

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки**

**Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: Автоматизована система управління виробництвом згущеного молока

Виконав студент 2 курсу, групи ЗАТ-23м
спеціальності 174 “Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

Повстюк Богдан Леонідович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: док. філософії, доцент

Кравчук Антон Романович

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: д.т.н., проф., завідувач кафедри
інформаційно-вимірювальних технологій

Подчашенський Ю.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки**

**Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна**

**Спеціальність 174 “Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри робототехніки,
електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

к.т.н., доц. Громовий О.А.

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Повстюк Богдан Леонідович

1. Тема роботи: Автоматизована система управління виробництвом згущеного
молока

Затверджена Наказом по університету від «12» листопада 2024 р. № 647/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедрі «20» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: виконати аналіз існуючих систем управління ліній
виробництва згущеного молока на базі промислових програмованих логічних
контролерів та мікроконтролерів, виявити особливості недоліки та сформулювати
пропозиції щодо їх подолання та покращення техніко-економічних показників
системи.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
аналіз об'єкта дослідження, розробка структурної схеми системи управління, вибір
компонентів, розробка схеми підключення або електричної схеми з'єднань

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових
слайдів/креслень) структурна схема або/та її складові, схема електрична
принципова системи управління або/та її складових, блок-схема алгоритм.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посадаконсультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Кравчук А.Р.	1.09.24	1.09.24

Дата видачі завдання 1.09.24

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об’єкта автоматизації	1.09.2024 – 15.10.2024	виконано
2	Розробка структурної схеми системи управління.	15.10.2024 – 29.10.2024	виконано
3	Вибір компонентів	29.10.2024 – 13.11.2024	виконано
4	Розробка схеми підключення	13.11.2024 – 01.12.2024	виконано
5	Кінцеве оформлення пояснювальної записки	01.12.2024 – 15.12.2024	виконано

Студент _____
(підпис, дата)

Повстюк Б.Л.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис, дата)

Кравчук А.Р.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі розроблено автоматизовану систему керування процесом виготовлення згущеного молока. Описано характеристику технологічного процесу виготовлення згущеного молока, проведено аналіз технологічної лінії виробництва. Розглянуто основні принципи побудови системи, елементну базу та механізм її функціонування.

У роботі також проаналізовано існуючі технології виготовлення згущеного молока, а також технологічні процеси та види установок, що використовуються в промисловості. Детально розглянуто схему технологічної лінії виробництва згущеного молока, а також основні принципи побудови, ключові елементи та механізми функціонування.

Розроблено структурну та функціональну схеми системи керування сушильної установки, а також загальний алгоритм роботи запропонованої системи. Вся вищезгадана інформація демонструє працездатність розробленої системи керування.

THE ANNOTATION

The thesis develops an automated control system for the condensed milk production process. It describes the characteristics of the condensed milk production technological process and provides an analysis of the production line. The main principles of the system's construction, its element base, and the mechanism of its operation are considered.

The thesis also analyzes existing technologies for condensed milk production, as well as the technological processes and types of installations used in the industry. A detailed review of the technological production line for condensed milk is presented, along with the basic construction principles, key elements, and mechanisms of operation.

The structural and functional diagrams of the dryer unit control system are developed, along with the overall algorithm for the proposed system's operation. All the above information demonstrates the functionality of the developed control system.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота представлена в обсязі 68 сторінок формату А4 пояснювальної записки, в тому числі 5-ти схем.

В даній дипломній роботі виконано розробку автоматизованої системи керування процесом виготовлення згущеного молока.

В першому розділі виконано опис технологічного процесу виготовлення згущеного молока, а також обґрунтовано важливість автоматизації цього технологічного процесу. Виконано аналіз схеми технологічної лінії виробництва згущеного молока.

У другому розділі роботи здійснено вибір об'єкта автоматизації для виробництва згущеного молока. На основі цього аналізу розроблено структурну схему автоматизації цього комплексу, що відображає основні компоненти і їх взаємодію. Також було проведено обґрунтований вибір засобів автоматизації для рецептурно-змішувального комплексу.

У третьому розділі було створено алгоритм роботи пропонованої автоматизованої системи об'єкта автоматизації виробництва згущеного молока на основі попередніх аналізу та напрацювань.

У четвертому розділі розробленого та представленого електричну принципову схему пропонованої системи керування, де вказані всі раніше обрані компоненти. На схемі показані всі з'єднання елементів між собою.

ВСТУП.....	7
1. АКТУАЛЬНІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА.....	8
1.1. Опис технологічного процесу виготовлення згущеного молока	8
1.2. Опис технологічної лінії виробництва згущеного молока	11
2. ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА	27
2.1. Функціональна схеми автоматизації рецептурно-змішувального комплексу	27
2.2. Розробка структурної схеми автоматизації	30
2.2. Опис елементної бази для автоматизованої системи рецептурно-змішувального комплексу	33
2.3. Опис датчика витрати сипучих матеріалів.....	44
2.4. Опис обраного сигналізатора рівня.....	46
2.5. Опис обраного датчика температури	51
2.6. Опис обраних виконавчих механізмів	53
3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА.....	56
3.1. Блок-схема алгоритму функціонування системи автоматизації рецептурно-змішувального комплексу	56
3.2. Опис змінних	59
4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА.....	64
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	69

ВСТУП

Автоматизація виробництва сьогодні забезпечує подальшу інтенсифікацію процесів, зниження витрат сировини, матеріалів, енергоносіїв, збільшення виходу продукції, покращення її якості, а також підвищує культуру виробництва в цілому. У сучасному суспільстві автоматизація виробничих процесів створює умови для скорочення тривалості робочого дня та ліквідації різниці між розумовою та фізичною працею.

Для вирішення задачі управління необхідно мати такі пристрої чи прилади: ті, що забезпечують отримання в тому чи іншому вигляді інформації про задачі управління (вимірювальні та задаючі пристрої); ті, що виконують аналіз отриманої інформації, на основі якого видають сигнали про необхідну зміну управляючої дії (пристрої обробки інформації); ті, що виконують умови отриманих сигналів та використання команд (підсилюючі та виконавчі пристрої).

Сукупність всіх технічних засобів, що забезпечують виконання заданої задачі управління об'єктом, називається управляючим пристроєм. При вивченні процесу управління приходиться розглядувати сумісну роботу управляючого пристрою та об'єкту управління, так як вони взаємозв'язані та певним чином діють одне на одне. Об'єкт управління в комплексі з управляючим пристроєм створюють систему управління.

У результаті розвитку техніки були створені дуже складні системи управління, що забезпечують рішення багатьох задач управління різними комплексами технологічних процесів – АСУТП, в тому числі одночасне виконання управління більшим числом об'єктів із виконанням визначених техніко-економічних показників по якості одержуваного продукту, його вартості і по продуктивності агрегатів.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА

1.1. Опис технологічного процесу виготовлення згущеного молока

Молочна промисловість, що включає маслоробство, сироробство, молочноконсервне виробництво та виготовлення продуктів з незбираного молока, сьогодні займає провідне місце в структурі харчової індустрії України. Молочні продукти є важливою складовою раціону харчування та використовуються як інгредієнт у виробництві широкого спектра харчових товарів, таких як кондитерські вироби, соуси та майонез.

Головною особливістю молочної продукції є короткий термін зберігання, що може варіюватися від кількох годин до кількох діб. Це обумовлює актуальність питання консервації молочних продуктів. У молочноконсервній галузі основним методом забезпечення стерильності є теплова стерилізація. Цей процес базується на високотемпературній обробці молочних сумішей, що дозволяє досягти промислової стерильності продукту.

Теплова стерилізація є ключовим етапом у виробництві стерилізованого згущеного молока без цукру. Високі температури сприяють знищенню мікроорганізмів шляхом незворотних змін у протоплазмі клітин та інактивації ферментів. У процесі стерилізації ефективно знищуються як вегетативні, так і спорові форми мікроорганізмів, зокрема патогенні та токсичні.

До категорії згущених стерилізованих молочних консервів належать: згущене стерилізоване незбиране молоко, згущене стерилізоване нежирне молоко, згущені стерилізовані вершки, концентроване стерилізоване молоко та стерилізоване масло.

Процес виробництва таких консервів включає стандартні технологічні операції: приймання молока, його очищення, охолодження, тимчасове зберігання, нормалізацію, пастеризацію та згущення. Нормалізація здійснюється для

приведення складу молочної суміші у відповідність до встановлених нормативів, які зазначені у технологічних інструкціях.

Нормативна документація визначає показники, що підлягають регламентації, такі як масова частка сухих речовин, сухих знежирених речовин, вологи, жиру, цукру, наповнювачів тощо. Оскільки нормалізація лише за одним параметром, наприклад, масовою часткою жиру, не забезпечує відповідності стандартам, необхідно враховувати співвідношення всіх складових, що регламентуються.

Для виробництва консервів молоко піддається процесам згущення та сушіння, які спрямовані на видалення вологи без поділу сухих речовин на окремі компоненти. Перед обробкою створюється суміш з правильним співвідношенням нормованих компонентів для досягнення стандартного складу продукту.

Згущення полягає у видаленні частини вільної вологи із сировини, при цьому продукт залишається в рідкому стані. Основним методом згущення є випарювання, яке передбачає видалення вологи у вигляді пари під час кипіння молока. Альтернативними способами видалення вологи є кріоконцентрування та зворотний осмос.

Кріоконцентрування здійснюється заморожуванням води у продукті з подальшим відділенням кристалів льоду центрифугуванням. За таких умов згущення відбувається у твердому стані. Складові частини молока змінюються у процесі заморожування несуттєво, біохімічні зміни в продукті незначні. Вартість технології кріоконцентрування досить висока (в сучасних умовах існують лише лабораторні установки кріоконцентрування молочної сировини).

Згущення молока за допомогою зворотного осмосу здійснюється шляхом фільтрації через напівпроникні мембрани з порами діаметром 1–3 мкм під тиском до 5 МПа. У цьому процесі волога видаляється в рідкому стані: вода переміщується через мембрану від більш концентрованого розчину до менш концентрованого. Процес відбувається за температури 18–20 °С.

Незважаючи на перспективність технології, зворотний осмос поки що не набув широкого застосування в сучасному виробництві. Натомість найпоширенішим методом виготовлення згущеного молока залишається випарювання (рис. 1.1).



Рис. 1.1 Системи виготовлення згущеного молока на основі випарювання

Більш повний перелік промислових систем виготовлення згущеного молока приведено на рис 1.2.



Рис. 1.2 Системи виготовлення згущеного молока

1.2. Опис технологічної лінії виробництва згущеного молока

Схема технологічної лінії виробництва згущеного молока приведена на рис.1.3.

Молоко відцентровим насосом 1 перекачується через ваги 2 і надходить у проміжний бак 3, потім насосом для молока 4 — у резервуар 5 для проміжного зберігання або через лічильник відразу в резервуар 5. Далі воно підігрівається в трубчастому пастеризаторі 7 до 45 °С і надходить у сепаратор-молокоочисник 8.

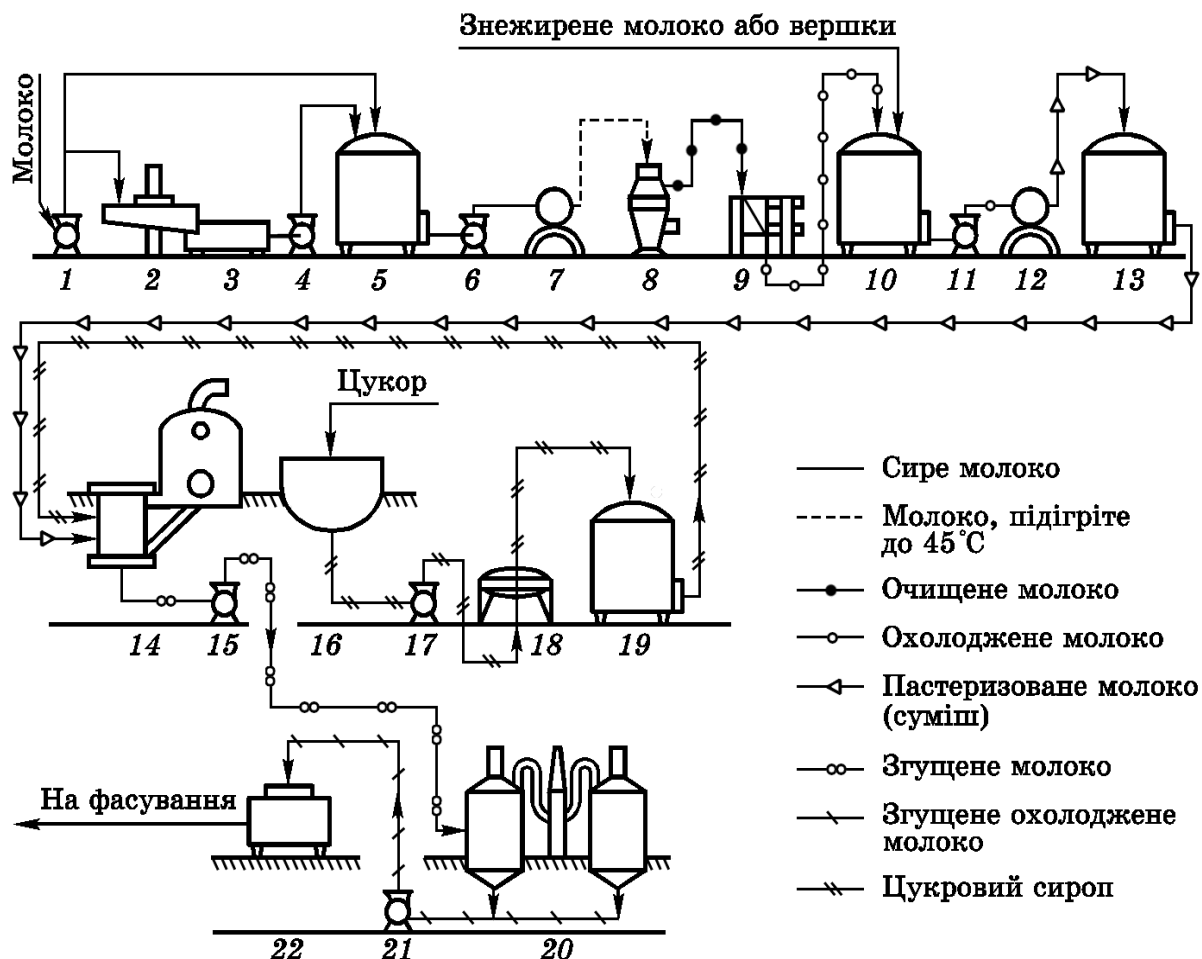


Рис. 1.3 Схема технологічної лінії виробництва згущеного молока

1, 4, 6, 11, 15, 17, 21 — насоси; 2 — ваги; 3 — бак; 5, 10, 13, 19 — резервуари; 7, 12 — трубчасті пастеризатори; 8 — сепаратор-молокоочисник; 9 — пластинчастий охолоджувач; 14 — вакуум-апарат; 16 — сироповарильний котел; 18 — фільтр; 20 — вакуум-охолоджувач; 22 — ванна

Молоко очищується та охолоджується до температури 4 – 6 °С в спеціальному пластинчастому охолоджувальній ємності 9 і подається у резервуар 10, де зберігається до подальшої переробки. В резервуарі молоко доводять до відповідної кондиції знежиреним молоком або вершками. Стандартизована суміш спеціальним відцентровим насосом 11 спрямовується на пастеризацію в трубчастий пастеризатор 12 і далі — в проміжний резервуар 13. Гаряча суміш під дією сили розрідження надходить у вакуум-апарат 14. Спеціальний цукровий

сироп готують у сироповарильному котлі 16. Насосом 17 він подається у фільтр 18, надходить у резервуар 19, потім у вакуум-апарат 14. Згущене молоко із цукром насосом 15 подається у вакуум-охолоджувач 20 для охолодження і кристалізації лактози. Готовий продукт насосом 21 спрямовується у проміжну ванну 22, звідки самопливом — на фасування. Стерилізування і концентрування згущеного молока

Очищення, охолодження і проміжне зберігання молока

Стандартизація молока включає змішування незбираного молока з певною кількістю знежиреного молока, що дозволяє отримати продукт із необхідним хімічним складом. Спершу молоко, яке надійшло на переробку, проходить етап очищення від сторонніх домішок і охолодження. Для полегшення цих процесів його попередньо нагрівають до 45 °С, що покращує ефективність очищення та забезпечує якісну підготовку до наступних технологічних операцій.

Нагріте молоко спрямовують до сепаратора-молокоочищувача, де видаляються механічні домішки. Далі очищений продукт потрапляє до пластинчастого теплообмінника, у якому його охолоджують до 4–6 °С. Цей температурний режим є оптимальним для збереження свіжості молока і попередження його швидкого псування.

Очищене та охолоджене молоко тимчасово зберігають у спеціальних резервуарах, призначених для подальшої обробки. Проте тривале зберігання молока у охолодженому стані, понад 36 годин, є небажаним, оскільки це може призвести до погіршення його якості через активний розвиток психрофільних мікроорганізмів, здатних розмножуватися навіть за низьких температур.

Стандартизація та пастеризація молока

Згідно з вимогами, у складі згущеного незбираного молока з цукром має бути не більше 26,5% води, не менше 28,5% сухих речовин (з яких не менше 8,5% жиру) і щонайменше 43,5% цукру. У готовому продукті співвідношення жиру до сухих

знежирених молочних залишків (СЗМЗ) повинно становити 0,425, причому СЗМЗ має бути не менше 20%, а жиру – не менше 8,5%. Для отримання згущеного молока з цукром із зазначеним співвідношенням компонентів необхідно використовувати молоко, яке спочатку відповідає цим параметрам. У процесі випаровування з молока зменшується вміст води, проте співвідношення жиру до СЗМЗ залишається незмінним.

Згущення молока

Процес згущення відбувається у вакуум-апаратах, де молоко за умов розрідження кипить при температурі 50–60 °С. Випаровування вологи спричиняє концентрацію всіх складових молока. Існують різні типи вакуум-апаратів, які відрізняються принципом випаровування (циркуляційні або плівкові), продуктивністю, конструкцією (періодичні або безперервні, з вертикальними чи нахиленими калоризаторами, а також пластинчасті з поверхневим нагріванням) та ефективністю використання вторинної пари. Найбільш поширеними є циркуляційні вакуум-апарати, що використовують вторинну (сокову) пару (рис. 1.4).

Пастеризоване стандартизоване молоко, нагріте до температури 70–80 °С, надходить у калоризатор 2, який оснащений двома колекторами 3 зі встановленими трубами 4, виготовленими з неіржавної сталі. Зовнішня поверхня цих труб нагрівається гострою парою. У процесі проходження молока через труби 4 воно миттєво закипає, підіймається вгору і з високою швидкістю транспортується по широкій трубі в паровідокремлювач.

Утворена вторинна пара (пара, що виділяється з молока) частково направляється у конденсатор, а її більша частина повторно використовується в калоризаторі 2 для подальшого нагрівання. Підзгущене молоко через похилий трубопровід 6 повертається в калоризатор, де знову закипає в трубах, що забезпечує подальше згущення.

При цьому нові порції гарячого молока автоматично всмоктуються у вакуум-апарат із резервуара під впливом розрідження, забезпечуючи безперервність технологічного процесу. У другий період згущення (за 10 – 15 хв до закінчення процесу) тим самим трубопроводом, що й молоко, вводять цукровий сироп.

Якщо додати цукор на більш ранньому етапі, це різко знижує інтенсивність циркуляції молока, що, у свою чергу, призводить до зменшення продуктивності вакуум-апарата. Завершення процесу згущення визначають за концентрацією сухих речовин у відібраних пробах готового продукту. Для цього використовують рефрактометр, показники якого повинні свідчити про вміст сухих речовин у межах 73,8–74,0%.

Крім того, завершення згущення також можна визначити за густиною згущеного молока з цукром. При температурі 50 °С густина готового продукту повинна знаходитися в межах 1,28–1,30 г/см³.

Автоматизація процесу згущення молока в вакуум-випарній установці передбачає наступне:

- контроль рівня заповнення вакуум-випарної установки;
- контроль температури води на виході із проміжного конденсатора;
- контроль температури в проміжному конденсаторі і в калоризаторі;
- контроль температури води на виході із головного конденсатора;
- контроль вторинного пара;
- контроль і сигналізацію вологості згущеного молока;
- сигналізацію спустошення вакуум-апарата;
- сигналізацію падіння тиску води на виході із головного конденсатора;
- автоматичне гасіння піни в вакуум-випарній установці.

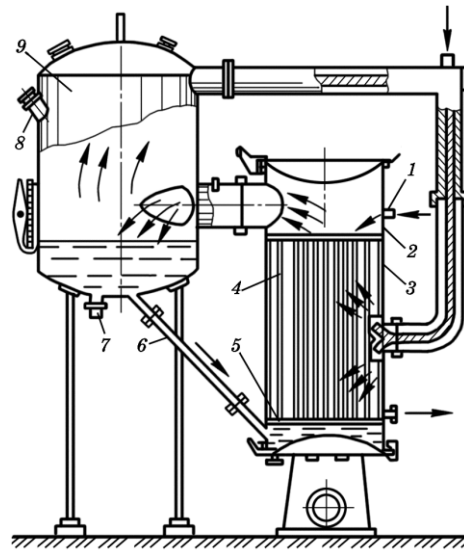


Рис. 1.4 Схема вакуум-апарата з використанням вторинної пари

1 — патрубок для входу молока й сиропу; 2 — калори-затор; 3 —колектор; 4 —труби; 5 — патрубок для иходу готового продукт; 6 —перехідна труба; 7 — патрубок для відбору проб; 8 —оглядове скло; 9 — сепаратор-паровідокремлювач

Охолодження згущеного молока і кристалізація молочного цукру

Після вивантаження згущеного молока з цукром із вакуум-апарата лактоза перебуває у стані насиченого розчину. Якщо охолодження не регулюється, у продукті утворюються великі кристали лактози, що надає йому піскуватої або борошнистої консистенції. Щоб уникнути цього, необхідно забезпечити умови, за яких лактоза спочатку утворює дрібні кристали, а згодом повністю переходить у кристалічний стан.

Дрібні кристали утворюються за наявності великої кількості центрів кристалізації. Цього досягають шляхом додавання затравки у вигляді подрібненої лактози (пудри) з розміром кристалів близько 3 мкм у кількості 0,02% від маси охолоджуваного молока. Затравку вводять під час охолодження продукту. Для прискорення процесу охолодження та завершення кристалізації згущене молоко безперервно перемішують.

Охолодження згущеного молока з цукром здійснюють у відкритих вертикальних кристалізаторах-охолоджувачах, вакуум-охолоджувачах, а також у вакуум-охолоджувачах горизонтального або вертикального типів.

У кристалізаторах-охолоджувачах процес охолодження проходить три етапи:

1. Швидке охолодження від 56–60 °С до температури масової кристалізації (31–34 °С).
2. Витримування за температури масової кристалізації протягом 40–60 хв.
3. Остаточне охолодження до 17–18 °С.

Цикл охолодження та кристалізації лактози триває 4–6 годин. Однак при використанні вертикальних вакуум-охолоджувальних установок (рис. 9.5) процес значно прискорюється завдяки закритій системі. Така конструкція не лише забезпечує безперервність охолодження, але й запобігає проникненню мікроорганізмів у згущене молоко.

Під дією розрідження, створеного у вакуум-охолоджувачах, згущене молоко відсмоктується з вакуум-апарата та спрямовується до одного з корпусів установки. У процесі охолодження відбувається додаткове випаровування вологи, що викликає швидкий перепад температури — з 55–60 °С до 15–18 °С.

На цій стадії концентрація сухих речовин у продукті дещо нижча, ніж у кінцевому готовому згущеному молоці, і становить 70,0–70,5%. У такій установці процес охолодження та кристалізації лактози здійснюється за один етап.

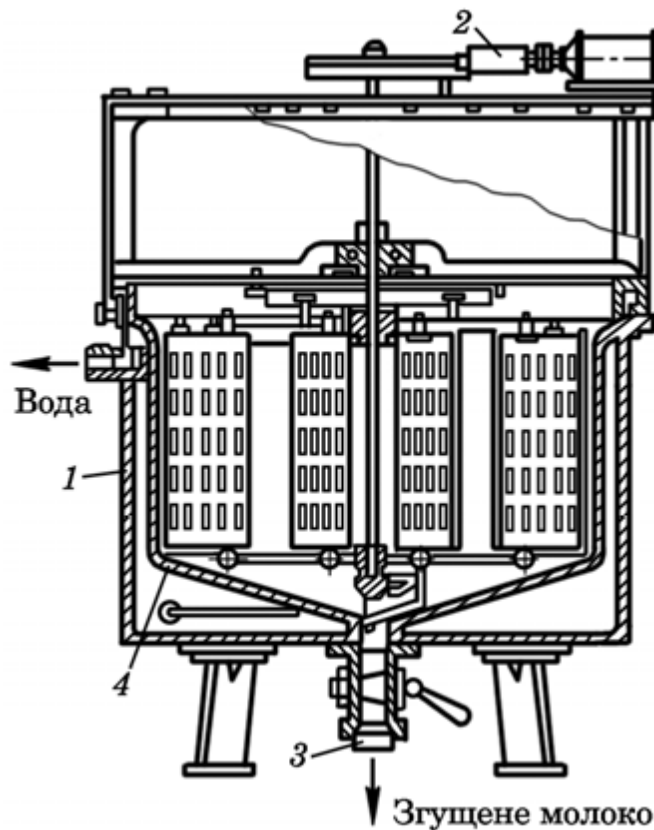


Рис. 1.5 Схема відкритого вертикального кристалізатора-охолоджувача

Де 1 — корпус; 2 — привід мішалки; 3 —кран для випуску продукту; 4 — мішалка.

Під час охолодження продукту у першому корпусі охолоджене згущене молоко з другого корпусу подається на фасування. Така організація процесу забезпечує його безперервність, що є важливим для ефективного охолодження молока та кристалізації молочного цукру. Контроль правильності кристалізації проводять за розміром кристалів лактози, визначаючи їх під мікроскопом, оснащеним окуляром з мірною шкалою.

Після завершення згущення продукт негайно охолоджують до температури 20 °С. При цьому зниження температури з 60 до 20 °С викликає перехід лактози з насиченого стану в перенасичений. Це сприяє підвищенню в'язкості продукту в 3–4 рази. Лактоза має низьку розчинність — при температурі 18 °С у 100 г води розчиняється лише 15,5 г лактози. Для розчинення однієї частини лактози потрібно 6 частин води.

У згущеному молоці з цукром на одну частину лактози припадає понад дві частини води, тому при температурі 18–20 °С частина лактози обов'язково кристалізується. Схему вакуум-охолоджувача наведено на рис. 1.6.

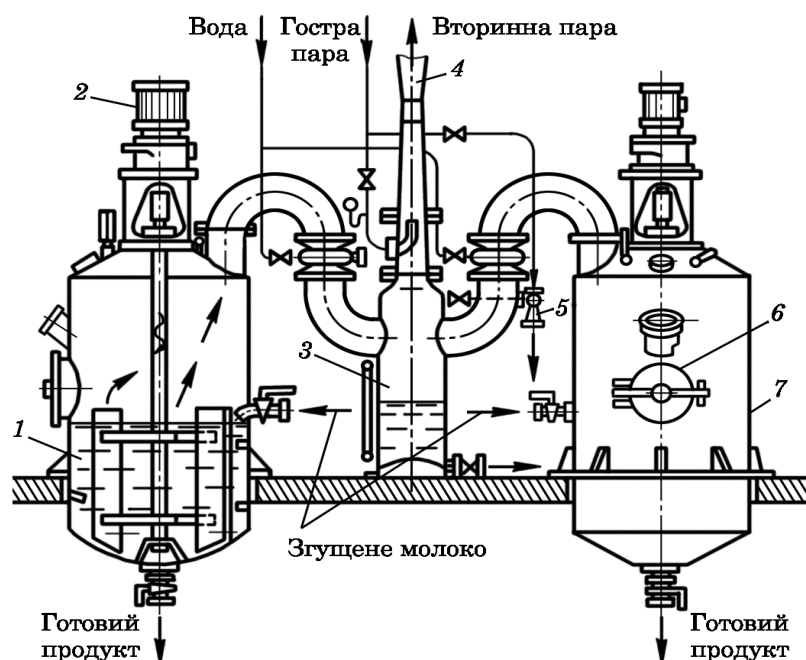


Рис. 1.6 Схема вакуум-охолоджувача

На рис. 1.6 позначено: 1 — вакуум-камера; 2 — привід мішалки; 3 — водовідокремлювач; 4 — ежектор; 5 — пусковий ежектор; 6 — люк; 7 — корпус

Фасування та зберігання згущеного молока з цукром

Після завершення охолодження і процесу кристалізації згущене молоко відправляють на фасування. Тривале зберігання продукту в охолоджувачі небажане, оскільки це може негативно вплинути на його якість через нерівномірний розподіл жирових кульок і кристалів лактози.

Фасування згущеного молока з цукром здійснюється у різні типи упаковки. Найчастіше використовуються жерстяні банки № 7, що вміщують 400 г продукту, та № 14, із масою продукту 3,8–3,9 кг. Також молоко фасують у фанероштамповані бочки об'ємом 50–100 л та алюмінієві труби № 13 із місткістю 215 мл.

Готовий продукт можна зберігати при температурі 5–15 °С до одного року без втрати якості, за умови підтримання стабільної температури в приміщенні. Вологість повітря при цьому не повинна перевищувати 85 %, оскільки надмірна вологість може спричинити корозію жерстяних банок.

Заморожування згущеного молока з цукром заборонено, оскільки це може призвести до змін у структурі та якості продукту.

Гомогенізатор

На рис. 1.7 і 1.8 зображено зовнішній вигляд і конструкцію гомогенізатора. У верхній частині блоку циліндрів розміщені гомогенізаційна головка, манометр і запобіжний клапан. Ключовими робочими елементами гомогенізаційної головки є клапан і його сідло, а тиск клапана регулюється за допомогою спеціальної рукоятки.

Для охолодження плунжерів передбачено пристрій для підведення охолоджувальної води.

Подача рідини до гомогенізатора та її відведення можуть виконуватися з будь-якої сторони блоку циліндрів — як з правого, так і з лівого. Це досягається шляхом перестановки всмоктувального патрубка на потрібну сторону блоку.



Рис. 1.7 Гомогенізатор

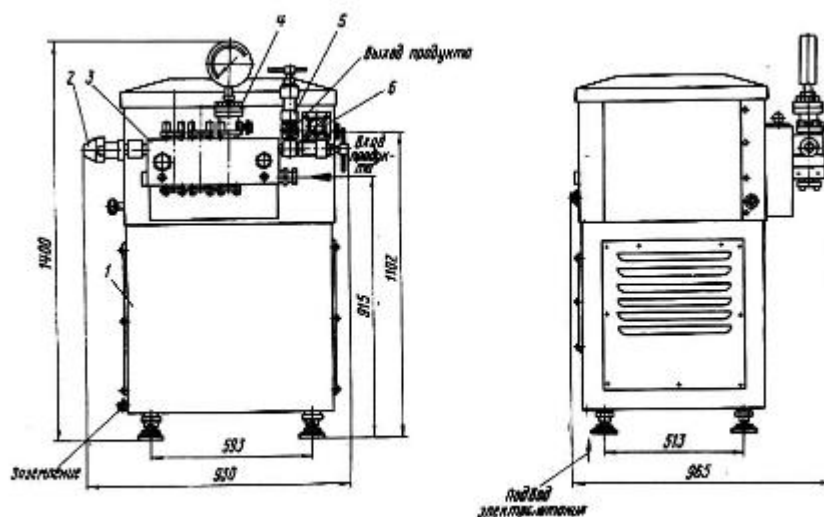


Рис. 1.8 Будова гомогенізатора

На рис. 1.8 – 1-станина; 2-запобіжний клапан; 3-манометрична головка; 4-плунжерний блок; 5-манометр системи змащування; 6-амперметр; 7-гомогенізована головка.

Відцентрові насоси

У молочній промисловості використовуються насоси різних типів і конструкцій. Залежно від конструктивних особливостей виділяють відцентрові лопатеві, мембранні та поршневі насоси. Вони призначені для перекачування однорідних малов'язких продуктів, таких як молоко, знежирене молоко і сироватка.

Відцентрові насоси широко застосовуються для таких продуктів завдяки їхній здатності ефективно працювати з малов'язкими рідинами. Існують різновиди відцентрових насосів: лопатеві (одноступінчасті з однією лопаттю або багатолопатеві), дискові та зважених конструкцій. Коефіцієнт корисної дії (ККД) одноступінчастих насосів становить 0,4–0,5, а двоступінчастих — 0,7–0,8. Продуктивність відцентрових насосів для молока може досягати 50 м³/год.

Ці насоси відзначаються простотою конструкції, компактністю, зручністю розбирання й збирання для мийки, що забезпечує їхню функціональність і легкість обслуговування (див. рис. 1.9 та 1.10).

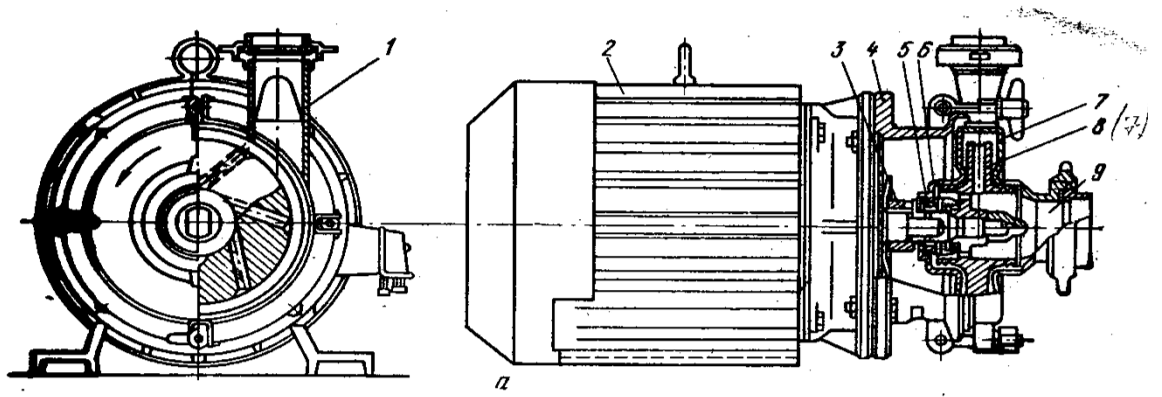


Рис. 1.9 Будова відцентрового дискового насосу

На рис. 1.9 – 1-нагрівальний патрубок; 2 - електродвигун; 3 - насадка; 4 - кронштейн; 5 - торцеве ущільнення; 6 - сальник; 7 - корпус; 8 - робоче колесо; 9 - всмоктуючий патрубок.

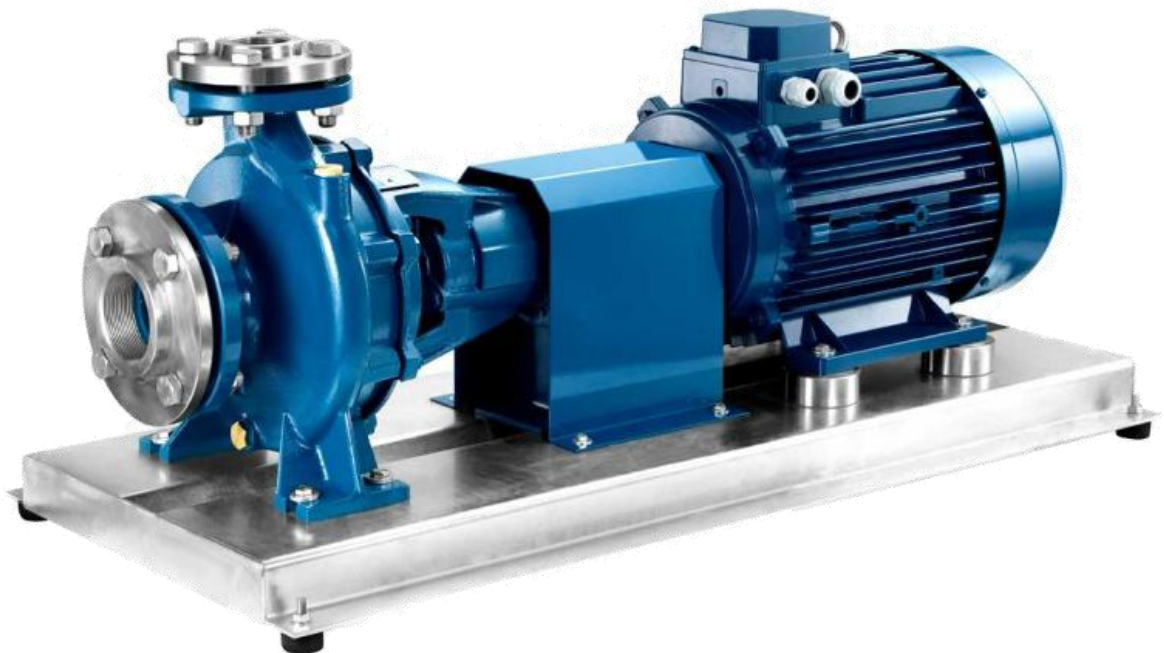


Рис. 1.10 Відцентровий дисковий насос

Принцип роботи лопатевих і дискових відцентрових насосів однаковий. При швидкому обертанні лопаток або дисків виникає відцентрова сила, яка відкидає рідину до периферії камери насоса. Звідти рідина направляється в нагнітальний трубопровід. Центральний простір камери, що звільнився від рідини, заповнюється новою рідиною, яка поступає через всмоктуючий трубопровід завдяки атмосферному тиску на її вільну поверхню.

Роторні насоси використовуються для перекачування продуктів з вузьким спектром однорідності, таких як згущене молоко, вершки, суміші для морозива та молочно-білкові продукти, а також для високов'язких однорідних рідин, таких як високожирні вершки. Вони також підходять для перекачування пластичних і м'яких продуктів, які можуть руйнуватися, наприклад, кисломолочні продукти, творог чи сирне зерно в сироватці.

Мембранні насоси застосовуються для перекачування вершків з підвищеним вмістом жиру, молочно-білкових сумішей та заквасок.

Ємність для зберігання молока

Ємності для зберігання призначені для накопичення та зберігання молока і молочних продуктів з в'язкістю не більше 0,07 П і температурою до 35°C на підприємствах молочної промисловості. Резервуари мають зварену алюмінієву конструкцію циліндричної форми, хоча за бажанням замовника вони можуть бути прямокутними.

Корпус резервуара обгорнутий теплоізоляцією та захищений сталевим кожухом. Резервуари оснащені механічними мішалками, які повинні забезпечувати рівномірний розподіл жиру по всій масі продукту протягом не більше ніж 10 хвилин після того, як жир відстоїться в резервуарі протягом 4 годин.

Робочий корпус резервуара повинен бути перевірений на герметичність за допомогою гідравлічного тестування при надлишковому тиску 0,5 атмосфери протягом не менше ніж 10 хвилин. Арматура та з'єднувальні частини трубопроводів повинні пройти випробування відповідно до вимог чинного ДСТУ.

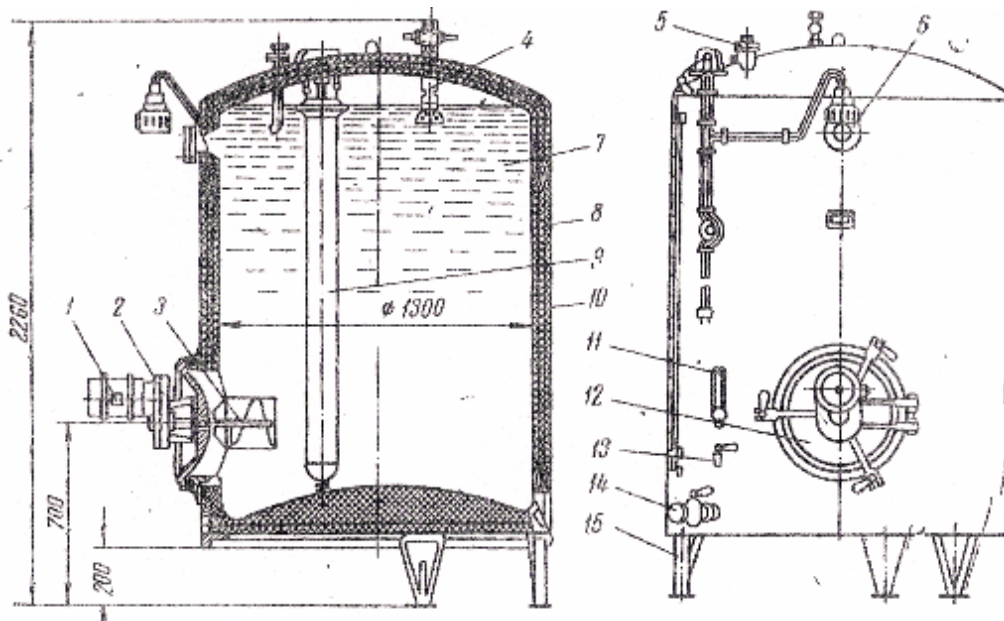


Рис. 1.11 Резервуар (силус)

На рис. 1.11 – 1 - електродвигун; 2 - редуктор; 3 - мішалка; 4 - миючий засіб; 5 - труба для наповнення; 6 - світильник; 7 - робоча посудина; 8 - ізоляція; 9 - показник рівня; 10 - кожух; 11 - термометр; 12 - кришка люка; 13 - кран для взяття проб; 14 - зливний кран; 15 - опора.

Автомат для упаковки

Автомат для фасування згущеного молока складається з резервуара циліндричної форми та поршневого дозатора. Основними елементами дозатора є циліндр і поршень.

Шестипатронний автомат карусельного типу зображений на рис. 1.12. На дні резервуара 2 розташовані мірні циліндри 1, всередині яких знаходяться поршні 3, що рухаються штоками 4. Кожен циліндр оснащений фланцем, на якому закріплений розподільник 5. За допомогою ролика 6 і спрямовуючої 7

розподільник може переміщатися вертикально. У нижньому положенні розподільник з'єднується через бічний отвір резервуара 2 з мірним циліндром, при цьому поршень 3 рухається вниз, і мірний циліндр заповнюється згущеним молоком. Коли розподільник перебуває в верхньому положенні, він з'єднує мірний циліндр з вихідним наконечником, і поршень рухається вгору, виштовхуючи порцію згущеного молока в бляшанку.

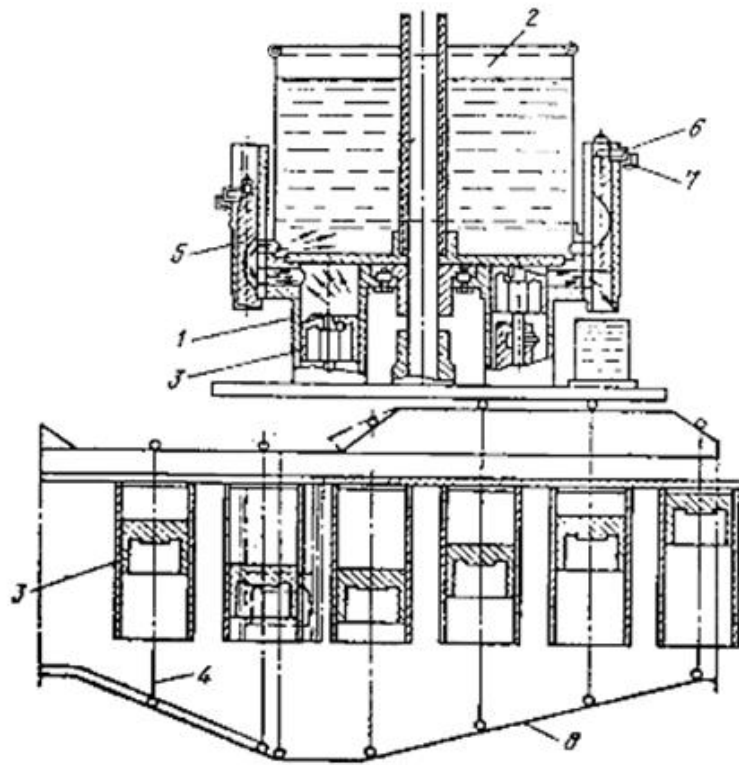


Рис. 1.12 Автомат для фасування згущеного молока

На рис. 1.12 – 1 - мірний циліндр; 2 - резервуар; 3 - поршень дозатора; 4 - шток; 5 – розподільник дозатора; 6 - ролик; 7 - напрямна розподільника; 8 - напрямна поршнів.

Мета роботи є створення автоматизованої системи керування процесу виготовлення згущеного молока, а саме рецептурно змішувального комплексу.

Завдання

- 1) Аналіз об'єкту автоматизації;

- 2) Розробка структурної схеми системи керування;
- 3) Розробка функціональної схеми;
- 4) Розробка схеми електричної принципової;
- 5) Алгоритмічне забезпечення.

Висновки до першого розділу

У першому розділі роботи обґрунтовано важливість автоматизації технологічного процесу виробництва згущеного молока. Описано характеристику технологічного процесу виготовлення цього продукту. Проведено аналіз схеми технологічної лінії виробництва згущеного молока. Розглянуто основні принципи побудови, елементну базу та механізм функціонування.

2. ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА

2.1. Функціональна схеми автоматизації рецептурно-змішувального комплексу

Рецептурно-змішувальний комплекс призначений для безперервного приготування сумішей з різних сипучих та рідких компонентів. Задана рецептура та технологічні умови підтримуються автоматично протягом всього процесу. Комплекс складається з бункерів для прийому цукру-піску та солі, двох стрічкових дозаторів для дозування інгредієнтів, мікромлина для подрібнення цукру-піску, темперуючих збірників для какао-масла та какао тертого, регулювальних клапанів для дозування рідких компонентів, продуктопроводів, безперервного змішувача і пульта управління. Через пульт управління можна програмувати та автоматично дозувати компоненти, запускати і зупиняти систему, а також контролювати роботу обладнання та забезпечувати його захист від аварій та поломок.

Згущене молоко готують з цукру-піску, який подається в бункер за допомогою шнека. Бункер для прийому та зберігання цукру-піску має ємність до 0,5 м³. У конусній частині бункера розташований ворошитель з окремим електродвигуном і заслінка, яка закриває вихід з бункера в приймальну лійку стрічкового дозатора. Оскільки приготування згущеного молока з цукром призводить до швидкого зносу вальців, в модернізованих лініях цукор-пісок з дозатора направляється в змішувач. Отримана цукрова пудра безперервно подається в змішувач, де вона ретельно перемішується з іншими інгредієнтами шоколадної маси.

У роботі рецептурно-змішувального комплексу та технологічному процесі, що відбувається в ньому, можна виділити такі важливі технологічні параметри для забезпечення нормального функціонування процесу:

- достатній рівень какао-тертого, какао-масла, цукру, сухого молока в ємностях, оскільки для стабільної роботи процесу ці компоненти повинні безперервно подаватися на змішування;

- температура компонентів суміші, зокрема какао-тертого і какао-масла в ємностях, що необхідна для їх розрідження, що впливає на якість суміші та полегшує її подачу на наступні етапи;

- температура суміші в змішувачі, що має прямий вплив на якість готової суміші;

- точне дозування всіх компонентів.

Для підтримання оптимального функціонування ємності з какао-тертим необхідно контролювати рівень продукту в межах 0,1–0,4 м. Недотримання цього параметра може призвести до зупинки подачі компонентів, що порушить рецептуру, або до переповнення бункера, що спричинить втрати сировини. Щоб уникнути таких ситуацій, на бункері встановлюються два сигналізатори рівня, які передають дані на контролер. При досягненні верхнього або нижнього рівня сигнал передається на попередній етап для припинення або відновлення подачі сировини.

Ємність обладнана водяною сорочкою для підтримання температури какао-тертого в межах 60–70 °С. Відхилення від цих параметрів може негативно вплинути на якість суміші та порушити рецептуру. Температура контролюється за допомогою датчика, підключеного до регулятора, який керує електропневматичним клапаном, що регулює відтік води з сорочки.

У змішувачі регулювання температури здійснюється зміною витрати нагрівального агента залежно від температури всередині обладнання. Датчик, підключений до регулятора, впливає на електропневматичний клапан, забезпечуючи підтримання температури в діапазоні 62–67 °С, що необхідно для належної пластифікації маси.

Для контролю, реєстрації та індикації між датчиками й виконавчими механізмами використовується єдиний мікропроцесорний контролер TSX Premium. Дозування компонентів здійснюється об'ємним методом за допомогою електропневматичних клапанів і стрічкових дозаторів. Співвідношення компонентів у рецептурі визначаються в таких межах (кг/год і л/год відповідно): цукор-пісок — 160–170, сухе молоко — 40–100, какао-масло й какао-терте — 40–300.

На рис. 2.1 зображено функціональну схему рецептурно-змішувального комплексу. Комплекс включає виконавчі механізми, датчики, мотори й змішувачі. У першому та другому бачках розташовані сіль і цукор. Коли потрібно дозувати певну порцію одного з цих інгредієнтів, активуються мотори (позиції 24, 25), що відкривають відповідний бачок. Сипуча речовина надходить у перемелювальні мотори (позиції 20, 21). Потім відкриваються клапани (позиції 26, 29), і речовина проходить через витратоміри (позиції 26, 28). Після досягнення заданої маси клапани автоматично закриваються.

У бочці з молоком і какао встановлено теплову водяну сорочку для підтримки необхідної температури. Температура води в сорочці контролюється датчиками температури (позиції 1, 3). Для бочки з какао передбачений змішувач (позиція 19). Алгоритм подачі інгредієнтів для бочки з молоком і какао аналогічний алгоритму подачі солі й цукру.

У кожному з чотирьох бачків встановлено датчики рівня (позиції 11–18). У разі зниження рівня до критичного значення подається сигнал, і всі процеси автоматично зупиняються для запобігання помилкам у роботі комплексу.

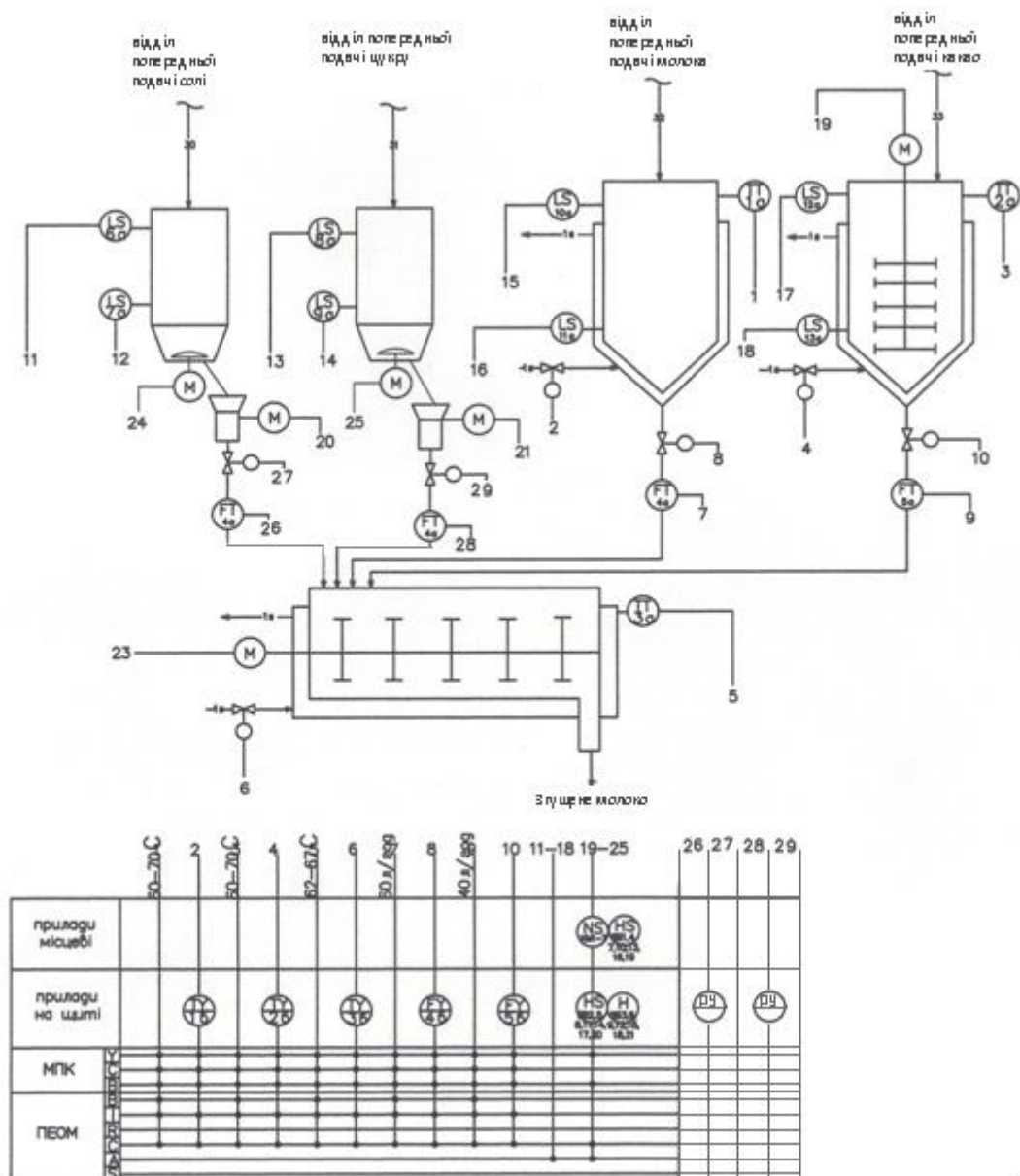


Рис. 2.1 Функціональна схема рецептурно-змішувального комплексу

2.2. Розробка структурної схеми автоматизації

Відповідно до функціональної схеми автоматизації рецептурно-змішувального комплексу розроблено структурну схему автоматизації (рис. 2.2).

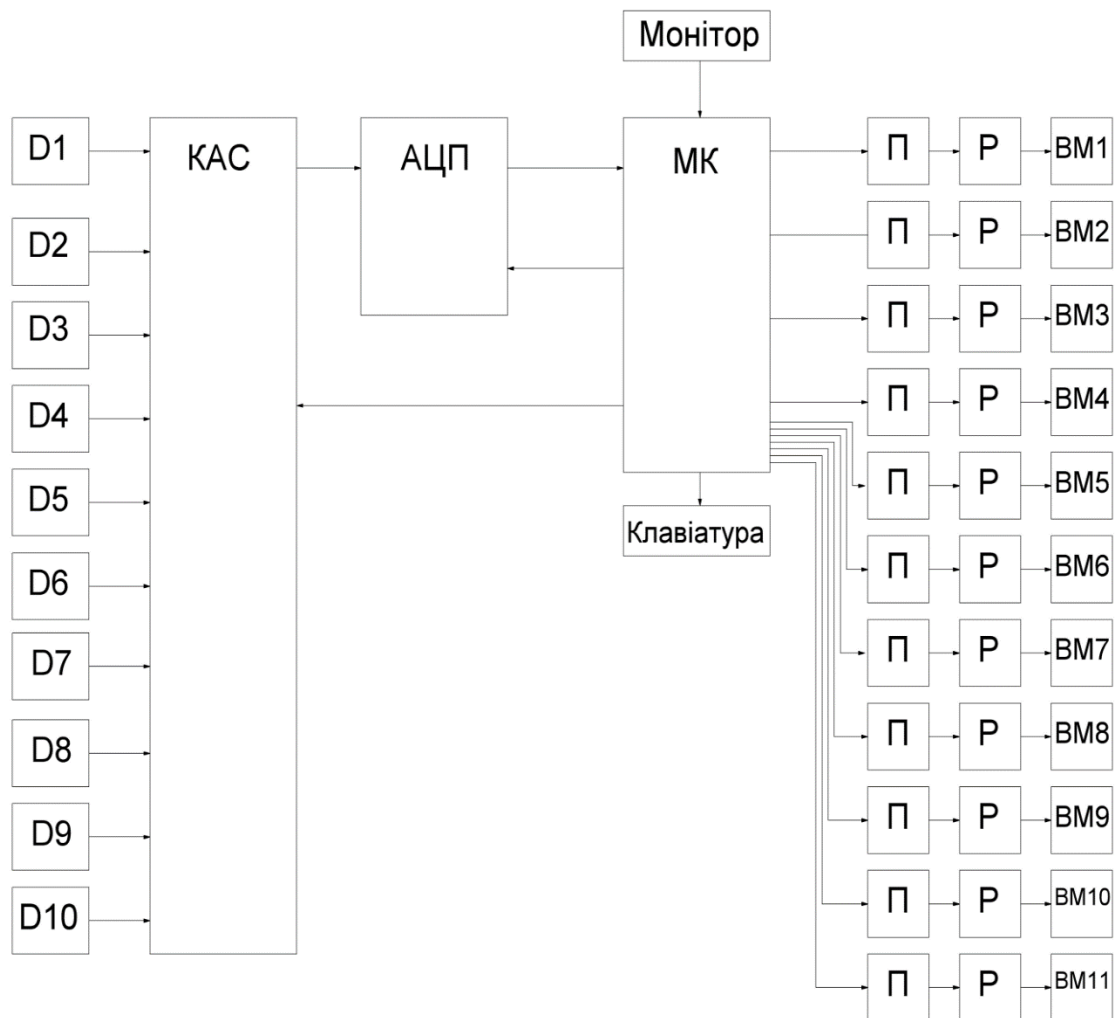


Рис. 2.2. Структурна схема рецептурно-змішувального комплексу

На схемі (рис. 2.2) приведено позначення:

D1, D2, D3, D4 – датчики рівня;

D5, D6 – витратоміри у контейнерах з молоком і какао;

D7 – датчик температури у мішалці;

D 8, D9 – витратоміри сипучих матеріалів,

D10 – датчик ваги;

КАС – комутатор аналогового сигналу;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МК – мікроконтролер;

П – прилад;

Р – реле;

ВМ 1 – кнопка на подачу какао;

ВМ2 – кнопка на подачу молока;

ВМ3 – сигнал низького рівня в бачку з сіллю;

ВМ4 - сигнал низького рівня в бачку з цукром;

ВМ5 - сигнал низького рівня в бачку з молоком;

ВМ6 - сигнал низького рівня в бачку з какао;

ВМ7 – змішувач в бачку з какао;

ВМ8 – клапан на відкриття солі;

ВМ9 – клапан на відкриття цукру;

ВМ10 – зупинка двигунів 20, 21, 24,25;

ВМ11 – вмикання двигуна 23 (змішувач).

2.2. Опис елементної бази для автоматизованої системи рецептурно-змішувального комплексу

Вибір мікроконтролера

Керування процесом здійснюється за допомогою мікропроцесорного багатофункціонального приладу TSX Premium. Цей прилад виконує збір і обробку даних, реалізує функції контролю, програмного управління, регулювання, протиаварійного захисту, блокування, а також забезпечує облік теплових та енергетичних ресурсів. Він призначений для вимірювання температури, тиску та інших фізичних параметрів, а також відображення поточних і архівних даних у цифровій формі, у вигляді графіків і діаграм.

TSX Premium використовується для керування складними технологічними або виробничими процесами, які потребують обробки великого обсягу інформації та керування значною кількістю виконавчих механізмів. Його архітектура складається з одного або декількох з'єднаних шасі, на яких розміщуються різні модулі: процесорні, блоки живлення, модулі дискретних і аналогових входів-виходів, лічильники, комунікаційні та інші.

Вхідними сигналами можуть бути дані від термоперетворювачів опору, термоелектричних перетворювачів та інших джерел, що генерують струм, напругу або опір. Прилад забезпечує високу точність вимірювання з похибкою до 0,1%. Мікропроцесорний пристрій TSX Premium наведено на рис. 2.3.



Рис. 2.3 TSX Premium

Температура какао-тертого в ємності контролюється за допомогою термометра опору ТСМУ Метран-274 з уніфікованим вихідним сигналом. Сигнал (4–20 мА) надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного приладу TSX Premium. На основі цього сигналу прилад передає команду виконавчому механізму, встановленому на трубопроводі для зливу теплоносія (води). Робота системи відбувається так: при перевищенні заданої температури клапан відкривається для зниження температури, а при зниженні – закривається.

Рівень рідких і сипучих компонентів контролюється сигналізатором рівня СУ 100, сигнал якого надходить до TSX Premium. Прилад у разі потреби передає команду в попередній відділ для зупинки або відновлення подачі сировини, щоб уникнути аварійних ситуацій.

Температура маси в змішувачі також вимірюється термометром опору ТСМУ Метран-274. Сигнал (4–20 мА) надходить до TSX Premium, який передає керуючий сигнал на виконавчий механізм, що регулює подачу теплоносія. У разі перевищення температури клапан закривається, а при її зниженні – відкривається.

Витрата рідких компонентів, таких як какао-масло і какао-терте, регулюється витратоміром Метран-150RFA з уніфікованим вихідним сигналом (4–20 мА). Сигнал надходить до TSX Premium, який за допомогою вбудованого регулятора передає команду виконавчому механізму. Механізм відкривається чи закривається відповідно до отриманих сигналів, забезпечуючи подачу необхідної кількості компонентів для дотримання встановленої рецептури.

Температура маси в млині контролюється за допомогою термометра опору ТСМУ Метран-274, який має уніфікований вихідний сигнал (4–20 мА). Цей сигнал передається на аналоговий вхід мікропроцесорного багатофункціонального приладу TSX Premium. На основі отриманих даних прилад формує керуючий сигнал, який надходить до виконавчого механізму, встановленого на трубопроводі подачі води, що виконує функцію теплоносія.

Принцип роботи цієї системи полягає в наступному: якщо температура маси у вальцах перевищує заданий рівень, клапан автоматично закривається, щоб зменшити подачу теплоносія і знизити температуру. У разі її зниження нижче необхідного рівня клапан відкривається, забезпечуючи подачу гарячої води для підтримання стабільного теплового режиму.

Для забезпечення точного дозування сипучих компонентів використовується стрічковий дозатор. Його налаштування здійснюється вручну на основі експериментальних даних, і після корекції параметри залишаються постійними під час експлуатації. Стрічковий дозатор дозволяє підтримувати стабільну витрату сипучих матеріалів, що є важливим для дотримання рецептури та забезпечення якісного кінцевого продукту.

Такий підхід забезпечує автоматизований контроль температури та витрати компонентів, мінімізуючи людський фактор і підвищуючи стабільність технологічного процесу.

Вибір витратоміра

У молочній промисловості широко використовуються витратоміри типу Метран 150RFA (рис. 2.4), які забезпечують точний контроль витрати рідин, газів і пари в технологічних процесах. Завдяки універсальності та надійності, ці прилади стали незамінними для автоматизації виробництва.

Технічні характеристики витратоміра Метран 150RFA:

1. Вимірювані середовища:

- Рідини, гази, пари.

2. Діаметр умовного проходу трубопроводу:

- Від 50 мм до 2400 мм.

3. Межі основної відносної похибки вимірювань об'ємної витрати:

- $\pm 2,5\%$.

4. Температурний діапазон вимірюваного середовища:

- При інтегральному монтажі датчика: від -40 до $+315$ °C.

- При віддаленому монтажі датчика: від -40 до $+454$ °C.

Метран 150RFA має низку переваг, серед яких: висока точність, стійкість до екстремальних умов та універсальність застосування. Завдяки можливості працювати в широкому діапазоні температур і з різними типами середовищ, ці витратоміри дозволяють оптимізувати витрати енергоресурсів та підтримувати стабільність технологічних параметрів.

У молочній промисловості такі прилади застосовуються для контролю витрати рідкого молока, вершків, води або інших компонентів у процесі виробництва. Їхня інтеграція до автоматизованих систем управління дозволяє не тільки підвищити точність і ефективність виробництва, а й мінімізувати ризик помилок, що виникають через людський фактор.



Рис. 2.4 Витратомір Метран 150RFA

Витратомір Метран-150RFA призначений для вимірювання об'ємної витрати середовища (води, пари, газу та інших енергоносіїв) методом перепаду тиску. У конструкції використовується осереднена напірна трубка як первинний вимірювальний перетворювач, що забезпечує точне вимірювання параметрів середовища та передачу інформації для автоматизації технологічних процесів і обліково-розрахункових операцій.

Технічні характеристики

Надмірний тиск у трубопроводі: до 40 МПа.

Межі вимірювань витрати: визначаються залежно від умов конкретного технологічного процесу.

Вихідний сигнал: стандартний 4–20 мА, що відображає перепад тиску або квадратний корінь від цього значення, пропорційного витраті.

Температура вимірюваного середовища:

Інтегральний монтаж: до +315 °С.

Віддалений монтаж: до +454 °С.

Похибка вимірювання об'ємної витрати: $\pm 2,5\%$ на динамічному діапазоні 5:1.

Вибухозахищене виконання: відповідає стандартам безпеки.

Державна реєстрація: внесено до Держреєстру засобів вимірювань під № 43124-09, свідоцтво № 38366.

Основні переваги

Інтегральна конструкція

Відсутність імпульсних ліній і додаткових пристроїв значно зменшує кількість потенційних місць витoku середовища, що підвищує надійність системи.

Енергозбереження

Завдяки низьким безповоротним втратам тиску в трубопроводі зменшуються витрати на електроенергію.

Економічна установка

Монтаж витратоміра менш трудомісткий та дешевший порівняно з установкою вимірювального комплексу на базі стандартної діафрагми.

Гнучкість налаштування в можливості вибору одиниць вимірювання, що відповідають конкретним вимогам користувача.

Регулювання положення десяткової точки для підвищення точності.

Встановлення верхніх і нижніх меж вимірювання.

Передача сигналів

Стандартний вихідний сигнал 4–20 мА.

HART-протокол для передачі інформації про перепад тиску чи значення витрати.

Інтуїтивне управління

Налаштування параметрів виконується безпосередньо через вбудований індикатор. Дисплей дозволяє відображати витрати в режимі реального часу.

Застосування

Витратомір Метран-150RFA широко використовується в галузях, де необхідний точний облік витрат рідин, газів або пари, таких як молочна, хімічна, енергетична та харчова промисловість. Його надійність, гнучкість та простота інтеграції в автоматизовані системи роблять його ідеальним вибором для різноманітних технологічних процесів.

Температура вимірюваного середовища.

Витратомір стійкий до впливу температури вимірюваного середовища, наведеною в табл. 2.1

Табл. 2.1

Тип монтажу датчика	Температура вимірюваного середовища, ° C
Інтегральний	Від мінус 40 до плюс 260
Віддалений	Від мінус 40 до плюс 454

Електричне живлення та склад витратоміра Метран-150RFA

Електроживлення

Електричне живлення витратоміра Метран-150RFA здійснюється від джерел постійного струму з напругою в межах 10,5–42,4 В. При цьому важливо дотримуватися вимог до навантажувального опору, який залежить від встановленої напруги живлення та має перебувати в межах робочої зони 12–42 В. Це забезпечує стабільну роботу пристрою та відповідність його параметрів вимогам точності й надійності.

Склад витратоміра Метран-150RFA

1. Первинний вимірювальний перетворювач

Осереднена напірна трубка ОНТ Annubar 485, яка виконує функцію первинного перетворення потоку середовища в перепад тиску.

2. Первинна лінія зв'язку

Використовується при віддаленому монтажі й складається з:

- Імпульсних трубок для передачі сигналу перепаду тиску.
- Допоміжних пристроїв (запобіжні фітинги, з'єднувачі).

3. Клапанний блок

Забезпечує точне регулювання потоку середовища, підтримуючи стабільність вимірювання.

4. Запірна арматура

- Голчасті клапани.
- Засувки для ізоляції окремих частин системи.

(Використовуються у випадку віддаленого монтажу.)

5. Комплект монтажних частин

Спеціальні елементи для кріплення витратоміра до трубопроводу або монтажу на панель, що забезпечують надійність установки.

6. Первинний вимірювальний прилад

Датчик різниці тисків Метран-150 моделі 150COI із кодами діапазонів вимірювання (1, 2, 3). Цей датчик виконує обробку сигналу, отриманого від перетворювача, і передає його в цифровій формі для подальшого аналізу.

Переваги складових

- ОНТ Annubar 485 дозволяє зменшити втрати тиску й підвищити точність вимірювання.
- Використання імпульсних трубок і допоміжних пристроїв підвищує адаптивність витратоміра до складних умов експлуатації.
- Надійна запірна арматура забезпечує безпеку при обслуговуванні.

- Модульний принцип конструкції спрощує монтаж і знижує трудомісткість установки.

- Датчик різниці тисків Метран-150 забезпечує високу точність і надійність вимірювання в широкому діапазоні параметрів.

Ця конфігурація витратоміра Метран-150RFA забезпечує його універсальність, надійність і точність у різних галузях промисловості, включаючи харчову, енергетичну та хімічну промисловість. Схеми зовнішнього підключення витратоміра (рис. 2.5).

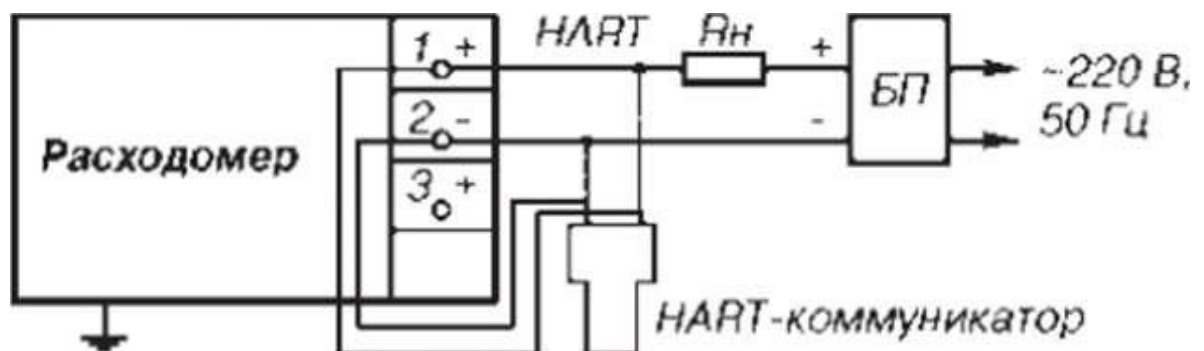


Рис. 2.5 Схеми зовнішнього підключення витратоміра

На рис. 2.5 БП - блок живлення; R_H - опір навантаження (не менше 250 Ом).

Витратомір передає інформацію на систему управління через HART - модем (рис. 2.6).

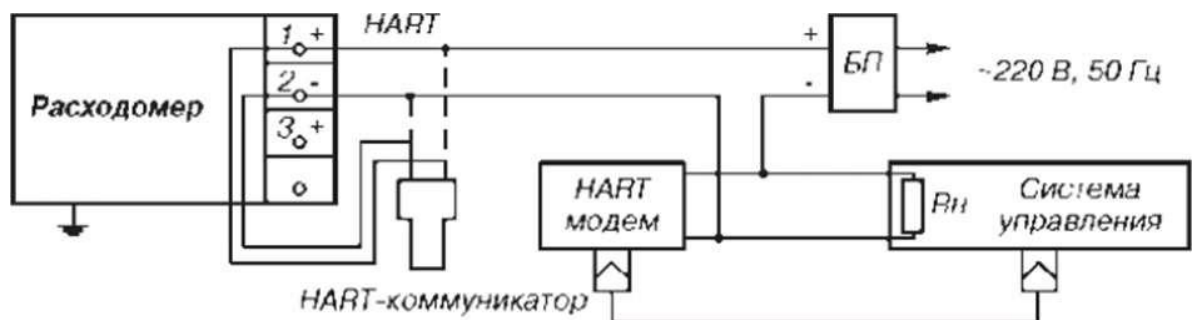


Рис. 2.6 Варіант включення витратоміра з HART- модемом

Комунікація та умови експлуатації витратоміра

Комунікація:

Комунікатор та HART-модем можуть бути підключені до будь-якої точки ланцюга для забезпечення безперебійної комунікації. Для надійної передачі сигналу сигнальний ланцюг повинен мати опір не менше 250 Ом. Це гарантує стабільний зв'язок та ефективну роботу пристрою.

Умови експлуатації:

Витратомір демонструє високу стійкість до температурних коливань навколишнього середовища в межах від -40 до +85 °C. Вбудований індикатор з рідкокристалічним дисплеєм (код МА) здатний функціонувати при температурах від -20 до +80 °C. У разі температури навколишнього середовища в діапазоні від -40 до -20 °C, хоча дисплей може не відображати інформацію, пошкодження РК-дисплея не відбувається.

Витратомір стійкий до впливу 100% відносної вологості при температурі до +35 °C та при більш низьких температурах, що включають конденсацію вологи. Це дозволяє використовувати пристрій в умовах високої вологості без ризику його пошкодження. Ступінь захисту витратоміра від пилу та води відповідає стандарту IP66 за ГОСТ 14254, що забезпечує високу надійність і захищеність від зовнішніх впливів.

Витратомір витримує атмосферний тиск у межах від 84,0 до 106,7 кПа (група Р1 за ГОСТ Р 52 931), що дозволяє використовувати його в різних умовах експлуатації, зокрема в місцях з варіативними атмосферними тисками.

Надійність:

Середнє напрацювання на відмову витратоміра, за умови виконання регламентованого технічного обслуговування згідно з інструкцією, складає 150 000 годин. Середній термін служби витратоміра становить близько 10 років, якщо

не враховувати умов експлуатації в агресивних середовищах. Витратомір, який використовується для вимірювання агресивних середовищ, може мати змінений термін служби, залежно від властивостей середовища, умов експлуатації та використовуваних матеріалів.

Монтаж:

Витратомір інтегрального монтажу постачається в повністю зібраному вигляді, що полегшує процес установки. Датчик тиску закріплений за допомогою шпильок на осередненій напірній трубці (ОНТ) відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.7, що забезпечує точність і надійність монтажу.

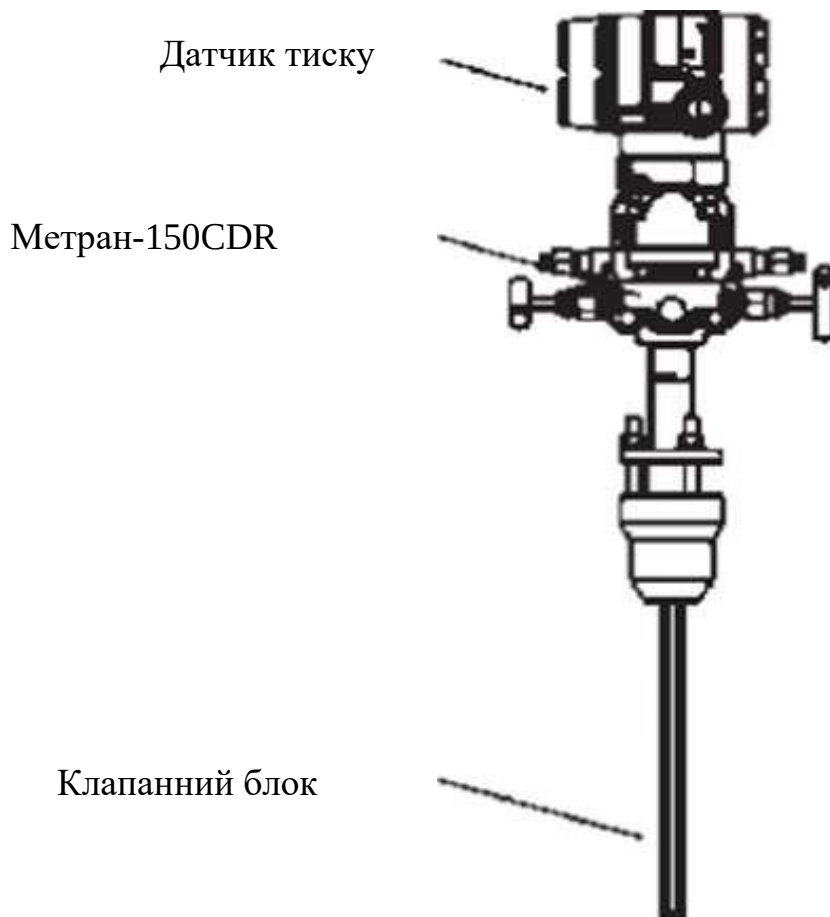


Рис. 2.7 Інтегральний монтаж витратоміра ОНТ Annubar 485

2.3. Опис датчика витрати сипучих матеріалів

Витратоміри SLIDECONTROL, розроблені інженерами німецької компанії SWR Engineering, здобули широке застосування у вимірюванні витрати сипучих матеріалів, що транспортуються через аерожолоби. Ці прилади використовуються в різноманітних галузях промисловості по всьому світу, завдяки своїй високій точності та надійності. Витратоміри SLIDECONTROL оптимально підходять для вимірювання витрат матеріалів у складних умовах, що забезпечує їх популярність у таких сферах, як хімічна, харчова, будівельна та інші галузі (рис. 2.8).



Рис. 2.8 Витратомір сипучих матеріалів

Для моніторингу у приладі SLIDECONTROL використовується спеціальна вимірювальна пластина, яка вводиться через верхню поверхню аерожолобу під прямим кутом до текстильної перегородки. За допомогою мікрохвиль вимірюється відстань до матеріалу, що рухається, що дозволяє визначити рівень заповнення текучою речовиною на тканині.

Витрата обчислюється таким чином:

$$Q = B \times H \times \rho \times v ,$$

де

Q – продуктивність;

B – висота;

H - ширина каналу;

ρ - щільність матеріалу;

v – швидкість.

Швидкість потоку матеріалу вважається сталою, а параметри ширини аерожолобу та щільності матеріалу вводяться в блок обробки через сенсорну панель. Прилад оснащений аналоговими виходами 4 ... 20 мА для сигналів, що відображають об'ємну витрату та швидкість потоку.

Вимірювальна система

Вимірювальна система SLIDECONTROL включає витратомір та модуль обробки з сенсорним екраном, також є варіант рейкового виконання. Максимальна відстань між вимірювальним датчиком та блоком обробки складає 300 м. Сенсор не потребує окремого джерела живлення, оскільки він отримує енергію від модуля. Вимірювальна пластина датчика виготовляється з пластикового матеріалу, посиленого скловолокном, що забезпечує її високу зносостійкість.

Установка та введення в експлуатацію

Монтаж та механічне приєднання сенсора здійснюються за допомогою спеціального монтажного комплексу. Вимірювальна пластина повинна бути орієнтована в напрямку потоку матеріалу для коректної роботи системи (рис. 2.9).

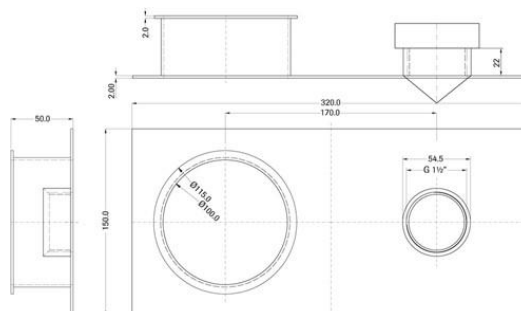


Рис. 2.9 Монтаж датчика

Коли сенсор встановлено і знаходиться в правильній орієнтації, можна виміряти параметри швидкості та висоти матеріалу на вимірювальній пластині. Ці змінні залежать від типу матеріалу, що транспортується.

Для забезпечення максимально точної вимірюваності об'ємна щільність може бути замінена поточною щільністю матеріалу. У такому випадку витрата визначається шляхом зупинки потоку матеріалу шляхом припинення подачі повітря, а потім вимірювання висоти матеріалу на текстильній перегородці аерожолобу. Після запуску потоку матеріалу змінюється висота матеріалу на текстильній перегородці, що також можна зробити через ревізійне вікно в монтажному блоці.

Поточна щільність обчислюється шляхом визначення матеріалу, який зазвичай відомий або легко визначається в лабораторних умовах. Однак, SLIDECONTROL також може бути відкалібрований за допомогою введення калібрувальних коефіцієнтів. Функція тоталайзера, вбудована в систему, використовується для визначення цього каліброваного коефіцієнта шляхом порівняння витрати, виміряної тоталайзером, з реальною витратою.

2.4. Опис обраного сигналізатора рівня

Сигналізатори рівня використовуються для контролю граничного (мінімального та максимального) рівня рідини. Приклади таких сигналізаторів рівня зображені на рис. 2.11.

Сигналізатор рівня СУ100 призначений для контролю граничного рівня різних речовин, таких як вода, луги, кислоти, олії, зерно і продукти його розмелювання, цемент, вапно, пісок, а також інших рідких і сипучих матеріалів у ємностях, що знаходяться під атмосферним чи надлишковим тиском.

Сигналізатори рівня (рис. 2.12–2.16) складаються з чутливого елемента 1, виконаного в різних конструктивних варіантах, і корпусу 2 з кришкою. На корпусі

закріплений кабельний введення 8 і є затиск для зовнішнього заземлення 9. Усередині корпусу розташовується електронний модуль 3 з встановленими регулювальними елементами та світлодіодом, який служить індикатором спрацьовування сигналізатора.



Рис. 2.11 Сигналізатори рівня СУ100

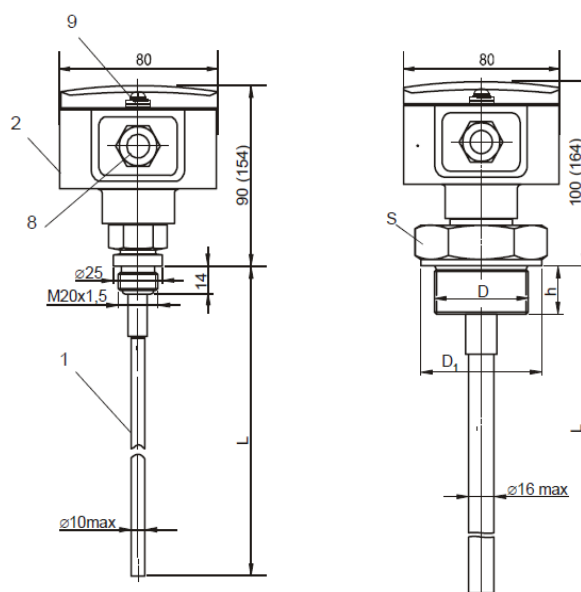


Рис. 2.12 Сигналізатори з стрижневими ЧЕ

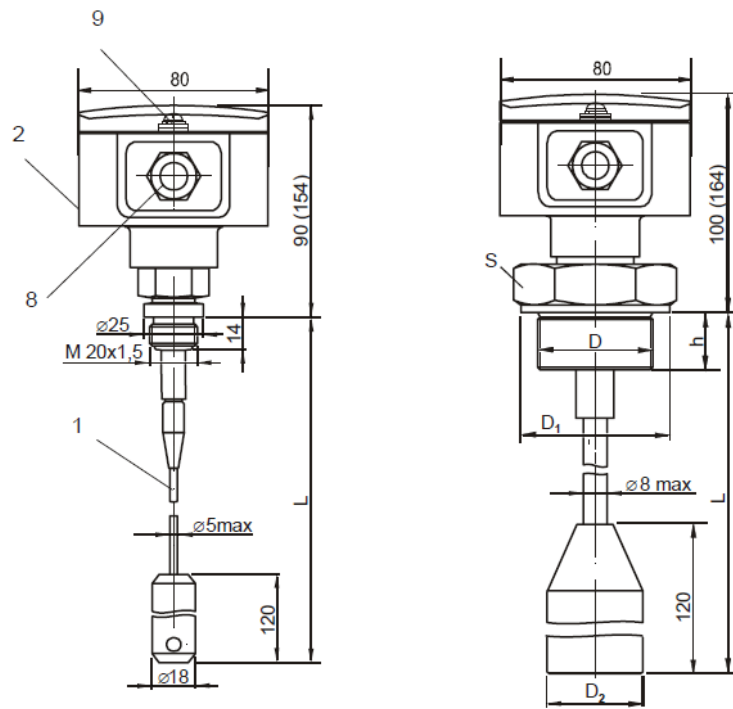


Рис. 2.13 Сигналізатори з гнучкими ЧЕ

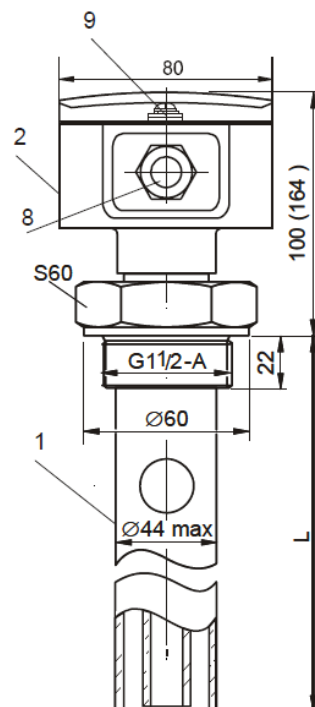


Рис. 2.14 Сигналізатор з трубчастим ЧЕ

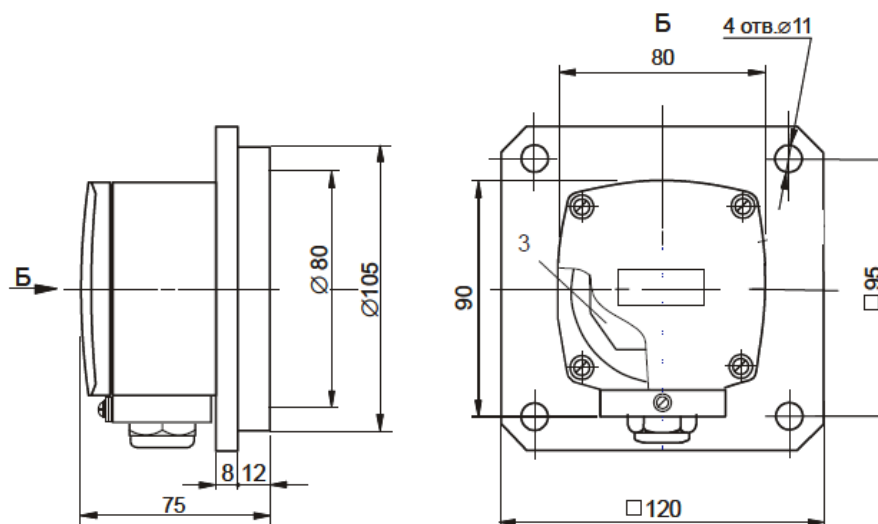


Рис. 2.15 Сигналізатор з плоским ЧЕ

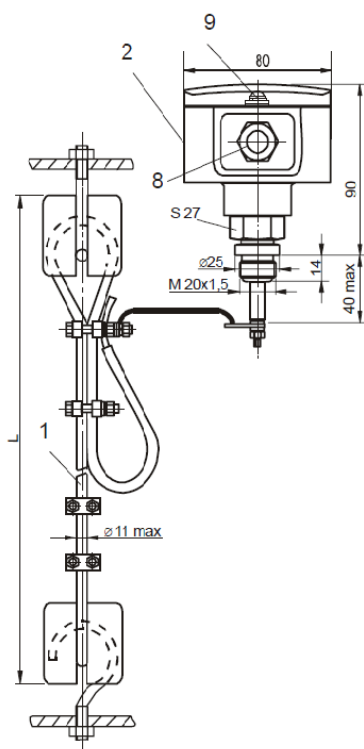


Рис. 2.16 Сигналізатор з тросовими ЧЕ

Принцип роботи сигналізатора базується на зміні електричної ємності чутливого елемента (ЧЕ) при його взаємодії з контрольованим середовищем. Коли ЧЕ вступає в контакт з середовищем, його ємність збільшується, що призводить до зміни стану комутаційного елемента сигналізатора. Схеми підключення сигналізатора рівня СУ 100Р наведено на рис. 2.18.

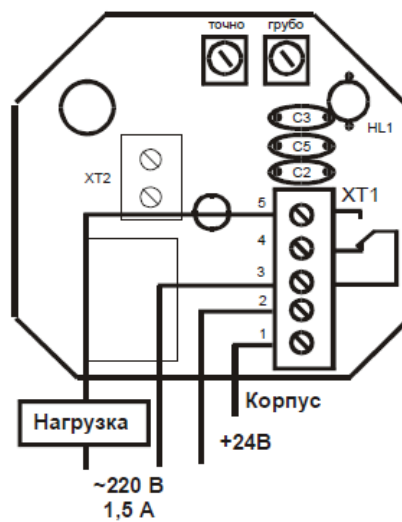


Рис. 2.18 Схеми підключення сигналізатора рівня СУ 100Р

Напруга комутації пристрою складає +24В, а навантаження підключається до мережі змінного струму 220В, 1,5А.

Основні характеристики кабелів для підключення сигналізатора:

- матеріал жил: мідь;
- перетин жили, мм²: від 0,35 до 2;
- зовнішній діаметр кабелю, мм: від 7,5 до 12,5.

Після завершення монтажу та підключення сигналізатора рівня необхідно перевірити його працездатність і встановити кришку на місце. Один із гвинтів кришки слід опломбувати пломбіровочною мастикою.

Особливі умови, яких потрібно дотримуватися під час експлуатації:

1. Корпус сигналізатора повинен бути заземлений.
2. Під час виконання електричного монтажу потрібно передбачити пристрої для розвантаження жив кабелів від розтягуючих зусиль на відстані не більше 0,5 м від кабельного вводу.

Підключення сигналізаторів рівня слід виконувати тільки після відключення напруги живлення.

2.5. Опис обраного датчика температури

В апаратурі молочної промисловості широко використовуються датчики температури, або термоперетворювачі, такі як модель ТСПУ Метран-276 (рис. 2.19). Ці пристрої відіграють важливу роль у забезпеченні точних вимірювань температури різних середовищ, що використовуються на виробництві. Вони забезпечують високу точність і надійність, що є критично важливим для процесів, де контроль температури є одним з ключових параметрів для підтримки якості продукції. Датчики ТСПУ Метран-276 застосовуються для вимірювання температури у рідких, газоподібних та сипких середовищах, що широко використовуються в молочній промисловості, таких як молоко, сироватка, пастеризовані продукти, а також у процесах, пов'язаних із зберіганням та обробкою молочних продуктів.



Рис. 2.19 Термодатчик ТСПУ Метран - 276

Принцип роботи термометрів (термоперетворювачів) базується на зміні електричного опору матеріалів (металів, їх оксидів і солей) у відповідь на зміну температури. Це означає, що зі зміною температури змінюється й електричний опір матеріалу, а величину, яка характеризує цю зміну, називають температурним коефіцієнтом опору. Термометри опору поділяються на два основних типи: провідникові та напівпровідникові. Провідникові термометри часто виготовляються з міді, що дозволяє вимірювати температуру в діапазоні від -50 до 200 °С, а для більш високих температур використовуються термометри на основі платини, здатні вимірювати температуру в межах від -200 до 750 °С. Платинові термометри мають високу точність і стабільність, що робить їх більш дорогими, тоді як мідні термометри є більш економічними, але з меншою точністю. Схема конструкції термометра опору наведена на рис. 2.20.

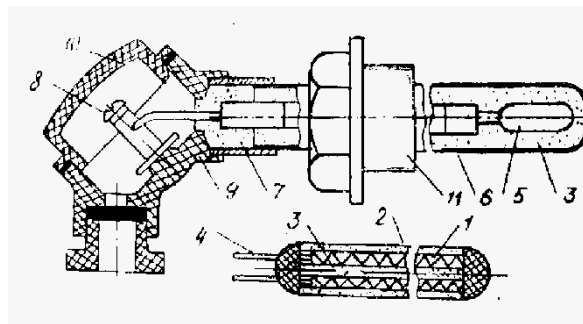


Рис. 2.20 Термометр опору

На рис. 2.20 – 1 - металевий дріт; 2 - захисна трубка, 3 - керамічний порошок; 4 - провідники; 5 - чутливий елемент; 6 - захисна арматура; 7 - герметик, 8 - клеми; 9 - кришка; 10 - корпус головки; 11 - приєднувальний штуцер .

Чутливий елемент термометра виготовляється з платинової або мідної дроту діаметром від 0,03 до 1 мм. Для підвищення вібростійкості дріт розміщується в тонкостінній трубці та заповнюється керамічним порошком, що дозволяє забезпечити більшу стійкість до механічних навантажень і впливу вібрацій. Захисна арматура термометра складається з гільзи з нержавіючої сталі діаметром 10 мм, одна зі сторін якої заварена, а всередині також розміщується керамічний порошок для додаткового захисту чутливого елемента. Кінці проводів чутливого

елемента підключені до клемної колодки, що знаходиться у сполучній голівці, забезпечуючи надійний контакт та стабільне з'єднання з приладом.

В якості вторинних приладів для термометрів опору зазвичай використовуються логометри та мостові схеми врівноваження. Для зручності та більшої універсальності на ринку доступні термометри опору з уніфікованими вихідними сигналами, такими як $0 \dots 5 \text{ В}$ або $4 \dots 20 \text{ мА}$. Це забезпечує спрощення інтеграції приладу в автоматизовані системи керування, оскільки відсутня потреба в установці окремих нормуючих перетворювачів. Термометри опору ідеально підходять для вимірювання малих температур, оскільки вони забезпечують високу точність, надійність та стабільність вимірювань. У випадку застосування термометра з уніфікованим вихідним сигналом, до того ж, значно спрощується налаштування та підключення до інших пристроїв в системі. Напруга живлення 24 В постійного струму. Схема підключення приведена нижче (рис.2.21).

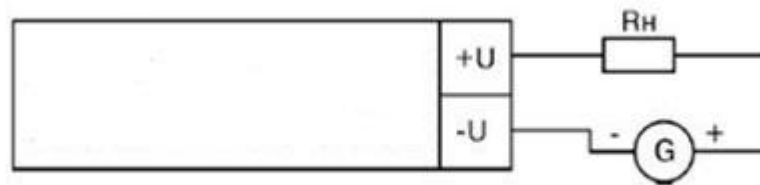


Рис. 2.21 Схема підключення термодатчика

На схемі R_n - опір навантаження; $100 < R_n < 1000 \text{ Ом}$; G - джерело живлення

2.6. Опис обраних виконавчих механізмів

Одними із основних виконавчих механізмів є автоматичні вентиляльні системи (рис. 2.22).



Рис. 2.22 Кульові крани з нержавіючої сталі виробництва End Armaturen (Німеччина)

Технічна характеристика:

Конструкція кульового крана передбачає розбірний корпус, що складається з трьох частин. Корпус і куля виготовлені з нержавіючої сталі марки 316, що забезпечує високу стійкість до корозії та механічних пошкоджень. Приєднання до трубопроводів здійснюється через внутрішню різьбу розміром від $\frac{1}{4}$ дюйма до 2 дюймів.

Кран працює при робочому тиску в діапазоні від вакууму до 63 барів, що дозволяє використовувати його в широкому спектрі промислових застосувань. Температурний діапазон для експлуатації середовища становить від -30°C до $+160^{\circ}\text{C}$, а навколишня температура може коливатися в межах від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Це дає можливість застосовувати кран в умовах різних кліматичних зон і в процесах, де потрібна витривалість до значних температурних коливань.

При монтажі кран може бути встановлений у будь-якому положенні, що забезпечує універсальність його застосування у різних конструкціях трубопроводів. Керуючий тиск для роботи крана знаходиться в межах 5,5–8 барів. Привід може бути простим (повітря/пружина) або подвійним (повітря/повітря), що дозволяє обирати оптимальний тип залежно від потреб технічного процесу.

Примітка: Усі вказані значення тиску і температури є максимальними для змощених або незнежирених середовищ, які використовуються з кранами без приводу. Для сухих середовищ ці параметри зменшуються, а також скорочується термін служби кульового крана. Крім того, зміни температури і тиску можуть впливати на кількість циклів перемикання, що важливо враховувати при експлуатації обладнання.

Висновок до другого розділу

У другому розділі роботи здійснено вибір об'єкта автоматизації для виробництва згущеного молока. Проведено детальний аналіз функціональної схеми автоматизації рецептурно-змішувального комплексу, що включає в себе всі етапи технологічного процесу. На основі цього аналізу розроблено структурну схему автоматизації цього комплексу, що відображає основні компоненти і їх взаємодію.

Також було проведено обґрунтований вибір засобів автоматизації для рецептурно-змішувального комплексу, враховуючи вимоги до точності, надійності та ефективності роботи. У процесі вибору також проведено детальний аналіз і підбір мікроконтролерного пристрою, що стане основою управління автоматизацією комплексу, а також вибір витратомірів, сигналізаторів рівня рідини, датчиків температури та виконавчих елементів, що відповідають вимогам технологічного процесу.

3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА

3.1. Блок-схема алгоритму функціонування системи автоматизації рецептурно-змішувального комплексу

Алгоритм функціонування системи автоматизації рецептурно-змішувального комплексу розроблений відповідно до функціональної (рис. 2.1) та структурної схеми (рис. 2.2). Блок-схема алгоритму представлена на рис. 3.1.

Процес роботи алгоритму починається з етапу «Ініціалізації» та введення початкових даних. Після цього в блоці «Пуск» здійснюється запуск двигунів 20, 21, 24 та 25. Алгоритм має розгалужену структуру, що дозволяє здійснювати контроль за кількістю компонентів на кожному етапі.

Перша гілка алгоритму відповідає за перевірку «Загальних витрат солі». Якщо витрати солі менші за норму, система активує процес «Збільшення солі», а якщо перевищують норму — запускається процес «Зменшення солі».

У другій гілці алгоритму здійснюється перевірка «Загальних витрат цукру». Якщо витрати цукру менші за встановлену норму, система виконує «Збільшення цукру», а якщо більше — відбувається «Зменшення цукру».

Третя гілка алгоритму відповідає за перевірку «Загальних витрат молока». Якщо витрати молока менші за норму, система активує «Збільшення молока», в іншому випадку — «Зменшення молока».

Алгоритм побудований таким чином, щоб забезпечити точне дотримання рецептури та підтримувати оптимальні умови для процесу змішування інгредієнтів.

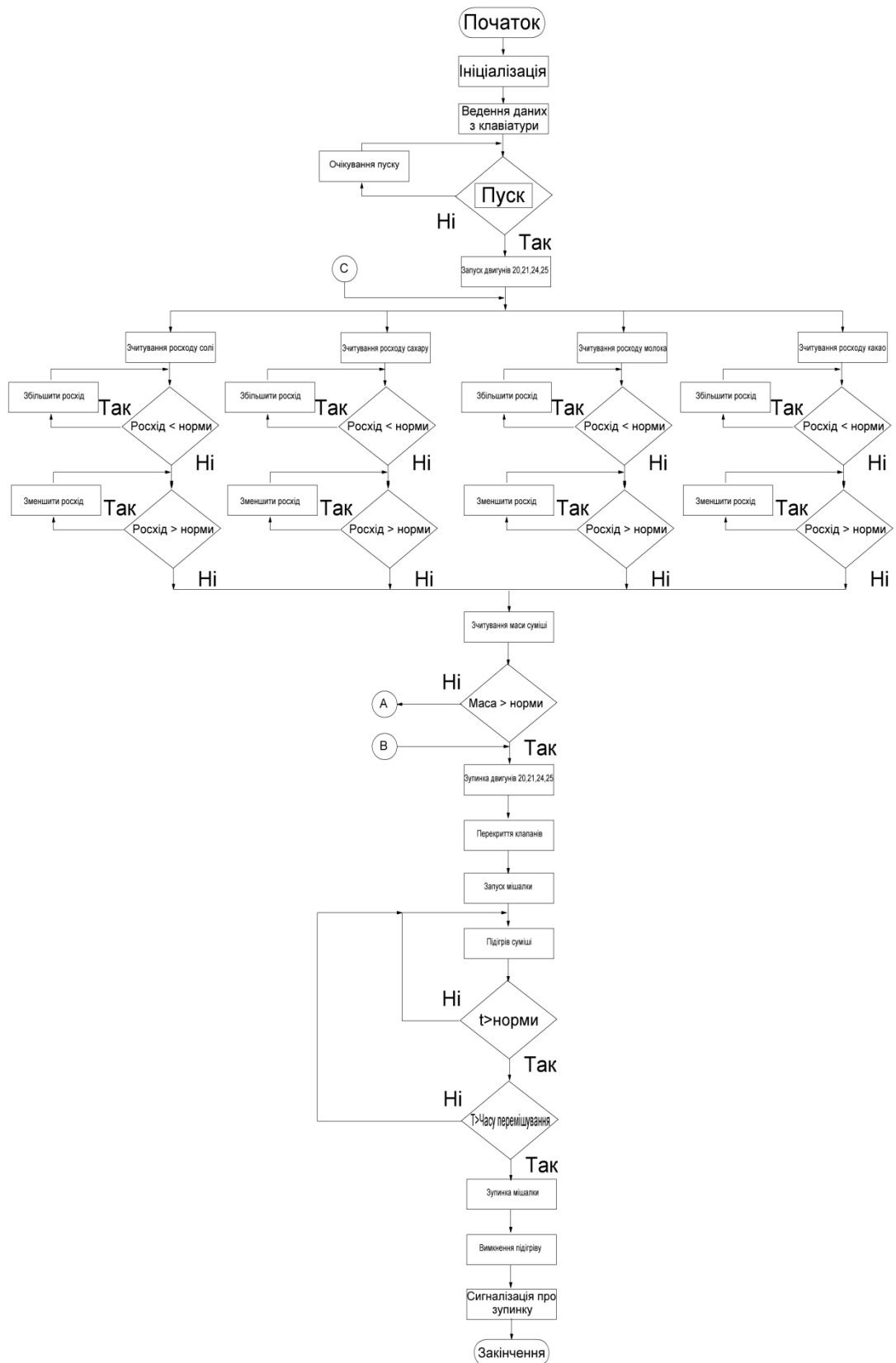


Рис. 3.1 Блок-схема алгоритму функціонування системи автоматизації рецептурно-змішувального комплексу

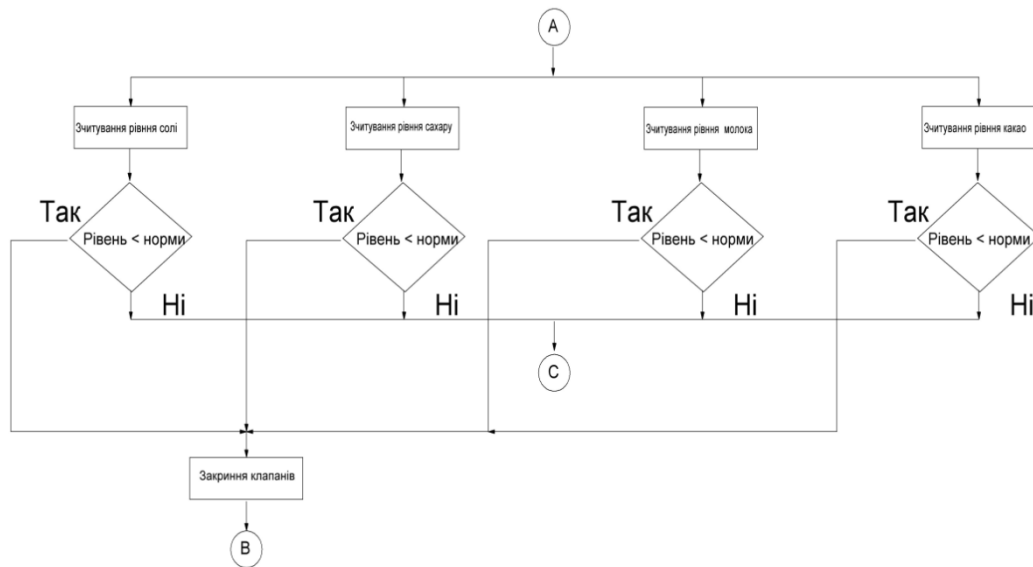


Рис. 3.1. Продовження блок – схеми алгоритму (А) функціонування системи автоматизації рецептурно-змішувального комплексу

У четвертій гілці алгоритму здійснюється перевірка «Загальних витрат какао». Якщо витрати какао менші за норму, запускається процес «Збільшення какао», а якщо перевищують норму — активується процес «Зменшення какао».

Далі відбувається перевірка маси суміші. Якщо маса суміші перевищує встановлену норму, алгоритм переходить до виконання етапу А. Якщо ж маса відповідає нормі, система зупиняє двигуни 20, 21, 24 та 25.

Наступним етапом є підігрів готового продукту до необхідної температури, після чого виконується процес розфасовки та упаковки продукту. Це завершує основний цикл автоматизації виробництва, забезпечуючи виконання всіх необхідних етапів з точністю до заданих параметрів.

3.2. Опис змінних

В таблиці 4.1 вказані аналогові змінні для роботи системи керування:

Табл. 4.1

Опис	Адреса	Межі SCADA	Межі PLC
Температура какао-масло	% MW1	0 – 100 °C	0 – 10000
Температура какао-терте	% MW2	0 – 100 °C	0 – 10000
Температура зущеного молока	% MW3	0 – 100 °C	0 – 10000
Клапан для подачі води в збірник (какао-терте)	% MW4	0 – 100 %	0 – 10000
Клапан для подачі води в збірник (какао-масло)	% MW5	0 – 100 %	0 – 10000
Клапан для подачі води в змішувач зущеного молока	% MW6	0 – 100 %	0 – 10000
Витрата (какао-масло)	% MW7	0 – 300 л/год	0 – 10000
Клапан для подачі какао-масла в змішувач	% MW8	0 – 100 %	0 – 10000
Витрата (какао-терте)	% MW9	0 – 300 л/год	0 – 10000
Клапан для подачі какао-терте в змішувач	% MW10	0 – 100 %	0 – 10000

Дискретні змінні для системи управління:

Табл. 4.2

Опис	Адреса	Коментар
Пуск	% M1	1=включена 0=виключена
Стоп	% M2	1=включена 0=виключена
Сигналізатор верхнього рівня (6а)	% M6	1=тривога 0=норма
Сигналізатор нижнього рівня (7а)	% M7	1= норма 0= тривога
Сигналізатор верхнього рівня (8а)	% M8	1=тривога 0=норма
Сигналізатор нижнього рівня (9а)	% M9	1= норма 0= тривога
Сигналізатор верхнього рівня (10а)	% M10	1=тривога 0=норма
Сигналізатор нижнього рівня (11а)	% M11	1= норма 0= тривога
Сигналізатор верхнього рівня (12а)	% M12	1=тривога

		0=норма
Сигналізатор нижнього рівня (13а)	% M13	1= норма 0= тривога
Мішалка (какао-терте)	% M19	1=включена 0=виключена
двигун стрічкового дозатора сухого молока	% M20	1=включена 0=виключена
двигун стрічкового дозатора цукру-піску	% M21	1=включена 0=виключена
мікромлин	% M22	1=включена 0=виключена
Двигун змішувача зущеного молока	% M23	1=включена 0=виключена
Зворушувач сухого молока	% M24	1=включена 0=виключена
Зворушувач цукру-піску	% M25	1=включена 0=виключена
Температура низька (зущеного молока)	% M30	1=тривога 0=норма
Температура висока (зущеного молока)	% M31	1=тривога 0=норма

Тренди реального часу:

Табл. 4.3.

Змінна	Період оновлення	Інтервал відображення
Витрата какао-масла	4 с	30 хв
Витрата какао-терте	4 с	30 хв
Температура зущеного молока	4 с	30 хв

Історія процесу:

Табл. 4.4

Змінна	Період запису	Глибина зберігання
Витрата какао-масла	10 с	4 доби
Витрата какао-терте	10 с	4 доби
Температура зущеного молока	10 с	4 доби

Журнали подій

- Початок роботи установки;
- Кінець роботи установки;
- Температура низька;
- Температура висока.

Висновки до розділу 3

У розділі 3 було створено алгоритм роботи пропонуваної автоматизованої системи об'єкта автоматизації виробництва згущеного молока. Розроблена та представлена відповідна блок-схема на якій показані основні кроки роботи системи.

4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗГУЩЕНОГО МОЛОКА

Принципові електричні схеми — це креслення, на яких зображені всі електричні, магнітні та електромагнітні зв'язки елементів об'єкта, а також параметри компонентів, що використовуються в системі. Існують певні стандарти для оформлення креслень і умовних позначень компонентів. В Україні діють міждержавні стандарти (ГОСТи), проте з появою нових компонентів іноді відходять від цих стандартів, орієнтуючись на міжнародні (IEC, DIN, ANSI). На практиці виробники часто застосовують корпоративні стандарти.

Цей тип схем використовується в основному для глибшого розуміння всіх процесів, що відбуваються в ланцюгах або ділянках ланцюга, а також для точного розрахунку параметрів компонентів. Принципові схеми не враховують габаритних розмірів та розташування деталей об'єкта. За рівнем абстракції принципові схеми знаходяться між функціональними та монтажними схемами і позначаються символами ЕЗ.

Для запропонованої системи автоматичного контролю та регулювання процесу виготовлення згущеного молока була розроблена принципова електрична схема (рис. 4.1). Для управління процесом обрано контролер TSX Premium, який керує виконавчими механізмами, зокрема двигунами (M1-M6) та клапанами (Y1, Y2).

Контролер отримує сигнали від різних датчиків, таких як: датчик температури в мішалці (TT1), датчики температури в баках з інгредієнтами (TT2 та TT3), витратоміри для молока в контейнерах (FT1 та FT2), витратоміри сипучих матеріалів (FT3 та FT4), датчики рівня в контейнерах (LS1 - LS8).

Витратоміри для молока (FT1 та FT2) отримують живлення від окремих блоків живлення, які також забезпечують роботу HART-конвертерів. Для захисту цих блоків живлення використовуються автоматичні вимикачі, які спрацьовують у разі аварійної ситуації. Оскільки витратоміри передають аналогові сигнали,

вони мають бути перетворені на цифрові за допомогою HART-конвертера, який через спеціальну шину підключається до контролера.

Датчики рівня, витратоміри сипучих матеріалів і температури (LS, FT3, FT4, TT) також є аналоговими, тому їх сигнали потрібно конвертувати в цифрові. Для цього застосовується аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) з вбудованим комутатором аналогових сигналів (КАС). Перетворений сигнал передається до контролера.

Для ручного керування в системі передбачені дві кнопки (SB1 та SB2), розташовані на пульті керування. Вони виконують функції подачі молока та інших інгредієнтів.

Після прийому та обробки сигналів від датчиків контролер виконує програму, вмикаючи або вимикаючи виконавчі механізми. Контролер працює від постійної напруги 12 В, тому необхідний блок живлення, який, в свою чергу, має бути захищений автоматичним вимикачем.

Двигуни (M1 - M6) є трифазними і потребують запуску через магнітні пускачі (KM1 - KM6). Для їх додаткового захисту використовуються автоматичні вимикачі з тепловим захистом (QF1 - QF6). Двигуни вмикаються згідно з програмою контролера, але також є можливість ручного керування.

Клапани, такі як клапан для подачі солі (Y1), клапан для подачі цукру (Y2), клапан для подачі молока (Y3) та клапан для подачі какао (Y4), також керуються через вбудовані підсилювачі за допомогою контролера, який активує їх згідно з програмою.

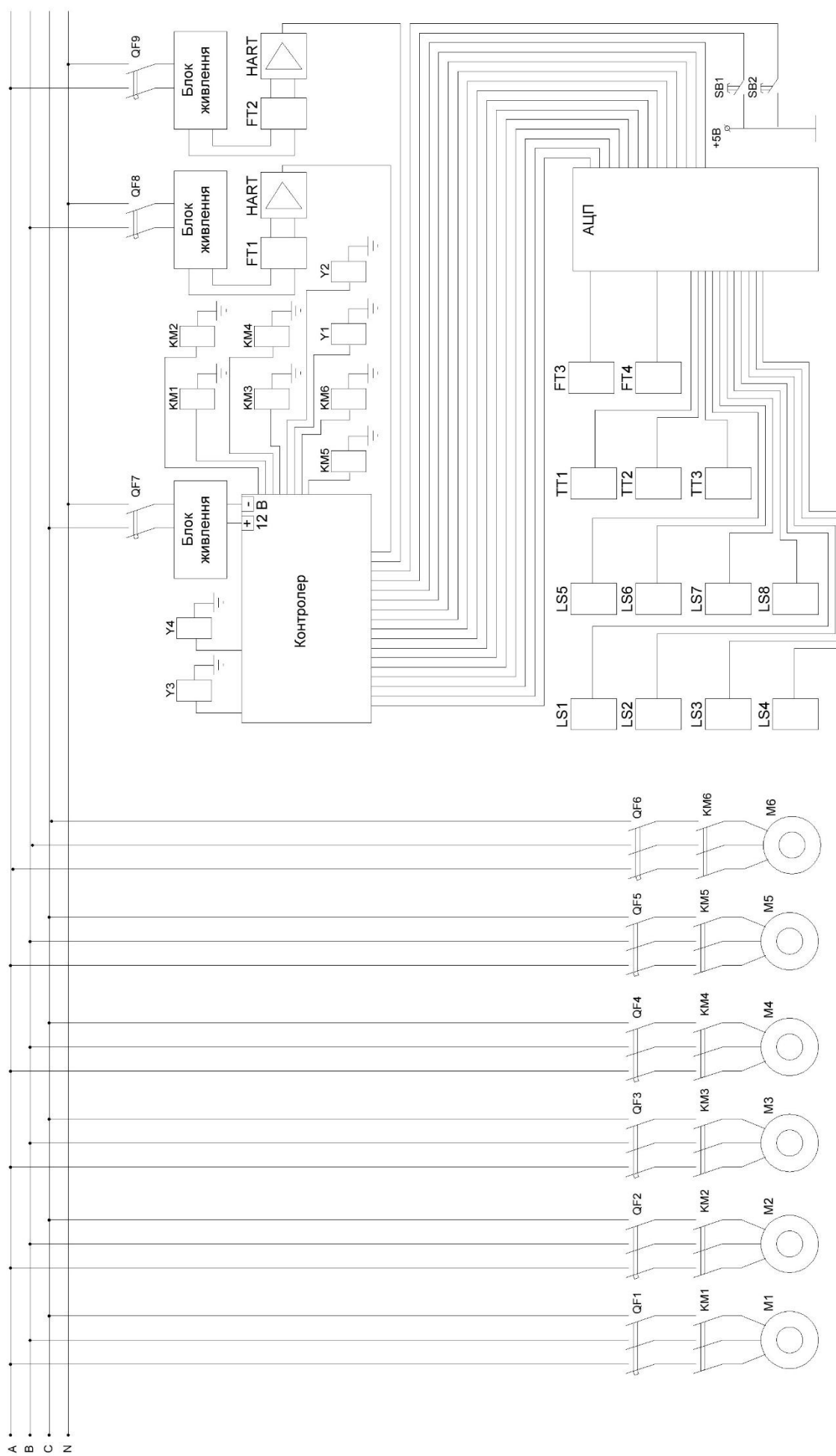


Рис. 4.1.1. Схема електрична принципова

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі розробленого та представленого електричну принципову схему пропонованої системи керування, де вказані всі раніше обрані компоненти. На схемі показані всі з'єднання елементів між собою.

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті запропоновано один із можливих варіантів автоматизації процесу виготовлення згущеного молока, який базується на використанні мікропроцесорного контролера типу TSX P57 203M.

Основною метою дипломної роботи було автоматизувати основне обладнання в схемі рецептурно-змішувального комплексу. Автоматизація цього процесу є необхідною, оскільки для забезпечення високої якості продукції необхідно суворо дотримуватися рецептури, зокрема правильно дозувати інгредієнти та підтримувати необхідні температурні режими. Окрім того, впровадження автоматизації значно зменшує частку ручної праці, що є важливим аспектом у сучасних виробничих умовах, оскільки підприємства прагнуть мінімізувати вплив людського фактора на виробничі процеси.

Автоматизація також сприяє підвищенню точності роботи обладнання, що дозволяє знизити технологічні втрати та підвищити ефективність виробництва, збільшуючи вихід готової продукції.

СПИСОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.С. Кудрявцев. Автоматизація виробничих процесів: підручник. — К.: Кондор, 2015;
2. Петренко, А. І. Технічні аспекти автоматизації технологічних процесів у харчовій промисловості: навч. посібник. — Харків: ХНАУ, 2017;
3. М. Л. Горбачов. Теорія і практика автоматизації виробничих процесів у харчовій промисловості. — Київ: Вид-во "Техніка", 2016.;
4. Керівництво по експлуатації та налаштуванню контролера TSX Premium. Schneider Electric, 2020.;
5. Бабіченко А. К. Промислові засоби автоматизації / А.К.Бабіченко. - Харків.: НТУ «ХПІ». 2001.-470 с.