження файлів і символів різних об'єктів додатків.

Процесор TSX P27202M має 48 тисяч 16-бітових слів основної пам'яті і 32-128 тисяч, при наявності в процесорі PCMCIA-плати пам'яті.

#### *PCMCIA-плати розширення пам'яті*

Дані знімні плати служать для зберігання прикладних програм і констант, а також (у деяких моделях) файлів і бази даних символів додатку.

Поставляються два типи плат розширення пам'яті:

- Плата пам'яті з захищеною RAM. Використовується в особливості на стадіях розробки та налагодження прикладних програм. Забезпечує всі засоби для перенесення і зміни додатків в режимі реального часу. Пам'ять захищена знімною батареєю, вбудованою в плату пам'яті.
- Плата пам'яті flash EPROM. Використовується після завершення налагодження прикладної програми і забезпечує тільки перенесення всієї програми, що виключає необхідність в батарейному захисті. Пам'ять додатку розділена на області пам'яті, що фізично розподіляються між внутрішньою пам'яттю RAM і PCMCIA-платою пам'яті (якщо плата пам'яті встановлена в процесор).
- Область даних програми завжди розташовується у внутрішній RAM.
- Область прикладних програм розташовується у внутрішній RAM або на PCMCIA-платі пам'яті.
- Область констант розташовується у внутрішній RAM або на PCMCIA-платі пам'яті.

Є два типи організації пам'яті додатків для процесорів TSX P27 202 з розширенням пам'яті за допомогою плати в форматі PCMCIA або без нього:

#### *Додаток у внутрішній RAM*

Додаток повністю завантажується в захищену внутрішню RAM (1) процесора, що має наступний обсяг 48 тис. слів для TSX P27 202

#### *Додаток на PCMCIA-платі пам'яті*

PCMCIA-плата пам'яті містить програму і константи. Область зберігання файлів на 128 або 640 тис. слів (в залежності від моделі PCMCIA-плати) може використовуватися у віддалених додатках, для зберігання даних, доступних для віддаленого перегляду за допомогою модему.

Область для зберігання 128 тис. слів символів (є у деяких моделях РСМСІА-плат) дозволяє зберігати в ПЛК базу даних символів додатку.

#### *Процесор з картою пам'яті*

*Дані у внутрішній RAM.* Область даних можна наростити до 17,5 тис. слів. Вона підтримується тільки внутрішньою пам'яттю RAM ПЛК.

Розробник додатків визначає структуру і розподіл пам'яті ПЛК Premium за допомогою програми PL7 Pro. PL7 Pro забезпечує захист додатків в режимі реального часу для запобігання доступу до них незалежно від організації пам'яті ПЛК, тобто. того, де розташовуються додатки: у внутрішній RAM або на РСМСІА-платі.

#### *Характеристики процесорів*

ПЛК Premium розроблялися відповідно до основних державних і міжнародних стандартів на електронне обладнання для промислових систем автоматизації:

- Вимоги, що застосовуються виключно до ПЛК: функціональні характеристики, захищеність, надійність, безпека і т.д. EN 61131-2 (IEC 1131-2), CSA 22-2, UL 508;
- Вимоги основних європейських організацій торгового флоту: BV, DNV, GL, LROS, RINA та ін .;
- Відповідність європейським нормативним документам (за низькою напругою, електромагнітною сумісністю), маркування CE;
- Електротехнічні характеристики і здатність ізоляційних матеріалів до самогасіння: UL 746C, UL 94 і ін.

#### 5.4.1.4 Програма PL7 Pro

Для розробки програм і додатків в ПЛК Premium застосовується програма PL7 Pro TLX CD PL7P P 33 M.

PL7 Pro TLX CD PL7P P 33 M має такі:

Можливості:

- Програмування
- Налагодження
- Налаштування
- Список інструкцій
- Мова сходової логіки
- Мова Grafset



- Функціональні блоки DFB
- Функціональний перегляд
- Імпорт / експорт функціональних модулів
- Діагностика DFB
- Екрани періоду виконання (Розробка / застосування)

Функції розробки та налагодження програм завдяки:

- Програмі перегляду, що забезпечує доступ до всіх компонентів додатка
- Спеціалізованим редакторам, що спрощує конфігурацію апаратного і програмного забезпечення
- Двом типам структури програми: однозадачній і багатозадачній
- Поділу головного і швидкого завдання на сегменти
- Можливості вибору потрібної мови для кожного з сегментів
- Спрощенню налагодження за рахунок автоматичної генерації таблиць анімації
- Використання макрокроків Grafset
- Застосування користувальницьких функціональних блоків: багатократно використовувані DFB, що полегшують читання і розробку прикладних програм
- Створення екранів періоду (мнемосхеми, текст, значення), які відображаються в залежності від стану процесу і полегшують експлуатацію і управління установки
- Діагностична "програма перегляду"

#### *Структура програм PL7 Pro*

Програма PL7 підтримує два типи структури:

- однозадачна: це спрощена структура, запропонована за замовчуванням, при якій виконується одна головна задача, що складається з головної програми з декількома сегментами і підпрограмами
- багатозадачна: ця структура краще підходить для високопродуктивних додатків реального часу, що включають головне завдання, швидке завдання і мають максимальний пріоритет завдання, ініційовані переривання. Головне і швидке завдання розбиті на сегменти (рис.5.7).



Рисунок 5.7 - Структури програма PL7

Завдання в програмі на PL7 складаються з декількох частин, званих сегментами. Кожен сегмент може програмуватися на мові, відповідній виконуваний обробці. Цей поділ на сегменти дозволяє створювати структуровані програми і полегшує генерацію або додавання програмних модулів.

Виклик підпрограм може здійснюватися з будь-якого сегменту завдання або з інших програм в межах одного завдання.

#### 5.4.1.5 Модуль зв'язку

Платформа Premium під'єднується до мережі Ethernet TCP / IP заводу за допомогою модуля TSX ETY 4103, відповідного моделі OSI: TCP / IP на Ethernet або 802.3

Модуль TSX ETY 4103 являє собою модуль одинарної шини, що влаштовується в слот шасі станції ПЛК Premium

На передній панелі моделі розташовується: індикаторний блок для відображення стану модуля, стандартний роз'єм по інтерфейсу 10 baseT / 100 baseTX (RJ45).

Конфігурація 10 baseT / 100baseTX дозволяє здійснити побудову мережі із зіркоподібною топологією і максимальною кількістю пристроїв в мережі, рівною 64. Довжина мережі 10 baseT не більше 1000 м (3100 м на оптоволоконному кабелі), 100baseTX не більше 412 м між 2 пристроями однієї області колізій. Кількість мережевих підключень не більше 1.

Модуль Ethernet TSX ETY 4103 має стандартні функції інтегрованого Web-сервера, такі як відображення шасі (діагностика ПЛК) та редактор даних (доступ до змінних і даних ПЛК)

У модулі є послуги зв'язку Transparent Factory:

- Сервіс сканування входів / виходів
- Сервіс глобальних даних
- Управління мережею
- Функція FDR

Також стандартні сервіси:

- Сервіс TCP / IP
- Сервіс X-Way

#### 5.4.1.6 Модулі аналогового вводу-виводу

Модулі аналогового вводу-виводу для ПЛК Premium оснащені:

- одним 25-контактним з'єднувачем SUB (TSX AEY 800, TSX ASY 800);
- або двома 25-контактними SUB-D (TSX AEV 1600).

Модулі можна встановлювати в будь-який слот на шасі TSX RKY, крім слотів, зарезервованих для модулів блоків живлення. Модулі аналогового вводу-виводу можна знімати при включеному живленні ПЛК.

Максимальна кількість аналогових каналів в конфігурації Premium залежить від використовуваного процесора.

На лицьовій панелі модулів аналогового вводу-виводу TSX AEY/ASY (рис.5.8) є:

- 1 Блок індикації та діагностики модуля.
- 2 З'єднувач для гвинтової клемної колодки
- 3 Поворотна опора з пристосуванням для розміщення колодки на модулі.
- 4 Знімний гвинтовий клемник TSX BLY 01 для прямого під'єднання датчиків і виконавчих пристроїв до входів - виходів.
5. Ключ, що запобігає неправильній установці
6. 25-контактний з'єднувач SUB-D для підключення датчиків.

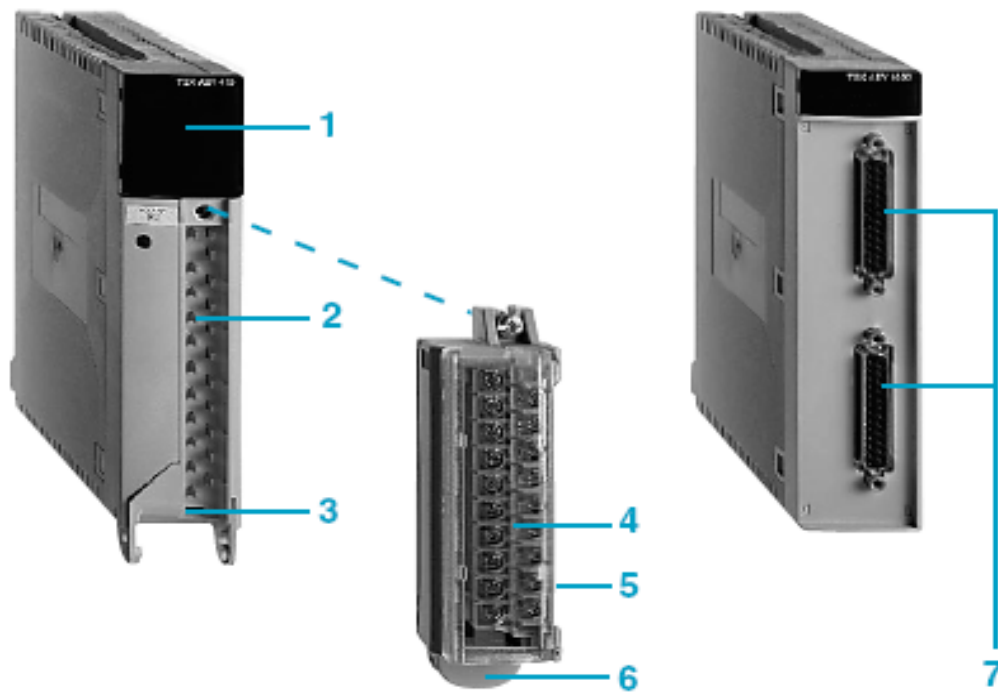


Рисунок 5.8 - Лицьова панель модулів TSX AEU/ASY

Система швидкого монтажу дозволяє спростити монтаж модулів, забезпечуючи доступ до входів або виходів на гвинтових клемах.

З'єднання виконується за допомогою екранованого кабелю TSX CAP 030 довжиною 3 метри зі з'єднувачами SUB-D на обох кінцях.

Колодка Telefasi ABE-7CPA02 (рис.5.9) забезпечує під'єднання 8 каналів.

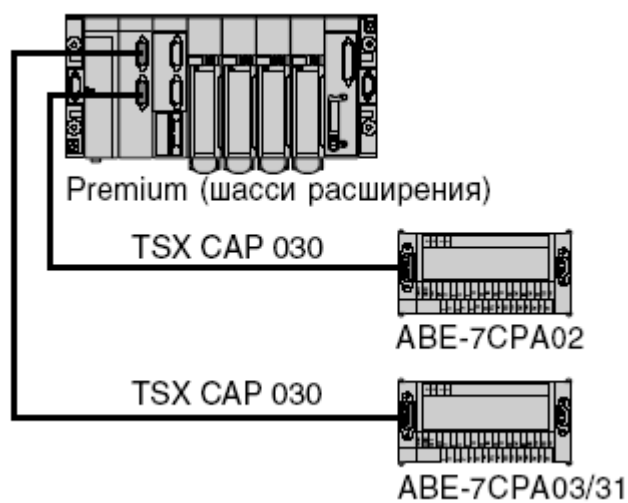


Рисунок 5.9 -Колодка Telefasi ABE-7CPA02 \ ABE7CPA03/31

Колодка Telefas I ABE7CPA03 / 31 забезпечує:

- поканальне живлення 24 В пост.струму для 2- і 4-провідних датчиків (колодка ABE7CPA03);
- провідність струмових кіл при демонтажі з'єднувача SUB-D;
- захист струмового шунта всередині модуля від перенапруги.

#### *Функції аналогових модулів*

Модулі аналогового вводу TSX AEY 800, TSX AEY 1600 є модулями аналогового введення високого рівня з 8 входами (модуль TSX AEY 800) і 16 входами (модуль TSX AEY 1600).

Разом з датчиками або перетворювачами модулі виконують функції контролю, вимірювання і управління в безперервних технологічних процесах.

Залежно від обраної конфігурації модулі TSX AEY 800/1600 забезпечують наступні діапазони по кожному з входів:  $\pm 10$  В, 0 -10 В, 0-5 В, 1 - 5 В, 0 - 20 мА, 4 -20мА.

Модулі аналогового вводу можуть виконувати такі функції:

- Сканування вхідних каналів, захист від перенапруги, адаптація сигналів аналоговою фільтрацією, сканування шляхом статичного мультиплексування.
- Адаптація по вхідним сигналам: вибір посилення, корекція дрейфу.
- Оцифровування сигналів: 12-бітове аналого-цифрове перетворення
- Перетворення вхідних вимірювань в призначений для користувача формат: коефіцієнт перекалібрування, фільтрація, масштабування.
- Моніторинг модуля: тест кіл перетворення, тест виходу за межі діапазону, тест наявності клемної колодки, сторожовий тест.

Таблиця 5.2 – Характеристика модулів аналогового вводу

Тип модуля вводу		TSX AEY 800	TSX AEY 1600
Кількість каналів		8	16
Діапазон вхідних сигналів		$\pm 10$ В, 0 -10 В, 0-5 В, 1 - 5 В, 0 - 20 мА, 4 -20мА	
Аналого-цифрове перетворення		12 біт	
Час зчитування	мс	27	51
Максимальна похибка	%FS	0.19	0.15
Загальний режим каналів		Відсутній	

Максимальна перенапруга або перевантаження на входах		$\pm 30$ В за напругою $\pm 30$ мА за струмом
--	--	--

*Модулі аналогового виведення TSX ASY 410, TSX ASY 800*

Модуль TSX ASY 800 має 8 виходів із загальною точкою.

Залежно від обраної конфігурації модулі забезпечують наступні діапазони по кожному виходу:  $\pm 10$  В, 0-20 мА і 4-20 мА без зовнішнього живлення.

Таблиця 5.3 – Характеристика модулів аналогового виводу

Тип модуля виводу		TSX ASY 410	TSX ASY 800
Кількість каналів		4	8
Діапазон вхідних сигналів		$\pm 10$ В, 0 - 20 мА, 4 -20мА, виходи з ПЛК	
Аналого-цифрове перетвор.		11 біт+знак	13 біт+знак
Час перетворення	мс	2,5	5
Максимальний дозвіл		Вольтовий вихід 5.12 мВ, струмовий вихід 10,25 мкА	Вольтовий вихід 1.28 мВ, струмовий вихід 2,56 мкА
Навантаження на виході		Вольтовий вихід. імпеданс $>1$ кОм, заряд $<0,1$ мкФ, струмовий вихід. імпеданс $<600$ Ом, заряд $< 5.12$ мкН	
Максимальна похибка	%FS	0.45 при 25°C	$\pm 0.14$ при 25°C
Тип захисту		Від к. з. і перевантаження	
Максимальна напруга без пошкодження	В	$\pm 30$	

### Функції

- Захист модуля від перенапруги.
- Адаптація до різних виконавчих пристроїв: вольтовий або струмовий вихідний сигнал.
- Перетворення цифрових сигналів в аналогові (13 бітів + знак).
- Перетворення даних додатка в дані, які використовуються цифро-аналоговим перетворювачем.

- Моніторинг модуля і індикація збою в додатку: тест перетворювача, тест виходу за межі.

Програма PL7 Pro служить для конфігурації і налагодження модулів.

#### 5.4.1.7 Модулі дискретних входів/виходів

1. Блок індикаторів каналів і діагностики модуля.

2. З'єднувачі HE 10, захищені кришкою. Ці з'єднувачі забезпечують підключення датчиків і виконавчих пристроїв до входів і виходів безпосередньо або за допомогою з'єднувальної колодки Телефаст 2.

*Призначення входів / виходів:* у функціональному плані кожен модуль поділяється на групи по 8 каналів. Кожну групу каналів можна задіяти під конкретну прикладну задачу.

*Скидання виходів:* вихід, що спрацював внаслідок збою, можна скинути за відсутності інших збоїв на клеммах даного виходу. Задані в конфігурації команди можуть подаватися автоматично або під управлінням програми. Скидання здійснюється групами по 8 каналів.

*Команда RUN / STOP:* вхід може конфігуруватися для управління режимами RUN / STOP ПЛК. Виявлення команди здійснюється по передньому фронту. Команда STOP на вході має більш високий пріоритет, ніж перемикання в режим RUN з терміналу або по команді з мережі.

*Аварійний режим виходів:* при переході додатку в режим STOP виходи можуть встановлюватися в режим, що не представляє небезпеки для програми. Цей режим, званий аварійним, задається для кожного модуля при конфігуруванні виходів.

Є такі опції конфігурації:

- аварійний режим: канали встановлюються в стан 0 або 1 залежно від зазначеного значення аварійного режиму,

- фіксація: виходи фіксують стан, в якому вони перебували до зупинки ПЛК.

*Діагностичні функції:*

*Діагностика модуля:* оповіщення про будь-якому збої обміну даними, що перешкоджає нормальному функціонуванню модуля виводу або модуля швидкого введення. Подібним чином здійснюється індикація всіх внутрішніх збоїв модуля.

*Діагностика техпроцесу:* контроль напруги датчиків і виконавчих пристроїв, контроль наявності клемної колодки, виявлення короткого замикання і перевантаження.

*Гаряче від'єднання:* завдяки інтегрованій конструкції модулів введення-виведення. Модулі дискретного вводу-виводу стандартної ширини в пластиковому корпусі, що забезпечує захист всіх електронних компонентів по класу IP 20.

## 6 ОПИС АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОЇ ВАРКИ

СТАДІЇ ВАРКИ ВА:



- 00 - порожній
- 10 – готовність
- 20 - вакуум
- 30 – набір
- 40 - згущення
- 50 - затравка та кристалоутворення
- 60 - зростання
- 70 - розгойдування
- 80 - уварювання
- 90 - розвантаження
- 100 - пропарювання

Алгоритм автоматичного варіння виконується при виборі режиму роботи АВТ перемикачем на місцевому щиті ВА та АВТ на екрані операторської станції на кадрі ВА. У режим АВТ також мають бути переведені керування подачею пари та керування роботою мішалки.

Вибір режиму РУЧ/АВТ для керування заслінкою подачі пари, а також для керування роботою мішалки здійснюється окремо з місцевого щита керування ВА.

Включати ВА у режим автоматичного варіння необхідно з початку варіння: Апарат пропарено. Усі клапани закриті, крім клапана скидання вакууму Кскв. Стадія варіння 0.

Порожній – стадія 00

Оператор на екрані операторської станції (кадр ВА) натискає кнопку СТАРТ. Перехід у стадію 10.

ГОТОВНІСТЬ (початок циклу) – стадія 10

Проходить команда на закриття всіх клапанів, зупинка мішалки, відкриття клапана скидання вакууму Кскв. Перевіряється готовність клапанів: всі клапани повинні бути закриті, крім клапана скидання вакууму Кскв.

Зауважень до системи автоматики немає.

Автоматична перевірка достатності сиропу для набору  $Lc-pa \geq 65\%$ .

При готовності клапанів та достатньому рівні сиропу у збірнику на екрані операторської станції індидується готовність апарату до набору, звукове повідомлення

«АПАРАТ № ГОТОВИЙ ДО НАБОРУ», на місцевому щиті ВА спалахує лампочка «ГОТОВНІСТЬ».

Оператор на місцевому щиті ВА натискає кнопку "Затравка підготовлена" (прим: ця кнопка на різних стадіях варіння виконує різні функції). Клапан скидання вакууму закривається. Відкривається малий вакуумний клапан КМВАК. Перехід у стадію 20.

Вакуум - стадія 20.

Після падіння розрідження в апараті до заданого значення  $-P_{BA} = -0,62 \text{ кг/см}^2$ , відкривається головний вакуумний клапан КВАК, регулятор переводиться в режим АВТ, завдання =  $-0,80 \text{ кг/см}^2$ .

При досягненні заданого розрідження  $P_{BA} = -0,68 \text{ кг/см}^2$ , малий вакуум клапан Кмвак закривається. Перевіряється стабільність витримування вакууму в апараті по  $P_{BA}$ . Якщо протягом 1 хв. розрідження не падає нижче  $-0,76 \text{ кг/см}^2$  і рівень сиропу у збірнику  $L_{c-па} \geq 65\%$ , відбувається перехід у стадію 30.

НАБІР – стадія 30.

Одночасно відкриваються клапани:  $K_{c-па}$  – подача сиропу та  $K_{пдк}$  – підкачування сиропу (у режимі РУЧ, вихід на клапан = 100%. Через 5 секунд відкривається клапан затравки (короткочасно – на 10 секунд) для автоматичної подачі ПАР у ВА.

При досягненні рівня  $L_{BA} = 5\%$  при підтвердженні запиту двигуна  $M_{380}$  і вибраному АВТ режимі роботи мішалки включається мішалка в режимі «ШВИДКО».

При досягненні рівня  $L_{BA} = 15\%$  включається в автоматичний режим контур стабілізації тиску пари на завданні  $P_{пар\_зад1}$  (див. графік варіння).

Автоматично підтверджується достатність сиропу  $L_{c-па}$  для набору. При рівні у збірнику сиропу  $< 5\%$  клапана  $K_{c-па}$  – подача сиропу та  $K_{пдк}$  – підкачування сиропу закриваються. При рівні у збірнику сиропу  $> 10\%$  клапана  $K_{c-па}$  – подача сиропу та  $K_{пдк}$  – підкачування сиропу відкриваються.

По досягненню рівня  $L_{BA} = 27\%$  клапан подачі сиропу  $K_{c-па}$  закривається, збільшується завдання пари на вакуум-апарат до значення  $P_{пар\_зад2}$ . Перехід у стадію 40.

ЗГУЩЕННЯ - стадія 40.

Переводиться в автоматичний режим утримання рівня (стабілізація)  $L_{BA} = 27\%$  за допомогою клапана підкачування  $K_{пдк}$ .

Тривалість стадії контролюється по електропровідності  $R_{BA}$  або в'язкості  $M_{BA}$ .

При досягненні значення RBA відповідної зони «Підготовка зерноутворення» виконуються дії:

- плавно зменшуються завдання по пару ВА до величини  $R_{пар\_зад3}$ ;
- припиняються підкачування сиропом (завдання регулятора  $K_{подк} = 0\%$ );
- оператору видається сигнал на місцевий щит та повідомлення "Закладіть затравку";

Мета – плавне наближення на момент затравки. Плавне наближення до точки зерноутворення забезпечить своєчасне введення центрів кристалізації.

Після заповнення затравкою ємності крана КЗТР помічник оператора натискає короткочасно кнопку підтвердження «Затравка закладена».

У момент доведення пересиченого розчину до заданого значення RBAзад автоматично короткочасно відкривається клапан затравка Кзтр. При цьому вводяться центри кристалізації, заздалегідь підготовлені у вигляді затравної пудри або суспензії. Перехід у стадію 50.

ЗАТРАВКА - стадія 50.

Перевіряється відкриття та закриття клапана введення затравки.

При досягненні значення RBA відповідній зоні «R першого підкачування», управління з контуру регулювання рівня передається контуру стабілізації електропровідності, і робиться перше підкачування (завдання регулятора  $K_{подк} = R$  затравки).

Запускається таймер (Час кристалоутворення). Після закінчення заданого в таблиці налаштування часу завдання регулятора встановлюється рівним R другої підкачки (див. таблицю налаштування ВА). Перехід до стадії 60.

ЗРОСТАННЯ - стадія 60. (Нарощування кристалів до заданих розмірів без утворення нових).

Завдання контуру підтримки пари  $R_{пар}$  плавно піднімається до заданого значення  $R_{пар\_зад4}$ .

Пересичення міжкристального розчину шляхом своєчасних підкачувань підтримується в межах 1,05-1,10, що запобігає утворенню нових кристалів і розчинення вже утворених.

Стадія виробляється у три етапи : Зростання1, Зростання 2, Зростання 3.

На етапі Зростання 1 процес ведеться за рівнем та електропровідністю за програмою.

На етапі Зростання 2 уварювання також проводиться за електропровідністю, але при досягненні в'язкістю заданої величини перемикання проводиться плавний перехід на управління в'язкості.

На етапі Зростання 3 уварювання утфелю проводиться за в'язкістю. При цьому визначається за командою оператора та за наявністю відтіків у збірнику характер ведення подальшого процесу – уварювання до готовності тільки на сиропі (перехід на стадію 80) або із застосуванням відтіків (перехід на стадію 70, забір паток до встановлених у налаштувальному кадрі рівнів ВА, перехід на стадію 80).

Перемикання програми за етапами проводиться за рівнем у вакуум апараті, необхідні завдання встановлюються в процесі технологічного налагодження системи.

Підкачування сиропу у вакуум-апарат виробляються безперервно або в пульсуючому режимі, а відтіків – у пульсуючому або дискретному режимах.

ВІДТІК – стадія 70. (подальше нарощування кристалів при підкачуванні зеленої та білої паток КЗП, КБП) За командою оператора стадія може ігноруватися і процес уварювання до готовності проводиться на сиропі. Перехід на стадію «Відтік» проводиться за заданим рівнем LBA. Підкачування відтіка здійснюється за в'язкістю та рівнем.

Стадія проводиться у дві етапи: Відтік 1 і Відтік 2.

На етапі Відтік1 підкачується біла патока клапаном Кпб після досягнення заданого рівня у вакуум-апараті або при значенні рівня у збірнику білої патоки Lбп нижче за мінімально заданий. Перехід на етап Відтік 2 здійснюється, якщо оператор дозволяє цей перехід.

На етапі Відтік 2 підкачується зелена патока клапаном КЗп за програмою, за наявності достатнього рівня Lзп. Після досягнення рівня ВА значення рівня закінчення зростання - перехід на стадію 80.

Необхідність підкачування зеленої патоки визначається змінним технологом за якістю цього відпливу.

УВАРЮВАННЯ - стадія 80..

Завдання тиску пари підвищується значення Rпар\_завд5.

Підкачування продуктів припиняється та проводиться уварювання по в'язкості до заданого значення готовності. Після досягнення в'язкістю значення готовності або за командою оператора видається сигнал «Готовність», закривається пара, клапан розрядження.

Система знаходиться в стані очікування команди оператора приступити до вивантаження, яке дається за допомогою кнопки ЗАТРАВКА на пульті керування. Перехід до стадії 90.

ВИВАНТАЖЕННЯ - стадія 90.

Закривається клапан подачі пари Кпар.

Встановлюється необхідне завдання підтримання вакууму в апараті (якщо потрібно керувати швидкістю скидання утфелю). Закривається вакуум КВАК.

Відкривається клапан скидання вакууму Ксбв та при досягненні вакууму в апараті значення мінус  $0,12 \text{ кг/см}^2$  – відкривається клапан вивантаження.

ПРОПАРЮВАННЯ - стадія 100.

По спорожненні апарату LBA відкривається клапан пропарювання Кпроп ВА, клапан пропарювання колектора та клапан введення затравки КЗТР.

Стадія проводиться за часом або досягнення заданої температури ТВА ( $104^\circ\text{C}$ ). Час пропарювання встановлюється при налагодженні системи.

КІНЕЦЬ ЦИКЛУ – перехід на стадію 00.

Паровий клапан пропарювання ВА Кпрп, клапан введення затравки, пропарювання колектора та вивантаження ВА закриваються. Відкритим залишається лише засувка скидання вакууму Ксбв. Апарат готовий до наступного циклу.

Протягом усіх стадій система повинна діагностувати відповідність положення дискретно керованої арматури керуючому впливу і крайні положення (відкрито-закрито) запірно-регулюючої арматури.

Положення дискретно керованої арматури та крайні положення запірно-регулюючої арматури аналізується станом кінцевих вимикачів.

Вищеописана послідовність операцій уварювання утфелю першої кристалізації у вакуум-апаратах періодичної дії є орієнтовною і має уточнюватися у процесі реальних варок.

У режимі дистанційного керування оператор веде процес варіння, а система автоматично фіксує її параметри.

За допомогою лабораторних аналізів оцінюються якісні та кількісні характеристики кожного варіння. За найкращими результатами приймається уточнена послідовність та технологічний алгоритм процесу. Графік процесу варіння показано на рис 6.1

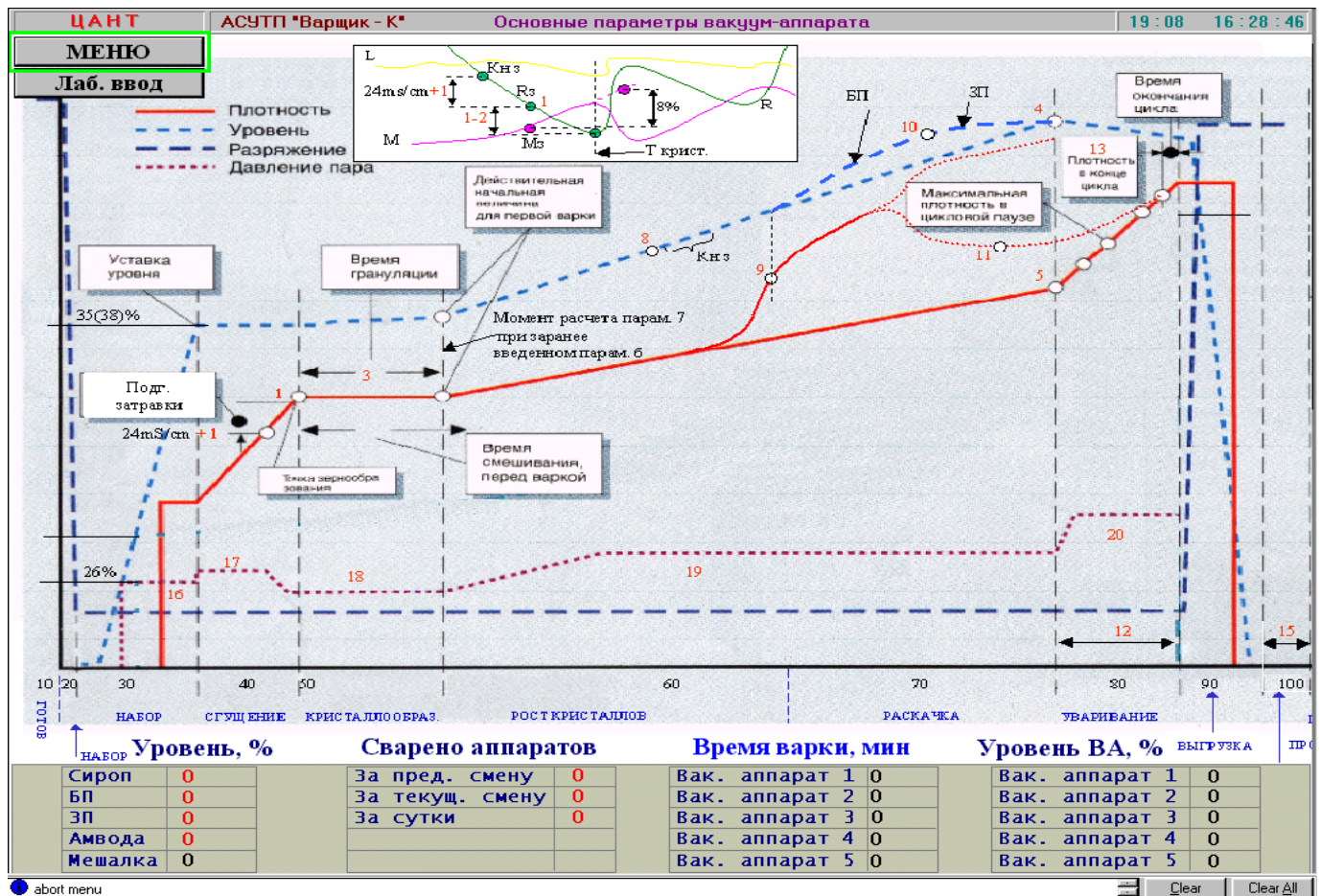


Рисунок 6.1 - График процессу варіння

## 7 СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Визначення оптимальних параметрів настройки ПД - регулятора проводимо по розширених амплітудно-фазових характеристиках.

Розширеною амплітудно-фазовою характеристикою ланки або системи називають відношення вектора гармонійних вимушених загасаючих коливань на вході до вектору гармонійних загасаючих коливань на виході.

Існують два показника ступеня загасання:  $\psi$  - відносна ступінь загасання;  $m$  - логарифмічний декремент загасання, які пов'язані між собою наступним співвідношенням:

$$\varphi = 1 - e^{-2\pi m}. \quad (7.1)$$

З попередньої формули (5.1) визначаємо значення логарифмічного декремента загасання  $m$ :

$$m = \frac{-\ln(1-\varphi)}{2\pi}. \quad (7.2)$$

Система автоматичного управління буде мати необхідну відносну ступінь загасання, якщо розширена амплітудно-фазова характеристика розімкнутої системи автоматичного управління буде проходити через точку на комплексній площині  $(-1, j0)$ , тобто

$$W_p(m, j\omega) * W_o(m, j\omega) = -1, \quad (7.3)$$

або

$$-W_p(m, j\omega) = 1 / W_o(m, j\omega). \quad (7.4)$$

Для отримання розширеної амплітудно-фазової характеристики необхідно в передавальну функцію підставити:

$$p = -m\omega + j\omega = \omega(j-m).$$

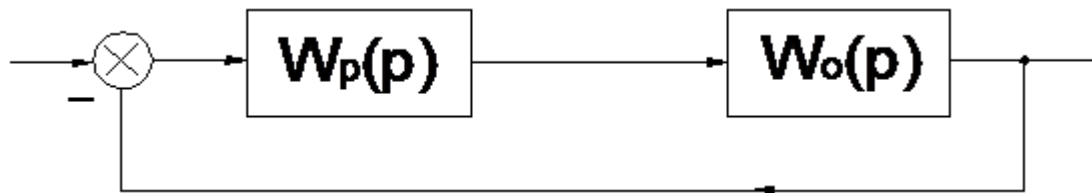


Рисунок 7.1- Структура схеми неперервної САУ

Передавальна функція нашого вихідного об'єкта має наступний вигляд:

$$W_0(p) = \frac{T_5 p^2 + T_4 p + k_0}{T_3 p^3 + T_2 p^2 + T_1 p + 1}, \quad (7.5)$$

$$W_0(p) = \frac{0.86p^2 + 6.9p + 3.1}{60p^3 + 47p^2 + 12p + 1}$$

$$\frac{1}{W_0(m, jw)} = W_0^*(m, jw) = Re^*(m, w) + jIm^*(m, w), \quad (7.6)$$

Формула (7.6) являє собою інверсну розширену амплітудно - фазову характеристику об'єкта.

Оскільки задане значення  $\psi = 0.96$ , то за формулою (7.2) визначимо значення  $m$  і підставимо його в попередню формулу розширеної амплітудно-фазової характеристики,  $m = 0.512$ .

Перед тим, як визначити оптимальні параметри налаштування ПІД регулятора, знайдемо частоту зрізу нашого об'єкта.

Частота зрізу - це таке значення частоти  $w = w_c$ , при якому значення амплітуди на виході не перевищувало б трьох відсотків від амплітуди при нульовій частоті.

Запишемо вираз амплітудно - фазової характеристики нашого об'єкта:

$$W_0(j, w) = \frac{0.86(jw)^2 + 6.9(jw) + 3.1}{60(jw)^3 + 47(jw)^2 + 12(jw) + 1}. \quad (7.7)$$

Амплітудно-фазову характеристику об'єкта можна знайти з наступної формули:

$$|W_0(jw)| = \sqrt{Re^2(w) + Im^2(w)}, \quad (7.8)$$



де  $\text{Re}(w)$  - дійсна частина амплітудно-фазової характеристики;

$\text{Im}(w)$  - уявна частина амплітудно-фазової характеристики.

$$|W_0(jw)| = \frac{\sqrt{0.739w^4 + 42.278w^2 + 9.61}}{\sqrt{3600w^6 + 769w^4 + 50w^2 + 1}}.$$

При нульовій частоті значення амплітуди дорівнює 3.1. Значить необхідно знайти таке  $w = w_c$ , щоб  $|W_0(jw)| = 0.03 * 3.1 = 0.093$ .

Таким чином необхідно розрахувати рівняння

$$\frac{\sqrt{0.739w^4 + 42.278w^2 + 9.61}}{\sqrt{3600w^6 + 769w^4 + 50w^2 + 1}} - 0.093 = 0, \quad (7.9)$$

Розв'язком цього рівняння є наступні значення  $w = 0.417$ , отже й  $w_c = 0.417$ .

Для визначення оптимальних параметрів регулятора необхідно розв'язати рівняння (7.6). Прирівнявши рехові і уявні частини в рівнянні (7.6), можна отримати розрахункові формули для визначення параметрів ПД регулятора:

$$\begin{aligned} C_0 &= w(m^2 + 1)[\text{Im}^*(m, w) + C_2 w], \\ C_1 &= m\text{Im}^*(m, w) - \text{Re}^*(m, w) + 2mwC_2. \end{aligned}$$

де  $C_0 = 1/T_w$ ;  $C_1 = K_p$ ;  $C_2 = T_g$ .

Для ПД - регулятора маємо два рівняння з трьома невідомими, тоді задаємося відношенням:

$$\frac{T_\epsilon}{T_n} = \alpha(0 - 0.2),$$

У цьому випадку розрахунок формули для ПД - регулятора приймає наступний вигляд:

$$C_0 = 0.5[a \cdot \text{Im}^*(m, w) + \sqrt{a^2 \text{Im}^{*2}(m, w) + 4aw\alpha}]$$

$$C_1 = m\text{Im}^*(m, w) - \text{Re}^*(m, w) + \frac{2mwa\alpha}{C_0}$$

де  $a = w(m^2 + 1)$ ;

$$Re^*(m, w) = \frac{82.277w^5 - 535.649w^4 + 356.977w^3 - 148.48w^2 + 30.3w}{1.179w^4 - 7.68w^3 + 56.189w^2 - 21.928w + 9.61};$$

$$Jm^*(m, w) = \frac{-42.11w^5 - 321.106w^4 + 44.29w^3 - 3.487w^2 - 22.65w + 3.1}{1.179w^4 - 7.68w^3 + 56.189w^2 - 21.928w + 9.61}.$$

Розраховуємо оптимальні параметри налаштування для ПД - регулятора:

$$\{C_0 = 0.5(w(1.268)Jm^*(m, w) + \sqrt{w^2(1.268)^2 Jm^*(m, w) + 0.4w(1.268)}) C_1 = 0.512Jm^*(m, w) - \dots\} \quad (7.10)$$

Для кожного значення частоти від 0 до частоти зрізу знаходимо точки  $C_1C_0$  і  $C_1$ , що відповідають необхідному ступеню коливальності  $m = 0.512$ , вирішивши систему (7.10). Дані розрахунків представлені в таблиці 7.1. За цими даним побудуємо графік залежності  $C_1C_0 = f(C_1)$ .

Таблиця 7.1 - Дані для розрахунку оптимальних параметрів налаштувань ПД - регулятора

w	$C_0$	$C_1$	$C_1C_0$
0	0	-0.323	0
0.1	0.12	0.097	0.012
0.2	0.2	0.485	0.097
0.3	0.226	0.913	0.207
0.4	0.184	1.447	0.266
0.417	0.172	1.556	0.268
0.5	0.113	2.206	0.25

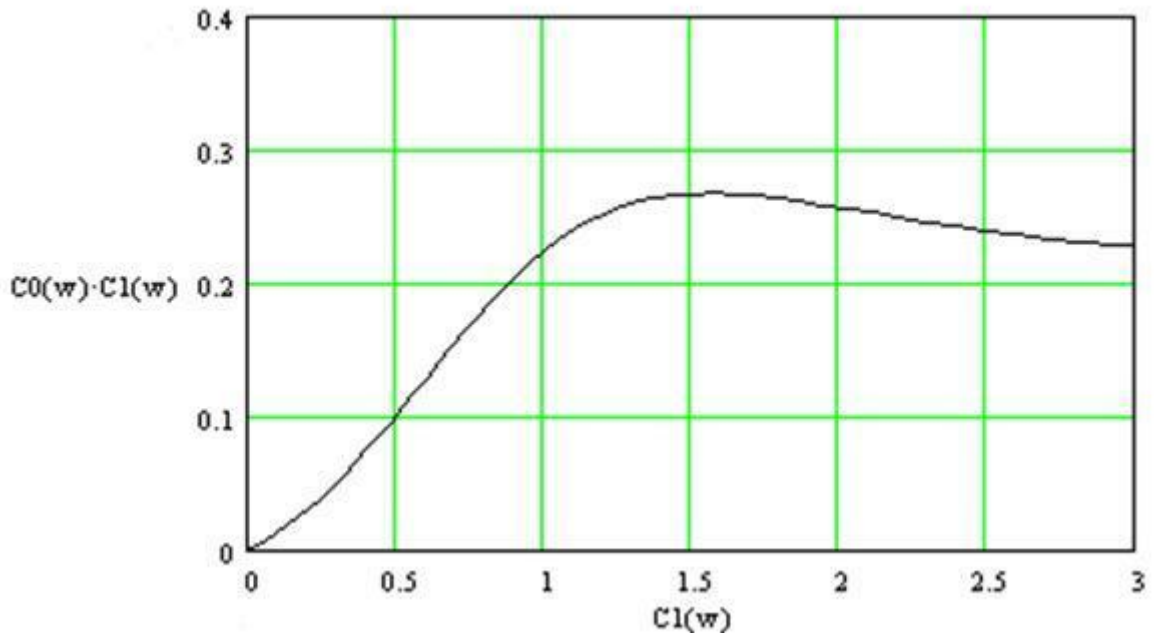


Рисунок 7.2. - Графік залежності  $C_1 C_0 = f(C_1)$

Потрібно взяти точку, що лежить праворуч від глобального максимуму. Максимальне значення  $C_1 C_0 = 0.268$ , при  $C_1 = 1.576$ . Беремо точку  $C_1 C_0 = 0.2592$  при  $C_1 = 1.9456$ . За цим значенням визначимо оптимальні параметри регулятора:

$$C_1 = K_p = 1.9456; C_0 = \frac{1}{T_n} = 0.1332; T_n = 7.506, \frac{T_\varepsilon}{T_n} = 0.13, T_\varepsilon = 0.976$$

Таким чином оптимальні параметри налаштування для ПД - регулятора:  
 $T_n^{\text{опт}} = 7.506, T_\varepsilon^{\text{опт}} = 0.976, K_p^{\text{опт}} = 1.9456$

Перехідна функція для замкнутої системи з ПД - регулятором матиме наступний вигляд:

$$h(t) = 1 - 0.2927e^{-0.404t} * \cos(0.1157t) - 0.032e^{-0.404t} * \sin(0.1157t) - \\ - 0.6934e^{-0.038t} * \cos(0.1918t) - 0.2055e^{-0.038t} * \sin(0.1918t).$$

Побудуємо перехідний процес функції, зобразимо графік цього процесу на рисунку 7.3.

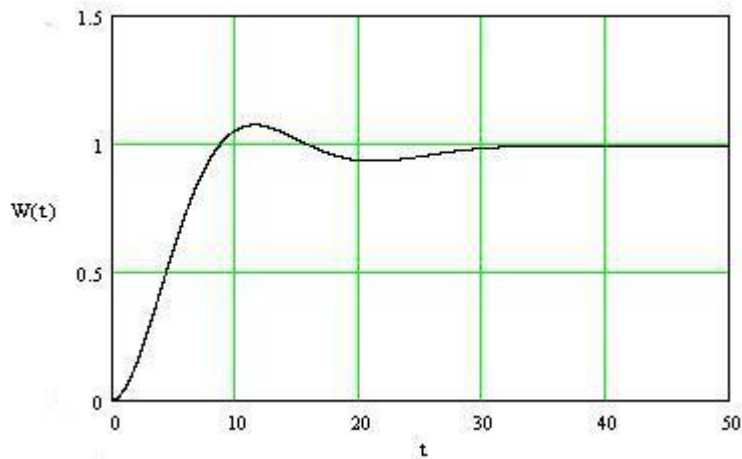


Рисунок 7.3. - Перехідний процес в замкнутій системі з ПІД – регулятором

Необхідно з'ясувати відповідність коефіцієнтів невизначеного і цифрового регуляторів. Для вибору періоду вимірювань цифрового регулятора будемо амплітудно - частотну характеристику замкнутої системи і визначаємо частоту зрізу, при якій значення амплітуди на виході не перевищує три відсотки від амплітуди при нульовому значенні частоти.

Для цього візьмемо передавальні функції замкнутої системи ПІД регулятора, які були знайдені вище.

Передавальна функція замкнутої системи з ПІД - регулятором:

$$W_3(p) = \frac{0.839p^4 + 6.957p^3 + 4.928w^2 + 1.722p + 0.413}{60839p^4 + 53.9573p^3 + 16.92w^2 + 2.722p + 0.413}$$

Вираз амплітудно - частотної характеристики для системи з ПІД - регулятором матиме наступний вигляд:

$$|W_3(jw)| = \frac{\sqrt{(0.839w^4 - 4.928w^2 + 0.413)^2 + (-6.957w^3 + 1.722w)^2}}{\sqrt{(-60.839w^4 - 16.928w^2 + 4.13)^2 + (-53.957w^3 + 2.722w)^2}}$$

Оскільки частота зрізу дорівнює трьом відсоткам від нульового значення, то необхідно розв'язати рівняння наступного виду:

$$|W_3(jw)| - |W_3(0)| = 0.$$

При розв'язку рівнянь було отримано: частота зрізу системи має в своєму складі ПД - регулятор  $w_c = 3.8194$ .

Частоту вимірів приймають як:  $T_0 = \frac{0.5 \cdot 3.14}{w_c}$ , де  $w_c = 3.8194$  (найбільше значення), при якому період квантування дорівнює  $T_0 = 0.411$ .

Оскільки отримане значення менше заданого, то зробимо перерахунок параметрів.

У загальному вигляді дискретну передавальну функцію шуканого елемента можна записати в такий спосіб:

$$W_p(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + \dots + q_n z^{-n}}{p_0 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + \dots + p_n z^{-n}}. \quad (7.11)$$

У нашому випадку вираз (7.9) набуде вигляду:

$$W_p(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}. \quad (7.12)$$

З урахуванням цих виразів необхідно перерахувати параметри неперервних регуляторів в параметри цифрових.

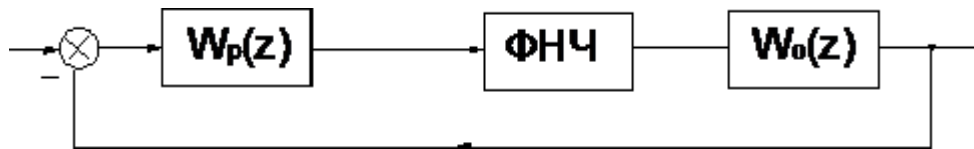
Запишемо передавальні функції ПД регулятора:

$$W_p(p) = 1.9456 + \frac{1}{7.506p} + 0.976p. \quad (7.13)$$

Після обчислення коефіцієнтів  $q_0$ ,  $q_1$  і  $q_2$  дискретні передавальні функції матимуть вид:

$$W_p(z) = \frac{4.32 - 6.64z^{-1} + 2.379z^{-2}}{1 - z^{-1}}. \quad (7.14)$$

При аналізі цифрових систем управління їх представляють у вигляді трьох елементів: цифрового фільтра (регулятора), фіксатора і приведені неперервної частини, де  $y$  - дискретне значення регульованої величини;  $f$  - задане значення регульованої величини;  $e$  - помилка управління;  $u$  - керуючий вплив.



Оскільки в системі має місце фіксатор нульового порядку з передавальної функцією виду:

$$K_{\phi}(p) = \frac{1}{p} (1 - e^{-pT}), \quad (7.15)$$

то з урахуванням того, що  $z = e^{-pT}$ , цю функцію можна записати в наступному вигляді:

$$K_{\phi} = \frac{z-1}{zp}. \quad (7.16)$$

Співмножник  $1/p$  відносять до лінійної частини, тому передатна функція приведеної неперервної частини може бути записана в наступному вигляді:

$$W_{\text{н.ч.}}(p) = \frac{1}{p} W_0(p) (1 - e^{-pT}). \quad (7.17)$$

Оскільки  $L^{-1}\left[\frac{W_0(p)}{p}\right] = h(t)$  – перехідна функція лінійної частини системи, то  $z$ -передатну функцію лінійної частини знаходимо за наступним виразом:

$$W_{\text{н.ч.}} = \frac{z-1}{z} z\{h(n)\}. \quad (7.18)$$

Знайдемо вираз для передавальної функції лінійної частини:

$$h(t) = \left[ \frac{0.86p^2 + 6.9p + 3.1}{60p^3 + 47p^2 + 12p + 1} \cdot \frac{1}{p} \right]. \quad (7.19)$$

Для обчислення  $h(t)$  скористаємося методом невизначених коефіцієнтів. Необхідно визначити полюси. Для цього необхідно знайти корені наступного рівняння:

$$(60p^3 + 47p^2 + 12p + 1) * p = 0.$$

Розв'язавши дане рівняння, отримали його корені:  $p_1 = 0$ ;  $p_2 = -0,2$ ;  $p_3 = -0,33$ ;  $p_4 = -0,25$ .

Перехідна функція лінійної частини має наступний вигляд:

$$h(t) = -21,93e^{-0,2t} - 4,03e^{-0,33t} + 22,86e^{-0,25t} + 3,1. \quad (7.20)$$

З урахуванням формули (7.18) отримуємо

$$W_{\text{н.ч.}}(z) = \frac{z-1}{z} \left( \frac{3,1z}{z-1} - \frac{21,93z}{z-e^{-0,0822}} + \frac{22,86z}{z-e^{-0,102}} - \frac{4,03z}{z-e^{-0,1356}} \right).$$

Після розкриття дужок і приведення подібних отримуємо рівність в наступному вигляді:

$$W_{\text{н.ч.}}(z) = \frac{0,0247z^2 - 0,0284z + 0,0066}{z^3 - 2,776z^2 + 2,564z - 0,788}. \quad (7.21)$$

Результуюча передавальна функція розімкнутої системи може бути визначена як добуток передавальної функції приведеної неперервної частини і передавальної функції цифрового фільтра:

$$W(z) = W_{\text{н.ч.}}(p) W_p(p). \quad (7.22)$$

Дискретна передавальна функція замкнутої системи:

$$W_3(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)}. \quad (7.23)$$

Визначимо значення  $W_3(z)$ :

$$W_3(z) = \frac{4,32 - 6,64z^{-1} + 2,379z^{-2}}{1 - z^{-1}},$$

$W_{\text{н.ч.}}(z)$  - визначена за формулою (7.21), тоді:

$$W_3(z) = \frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.115}. \quad (7.24)$$

Після того, як отримаємо вираз дискретних передавальних функцій для всіх систем, проаналізуємо стійкість цих систем за критерієм Джурі.

Критерій стійкості полягає в наступному. Нехай заданий  $A(z)$  - характеристичний поліном:

$$A(z) = a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n, \quad a_0 > 0.$$

Введемо поняття зворотного полінома, одержуваного перестановкою коефіцієнтів вихідного у зворотному порядку:

$$A(z) = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_0.$$

Розділимо  $A(z)$  на зворотний до нього. У підсумку отримуємо частку від ділення число  $q_0$  і залишок  $A_1(z)$  - поліном  $n-1$  ступеня.

Помножимо отриманий результат на  $z^{-1}$ , отримуємо:

$$A_1(z) = (a_0 - a_n q_0) z^{n-1} + \dots + (a_{n-1} - a_1 q_0).$$

Потім ділимо залишок  $A_1(z)$  на зворотний йому  $A_{10}(z)$  і визначаємо нове значення  $q_1$  і  $A_2(z)$

$$\frac{A_1(z)}{A_{10}(z)} = q_1 \frac{A_2(z)}{A_{10}(z)} \quad \text{і т.д.}$$

Виконуючи ділення поліномів  $A_i(z)$  на зворотні йому  $A_{i0}(z)$ , отримуємо послідовність чисел  $q_i = \{q_0, q_1, q_2, \dots, q_{n-2}\}$ .

Необхідною і достатньою умовою стійкості цифрової системи є нерівності:

$$\begin{aligned} A(1) &= (a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_n) > 0; \\ (-1)^n A(-1) &= (a_0 (-1)^n + a_1 (-1)^{n-1} + \dots + a_n) > 0; \\ |q_i| &< 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-2. \end{aligned}$$



Використовуючи вище викладене, визначимо стійкість системи з ПД - регулятором.

Характеристичний поліном має наступний вигляд.

Ступінь полінома  $n = 5$ . Множина  $q_i = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$ .

$$A(1) = 1 - 3,669 + 5,0537 - 3,0764 + 0,6764 + 0,01589 > 0.$$

$$(-1) 5A(-1) = - (1 - 3,669 + 5,0537 - 3,0764 + 0,6764 + 0,01589) > 0.$$

$$A(z) = z^5 - 3,669z^4 + 5,0537z^3 - 3,0764z^2 + 0,6764z + 0,01589.$$

Зворотний поліном:

$$A_s(z) = 1 - 3,669z + 5,0537z^2 - 3,0764z^3 + 0,6764z^4 + 0,01589z^5.$$

Розділимо  $A(z)$  на  $A_0(z)$ .

$z^5 - 3,669z^4 + 5,0537z^3 - 3,0764z^2 + 0,6764z + 0,01589$	$1 - 3,669z + 5,0537z^2 - 3,0764z^3 + 0,6764z^4 + 0,01589z^5$
$0,0002z^5 - 0,01z^4 + 0,0488z^3 - 0,0803z^2 + 0,0583z + 0,01589$	$89z^5$
	$0,01589163 = q_0,  q_0  < 1$

$$0,7347z - 3,1644z^2 + 5,102835z^3 - 3,6802818z^4 + 0,999747z^5$$

Помножимо отриманий результат на  $z^{-1}$ , тоді:

$$A_1(z) = 0,7347 - 3,1644z + 5,102835z^2 - 3,6802818z^3 + 0,999747z^4,$$

$$A_{10}(z) = 0,99974 - 3,680218z + 5,1028z^2 - 3,1644z^3 + 0,7347z^4.$$

Розділимо  $A_1(z)$  на  $A_{10}(z)$ .

$0,7347 - 3,1644z + 5,102835z^2 - 3,6802818z^3 + 0,999747z^4$	$0,7347 - 3,1644z + 5,102835z^2 - 3,6802818z^3 + 0,999747z^4$
$-(0,7347 - 2,704z + 3,750z^2 - 2,3256z^3 + 0,53999z^4)$	$818z^3 + 0,999747z^4$
	$0,734938361 = q_1,  q_1  < 1$

$$-0,4596z + 1,3255z^2 - 1,3545z^3 + 0,4597z^4$$

Помножимо отриманий результат на  $z^{-1}$ , тоді:

$$A_2(z) = -0,4596 + 1,3255z - 1,3545z^2 + 0,4597z^3,$$

$$A_{20}(z) = -0,4597 + 1,3545z - 1,3255z^2 + 0,4596z^3.$$

Розділимо  $A_2(z)$  на  $A_{20}(z)$ .

$-0,4596 + 1,3255z - 1,3545z^2 + 0,4597z^3$	$-0,4597 + 1,3545z - 1,3255z^2 + 0,4596z^3$
$-0,4596 - 1,3244z + 1,3525z^2 + 0,4595z^3$	$-0,99986442 = q_2,  q_2  < 1$
$-0,0288981z - 0,02926z^2 + 0,91927z^3$	

Помножимо отриманий результат на  $z^{-1}$ , тоді:

$$A_3(z) = -0,0288981 - 0,02926z + 0,91927z^2,$$

$$A_{30}(z) = 0,91927 - 0,02926z - 0,02889881z^2.$$

Розділимо  $A_3(z)$  на  $A_{30}(z)$ .

$-0,0288981 - 0,02926z + 0,91927z^2$	$0,91927 - 0,02926z - 0,02889881z^2$
$0,0288981 - 0,0009198z + 0,028898z^2$	$0,0314359 = q_2,  q_2  < 1$
$-0,0305301z + 1,028762z^2$	

Помножимо отриманий результат на  $z^{-1}$ , тоді:

$$A_4(z) = -0,0305301 + 1,028762z.$$

В результаті розрахунків отримали, що  $q_0, q_1, q_2$  по модулю менше одиниці, таким чином, всі три нерівності виконуються. Отже, цифрова система стійка. Після того, як визначили стійкість системи за критерієм Джурі, необхідно побудувати перехідні процеси в замкнутих цифрових системах.

Для побудови перехідних процесів в замкнутах цифрових системах скористаємося зворотним z-перетворенням.

Якщо функція має m-полюсів  $z_k = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ , то:

$$f[n] = \sum_{i=1}^n \frac{A(z_k)}{B'(z_k)}, \quad (7.25)$$

де  $A(z_k)$  - чисельник функції  $W_3(z)$ ;  $B'(z_k)$  - похідна знаменника функції  $W_3(z)$ .

Замкнута система з ПД - регулятором.

Передавальна функція для цифрової замкнутої системи з ПД - регулятором має вигляд:

$$W_3(z) = \frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.115}.$$

Перехідна функція замкнутої системи дорівнює:

$$f[n] = Z^{-1} \left[ \frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.115} \cdot \frac{z}{z-1} \right].$$

Для обчислення  $f[n]$  знайдемо полюси функції

$$\frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.115} \cdot \frac{z}{z-1}.$$

Полюси функції:  $z_1 = 1$ ;  $z_2 = -0,021$ ;  $z_3 = 0,84$ ;  $z_4 = 0,935 - j0,171$ ;  $z_5 = 0,935 + j0,171$ ;  $z_6 = 0,98$ .

Похідна знаменника функції:

$$B'(z) = 6z^5 - 23.347z^4 + 34.893z^3 - 24.39z^2 + 7.505z - 0.660$$

Підставимо значення полюсів функції і значення похідної в формулу (7.25), отримаємо вираз для  $f[n]$ :

$$f(n) = \frac{0.1066a^5 - 0.2871a^4 + 0.27679a^3 - 0.112a^2 + 0.015a}{6a^5 - 23.347a^4 + 34.89a^3 - 24.39a^2 + 7.5057a - 0.66} \cdot a^{n-1} + \frac{0.1066b^5 - 0.2871b^4 + 0.27679b^3 - 0.112b^2 + 0.015b}{6b^5 - 23.347b^4 + 34.89b^3 - 24.39b^2 + 7.5057b - 0.66} \cdot b^{n-1}$$

де  $a = z_1$ ;  $b = z_2$ ;  $c = z_3$ ;  $d = z_4$ ;  $e = z_5$ ;  $f = z_6$ .

Представимо перехідний процес на рисунку 7.4.

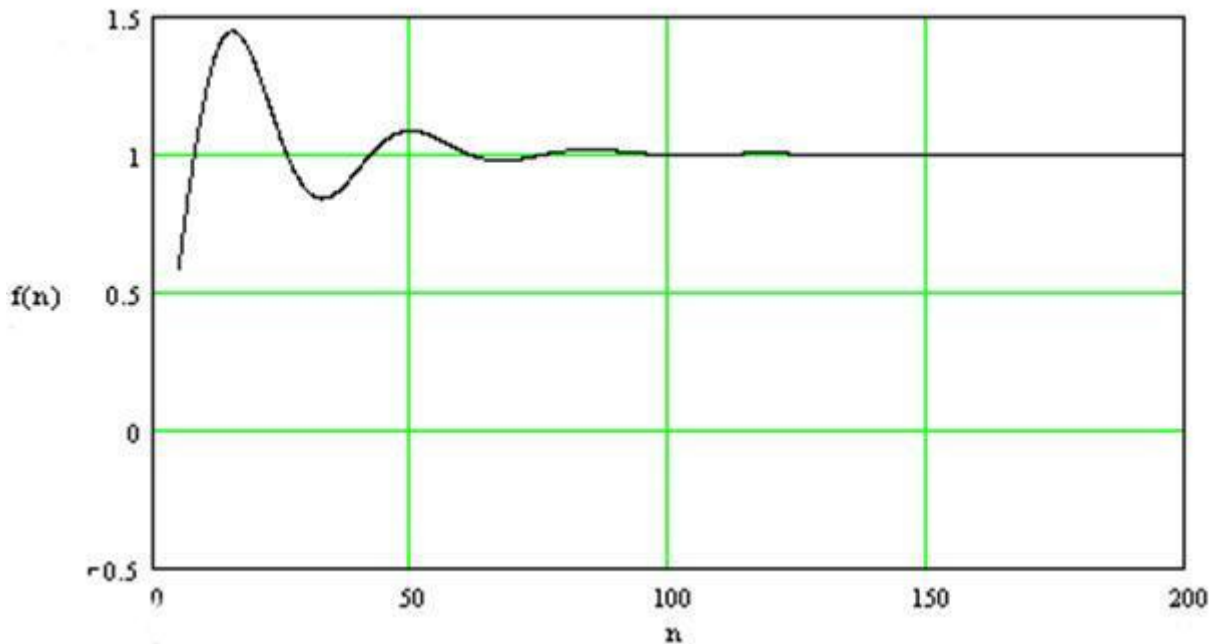


Рисунок 7.4 - Перехідний процес в системі з ПД – регулятором

Таким чином, було виконано синтез та аналіз оптимальної одноконтурної САУ при використанні ПД - закону регулювання. Доведено, що з усіх типів регуляторів ПД - закон регулювання є найкращим для систем комп'ютерної автоматизації цукрових виробництв. Крім того, були проведені розрахунки по використанню ПД регулятора в цифрових системах. Як показали розрахунки, незважаючи на те, що цифрові системи - це системи дискретної дії і діють через певні проміжки часу, перехідні процеси в цифрових системах не дуже відрізняються від перехідних процесів в безперервних системах, а кінцевий стан вихідної величини однаковий.

## 8 АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕЧНИХ І ШКІДЛИВИХ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ ЦУКРОВО-ПІСОЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Охорона праці - це система законодавчих актів і норм, спрямованих на забезпечення безпеки праці та відповідних їм соціально-економічних, організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів. Завдання охорони праці - звести до мінімуму ймовірність ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпек і шкідливостей.

Умови праці - це сукупність факторів виробничого середовища, які впливають на здоров'я і працездатність людини в процесі праці (ГОСТ 12.0.002-80). Ці фактори поділяються на небезпечні і шкідливі. Вплив перших на працюючих в певних умовах призводять до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я, а друге – до захворювання або зниження працездатності.

Фактори розрізняються не тільки кінцевими, несприятливими для людини результатами, які залежать від рівня виробничого фактора, але і тривалістю впливу. Для небезпечного фактора характерний миттєвий, а для шкідливого - тривалий вплив. Однак в ряді випадків несприятливі наслідки, викликані короткочасним (протягом зміни) впливом шкідливого чинника, розглядаються поряд з травмами; розслідуються і враховуються як нещасні випадки на виробництві. До них відносяться гострі отруєння, теплові удари, обмороження, а також ураження блискавкою на виробництві.

Вплив на людину шкідливого фактора протягом зміни може побічно призвести до травми. Наприклад, монотонна праця через повторюваності одноманітних операцій супроводжується швидко наступаючою втомою, що призводить до зниження працездатності і притуплення уваги. Останнє може в травмонебезпечній ситуації

привести до несвоєчасно прийнятого правильного чи до прийняття неправильного рішення і закінчитися травмою.

За природою дії небезпечні і шкідливі фактори поділяються (рис.8.1) на фізичні А, хімічні Б, біологічні В і психофізіологічні Г.

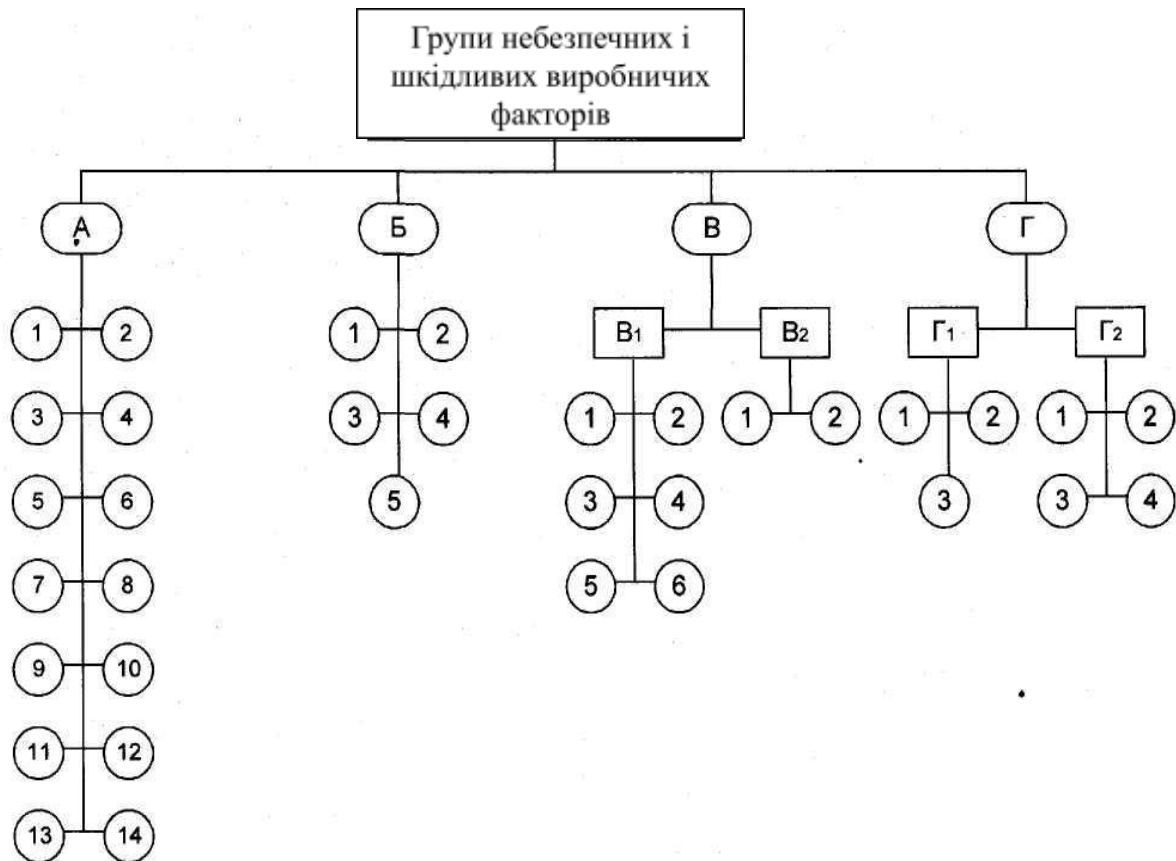


Рисунок 8.1 - Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів за природою дії

*Фізичні фактори.* Рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи обладнання, вироби, що пересуваються, заготовки та матеріали (1); підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів, повітря робочої зони (2); вологість і рухливість повітря (3); небезпечний рівень напруги в електричному колі (4); підвищений рівень шуму, вібрації, інфра-та ультразвуку (5); відсутність або нестача природного світла, недостатня освітленість робочої зони, підвищена яскравість світла, знижена контрастність, пряма і відбита блискість, підвищена пульсація світлового потоку (6); гострі кромки, задирки і шорсткості на поверхні обладнання, інструменту, заготовок (7); розташування робочих місць на значній висоті від підлоги, землі (8); підвищений

рівень ультрафіолетової та інфрачервоної радіації (9); електромагнітних випромінювань, статичної електрики (10); підвищена напруженість електричного і магнітних полів (11); підвищена або знижена іонізація повітря (12); підвищений рівень іонізуючих (радіоактивних) випромінювань у робочій зоні (13); підвищений або знижений барометричний тиск у робочій зоні і його різка зміна (14).

Для цукрових виробництв найбільш характерні небезпечні і шкідливі фактори, зазначені в пп. 1-12. Наприклад, на цукрових заводах та інших виробництвах у багатьох випадках температура зовнішніх поверхонь обладнання перевищує допустиму за санітарними нормами (45°C), а температура газовідвідних боровів і труб через відсутність теплоізоляції 55-245°C. У приміщення багатьох підприємств виділяється пара через незадовільну роботу паро-зволожувальних камер і разстійних шаф.

У холодний період року в топкових відділеннях, складах і експедиціях поряд зі зниженими температурами спостерігається рух повітря зі швидкістю, що перевищує нормативні значення 0,2-0,4 м/с і досягає 0,7-1 м/с. Особливо несприятливі умови виникають в експедиціях при сильних морозах, так як знижена температура повітря і протяги призводять до загострення радикулітів, простудних та інших захворювань.

На всіх зазначених виробництвах серйозну загрозу представляють ураження електричним струмом, накопичення статичної напруги, а також прояви інших з перерахованих небезпечних і шкідливих факторів.

*Хімічні фактори.* Речовини, які проникають в організм людини через дихальні шляхи, шкіру або травну систему, які можуть чинити загальнотоксичний (1), подразнюючий слизові оболонки носа, порожнини рота і очей (2), сенсibiliзуючий, алергічний, тобто такий, що різко змінює реактивність організму (3) і мутагенний (спадкові зміни) вплив (4), а також впливати на репродуктивну (відтворення) функцію (5) людини.

На цукровому виробництві фактори цієї групи мають досить широке поширення, адже при веденні технологічного процесу застосовуються різні хімічні речовини, тому можливі виділення сірчастого газу, оксидів азоту, оксиду і діоксиду вуглецю ін.), а також у вигляді вихідних первинних або кінцевих продуктів (кислоти, луи, і ін.) або допоміжних матеріалів, використовуваних при дезінфекції, миття вихідного продукту або ємностей технологічного обладнання (кислоти, луи, хлорне вапно і ін.). Наприклад: соляна кислота

(промивка трубок вакуум-апаратів і випарки від нагару), формалін (подається в дифузіїю для знищення мікроорганізмів).

*Біологічні фактори.* Вони підрозділяються на патогенні (хвороботворні) мікроорганізми В1 і макроорганізми В2. Перші можуть проникати в організм людини у вигляді бактерій (1), вірусів (2), рикетсій - бактеріоподібних нерухомих мікроорганізмів, що викликають специфічні інфекційні захворювання (3), спірохет - мікроорганізмів спіральної-звивистої форми, що викликають гострі інфекційні захворювання (4), грибів (5) і найпростіших (6). Мікроорганізми поділяються на організми рослинного (1) і тваринного походження (2). Ці фактори можуть зустрічатися на цукрових виробництвах і можуть стати причиною захворювання працюючих, зокрема, при зіткненні з вихідною сировиною (прибирання гідротранспортера, чистка вручну обладнання, забрудненого продуктами технологічного процесу)

*Психофізіологічні чинники.* Вони поділяються на фізичні П і нервово-психічні перевантаження Г2. Перші включають статичні (1), динамічні (2) навантаження, гіподинамію - обмеження рухової активності (3). М'язові статичні навантаження надзвичайно несприятливо впливають на працездатність і здоров'я людини. Вони визначаються величиною необхідного зусилля при статичному навантаженні і часом перебування у вимушеній позі при виконанні трудової операції. Ці навантаження поділяються на легкі (якщо людина при виконанні роботи знаходиться у вільній позі), середньої тяжкості (якщо вимушена поза становить 10 - 25% часу зміни), важкі (якщо вона становить <50%) і дуже важкі (> 50%).

Для цукрового виробництва, що відрізняється великою різноманітністю ручних операцій і вантажно-розвантажувальних робіт, характерні динамічні навантаження, які оцінюються в залежності від необхідної для виконання роботи потужності, максимальної або сумарної маси вантажу, що піднімається вручну з підлоги або робочої поверхні. Наприклад, легкі динамічні навантаження відповідають підйому з підлоги вантажу масою до 5 кг або переміщенню протягом зміни до 4 т, а важкі - більше 40 кг або 6 т.

Нервово-психічні перенапруження підрозділяються на розумове перенапруження (1), перенапруження аналізаторів (2), монотонність праці (3) і емоційні перенапруження (4). Інтелектуальні навантаження в цукровому виробництві відносяться до мало-, помірно напружених і напружених, так як вони обмежуються або виконанням робіт за точною інструкцією, або рішенням завдань за відомим алгоритмом.



Перенапруження аналізаторів, зокрема зору, в цих виробництвах можуть бути мало- і помірно напруженими, які відповідають грубій категорії зорових робіт, зорових робіт малої і середньої точності.

Для цукрового виробництва характерні монотонні роботи та емоційні навантаження різних категорій. Монотонність праці оцінюється числом елементів в операції, числом повторень однієї операції протягом години або часом пасивного спостереження за ходом виробничого процесу (відсоток тривалості зміни).

Емоційні навантаження бувають мало напружені - за відсутності зазначених у наступних категоріях показників; помірно напружені - при роботі за точним графіком, напружені - в разі дефіциту часу для виконання роботи і підвищеної відповідальності; дуже напружені - за умови особистого ризику, відповідальності за безпеку інших осіб.

Проектована АСУ ТП призначена автоматично управляти процесом уварювання і підтримувати параметри ТП, тим самим звільняючи оператора від впливу шкідливих факторів, створюваних технологічним обладнанням. Дана система може працювати в автоматичному і ручному режимах. Живлення КТС АСУ ТП здійснюється:

- трифазною напругою змінного струму 380 / 220В частотою 50Гц;
- стисненим повітрям тиском 0.02-0.1 МПа (0.2-1кгс/см<sup>2</sup>) загальнозаводського колектора (повітря КВП);

Приводи виконавчих механізмів пневматичні та електричні.

Продуктове відділення за пожежною безпекою відноситься до категорії Г згідно ОНТП-24-86. Ступінь вогнестійкості будівель згідно СНиП II-90-81 відповідає II класу. Клас приміщень за пожежною небезпекою за ПУЕ-87 відповідає II-Ша.

Небезпечні виробничі фактори згідно ГОСТ 12.0.003-74 наступні:

- Небезпека отримання травм при зіткненні з рухомими частинами пневмоприводів, приводів насосів. Для запобігання потрапляння людини в небезпечну зону використовуються загороджувальні пристрої, стаціонарні огороження, кожухи на робочих механізмах.
- Небезпека ураження електричним струмом при дотику до струмоведучих частин або появи напруги на металевих конструктивних елементах внаслідок пошкодження ізоляції. Електричний струм, проходячи через організм людини надає термічний, електрохімічний і біологічний вплив. Неаварійне значення напруги дотику не більше 2 В і струму не більше 0.3 мА за ГОСТ 128.1.003-82.

Для забезпечення електробезпеки відповідно до ГОСТ 12.1.019-79 повинні бути застосовані такі засоби і способи захисту:

- Захисне заземлення;
- Занулення;
- Ізоляція струмоведучих частин;
- Застосування автоматичних запобіжних і обмежують пристроїв і ін.
- Існує небезпека отримання термічних опіків при дотику до нагрітих поверхонь технологічного устаткування. Згідно ГОСТ 12.1.065-86 при температурі робочих поверхонь вище 45°C вони повинні мати теплоізоляцію, а обслуговуючий персонал - індивідуальні засоби захисту від термічних опіків.
- Небезпека виникнення пожежі. Причинами, які можуть призвести до виникнення пожежі, можуть бути:
  - Несправність електропроводки і приладів;
  - Коротке замикання електричних кіл;
  - Перегрів устаткування;
  - Блискавка;
  - Неправильні дії персоналу і ін.
- Робота оператора пов'язана з великими психофізичними навантаженнями, тому рівень шуму на робочому місці за ГОСТ 12.003-83 не повинен перевищувати 50 Дб при наявності гучномовного зв'язку. Засоби захисту за ГОСТ 12.1.029-80.
- Вібраційна небезпека. Робота потужних приводів: мішалок вакуум-апаратів викликає вібрацію. Згідно ГОСТ 12.1.012-90 вібрація, що впливає на операторів стаціонарних машин або передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації, відноситься до категорії 3 а і повинна не перевищувати 0.2 м/с по амплітуді і 92 Дб за рівнем.

Для усунення небезпечних і шкідливих факторів необхідно виконати наступні заходи щодо їх усунення:

- Для забезпечення електробезпеки відповідно до ГОСТ 12.1.019-79 всі споживачі електричного струму і апарати, що мають електричну частину, заземлені на контур опором менше 4 Ом. Струмоведучі кабелі мають ізоляцію, стійку до дії температури і агресивних середовищ, що виключає швидке руйнування ізоляції в умовах продуктового відділення. Всі силові кола мають автоматичні запобіжники, а також аварійні вимикачі, що дозволяють оперативно відключити коло в разі аварії.

- Щоб не допустити термічних опіків, поверхні технологічного обладнання з температурою понад 45°C повинні бути покриті теплоізоляцією. Обслуговуючий персонал повинен бути забезпечений спецодягом, рукавицями та іншими засобами захисту.
- Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту і організаційно-технічними заходами. Система запобігання пожежі включає:
  - Контроль і профілактику ізоляції;
  - Наявність плавких вставок і автоматичних запобіжників в електроустаткуванні;
  - Захисне заземлення;
  - Захист від блискавки будівель і устаткування згідно РД34.21.122-87
- Конструктивні особливості технологічного обладнання та його взаємне розташування створюють умови, що не порушують допустимі рівні шуму на робочому місці оператора за ГОСТ 12.1.003-83 не більше 65 Дб.
- Для зменшення вібрацій на технологічному обладнанні встановлені віброгасячі прокладки, віброізоляція. Періодично (1-3 рази в сезон) проводяться виміри рівня вібрацій.

## ВИСНОВОК

Відділення оснащується різноманітним обладнанням, автоматизація якого ускладнюється періодичністю технологічного процесу в основних апаратах - вакуум-апаратах і центрифугах. Простіше автоматизуються збірники продуктів, мішалки і конденсатори.

Інтенсифікуючи технологічний процес, запропонована система управління дозволить зменшити час варіння одного апарату, що дозволить збільшити виробничу потужність продуктового відділення. Якісне регулювання температури і рівнів в збірниках соку, патоки, меляси знизить енергетичні витрати, дозволить витримати технологічні норми, усуне розливи продуктів. При автоматичному управлінні будуть виключені неправильні дії операторів в зв'язку з введенням точної мікропроцесорної техніки.

У даній роботі висуваються такі технічні пропозиції, пов'язані з комплексною автоматизацією всіх відділень бурякоцукрового виробництва. Особливо має сенс в даних умовах автоматизація барометричного конденсатора, що дозволить більш якісно підтримувати розрідження на вакуум-апаратах в технологічних нормах. Виходячи з цього, можна сказати, що система має можливість подальшого розвитку:

- автоматизація інших відділень,
- створення єдиної інформаційної мережі підприємства з функціонуванням автоматизованих робочих місць (АРМ):
- керівника,
- технологій,
- бухгалтера і т.д.

Однією з найбільш істотних особливостей комплексної та повної автоматизації є централізація управління, що забезпечує оптимальне управління технологічним процесом на основі застосування досягнень обчислювальної техніки. Завдання оптимального управління виробничим процесом не може бути вирішене шляхом простого нарощування кількості приладів на оперативних щитах і збільшення кількості обслуговуючого персоналу. Необхідно використовувати нові методи отримання, обробки інформації та управління процесами за допомогою обчислювальних засобів. Одним з напрямків є створення гібридних систем, що використовують дискретні і аналогові обчислювальні пристрої. У цій роботі розроблена автоматизована система управління підприємством. Управління побудовано у вигляді ієрархічної системи АСУТП.

Першочерговою вимогою при створенні АСУТП було висока надійність і безвідмовність системи при відключенні від окремих ланок. Цим вимогам відповідає розроблена у даній роботі АСУТП, що має ієрархічну структуру і передбачає застосування інформаційно - обчислювального і керуючого комплексів верхнього рівня, аналогових або цифрових пристроїв локальної оптимізації середнього рівня і локальних стабілізуючих АСУ нижнього рівня. На основі відомих методів вирішення оптимальних задач визначається оптимальний режим роботи заводу на заданий відрізок часу. При обраному оптимальному режимі визначаються показники, що представляють собою керуючий вплив для пристроїв локальної оптимізації середнього ієрархічного рівня, або запропоновані значення параметрів для стабілізуючих АСУ нижнього рівня.

Таким чином, автоматичні системи нижнього рівня не суперечать верхньому ступеню АСУТП і підпорядковані йому. Розроблена структура АСУТП допускає реалізацію і вдосконалення частинами в міру їх відпрацювання і забезпечує високу надійність системи управління. Тимчасове відключення окремих ділянок системи не завдає шкоди іншим ділянкам. Поетапна розробка і реалізація АСУТП сприяють зменшенню передвиробничих витрат і поліпшення показників ефективності АСУТП.

В даний час при розробці АСУТП з'явилися передумови, які можуть отримати подальший розвиток і реалізацію на основі широкого співробітництва фахівців різних профілів: технологів, економістів, математиків, фахівців в області автоматики.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Приступа, М. Г. Автоматизація процесу кристалізації утфеля в вакуум-апараті. Робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр; напр. підг.: 050201 – Системна інженерія / М. Г. Приступа; наук. керівник О.Ю. Журавльов.– Суми: СумДУ, 2020. – 56 с.
2. Схиртладзе А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко. — Саратов: Вузовское образование, 2015. — 459 с.
3. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: підручник/ В.Г. Трегуб – Київ : Видавництво Ліра-К, 2017. – 136 с.
4. Методи сучасної теорії управління: підручник /А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Л.О. Власенко, В.В. Іващук - Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. - 368 с.

5. Павлов, А.В. Дискретні системи автоматичного управління: конспект лекцій для студ. спец. 8.05020101 "Комп'ютеризовані системи управління та автоматика" денної, заочної та дистанційної форм навчання / А.В. Павлов, О.Ю. Журавльов. - Суми: СумДУ, 2017. - 77 с.
6. Волошин З.С. и др. Автоматизация сахарного производства.-М.: Агропромиздат, 1990.
7. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції цукровиків України —Перспективи розвитку цукрової промисловості України. – К.: НУХТ, 2019. – 135 с.
8. Ванін В. В. Оформлення конструкторської документації : навч. посіб./ В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. – К. : Каравела, 2016. – 200 с.
9. Оперативно-статистичні матеріали цукровиків України “Бурякоцукровий комплекс України” – К: “Цукор України”, 2015. – 201 с
10. Dorf R.C., Bishop R.H. Modern Control Systems. 13th edition. — New York: Pearson, 2017. — 1106 p.
11. Okuyama Y. Discrete Control Systems. Springer, 2014. — 251 p.
12. Golnaraghi F., Kuo B. Automatic Control Systems Tenth Edition. — McGraw-Hill Education, 2017. — 1160 p.
13. Nishikawa, Y., N. Sanomiya, T. Ohta, and H. Tanaka A method for auto-tuning of PID control parameters / Y. Nishikawa, N. Sanomiya, T. Ohta, H. Tanaka // Automatica. – 1984. – Vol. 20. – N3. – P. 321-332.
14. Aström, K. J. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins / K. J. Aström, T. Hagglund // Automatica. – 1984. – Vol.20. – N3. – P. 645-651.
15. Оптимальні системи управління: навч. посіб. / О. А. Стенін, В. П. Пасько, А. Д. Лемешко, О. М. Польшакова. — К. : Нац. техн. ун-т Укр. "Київський політехн. ін-т ім. І. Сікорського", 2017. — 172 с
16. Шудренко І. В. Основи охорони праці : навч. посіб. / І. В. Шудренко. – Житомир : Видавець, О. О. Євенок, 2016. – 214 с.

