

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(освітній рівень)

на тему: Розроблення автоматизованої системи контролю технологічних параметрів установки для теплової обробки молочних продуктів

Виконали: студенти 4 курсу, груп КАс-41
Спеціальність 174
“Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка”
(шифр і назва спеціальності)

_____	Голінко С.С.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	Мотрунич М.А.
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Керівник	Савків В.Б.
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль	Дмитрів О.Р.
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри	Савків В.Б.
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Рецензент	Микитишин А.Г.
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Анотація

Дана кваліфікаційна робота бакалавра присвячена питанням модернізації та комплексного автоматичного керування технологічним процесом теплової обробки молочних продуктів.

Метою розробки є суттєве збільшення продуктивності процесу пастеризації за рахунок підвищення рівня безперервності виробничого циклу, оптимізації управління підсистемами, зростання коефіцієнта завантаження технологічного обладнання, ліквідації непродуктивних простоїв, мінімізації чисельності обслуговуючого персоналу, раціонального зменшення виробничих площ, а також підвищення якісних показників готової продукції із одночасним зниженням браку та економією сировинних, матеріальних і паливних ресурсів.

На основі аналізу технологічного процесу і технічних умов на виготовлення молочної продукції розроблена автоматична система керування пастеризаційною установкою.

Зміна алгоритму регулювання технологічних параметрів з ПІ- на ПІД-регулювання дозволить підвищити продуктивність та економічність процесу пастеризації молока.

Автоматична система керування забезпечує надійне дотримання заданих технологічних параметрів та реалізує алгоритм регулювання технологічних параметрів. Зокрема, система керування забезпечує відповідне регулювання температури рідкої продукції в пастеризаційній трубчастій установці за рахунок керування потоком пари в теплообмінниках та потоком молочної сировини в трубах пастеризатора.

Крім цього проводиться порівняння температур рідкого продукту та обшивки пастеризатора, так як від цього змінюються умови теплообміну і тоді необхідно регулювати подачу пари і сировини по трубах теплообмінних апаратів установки.

Ключові слова: пастеризація молока, трубчастий теплообмінник, витримувач, вирівнювальний бак, перепускний клапан, мікропроцесорна система керування, пневматичний давач тиску.

Зміст

АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	13
1.1. Пластинчасті теплообмінники	14
1.2. Ємнісні теплообмінники	18
1.3. Трубчасті теплообмінники	22
1.4. Пароконтактні теплообмінні апарати	26
1.5. Трубчаті зрошувальні охолоджувачі подвійної дії	29
1.6. Комплекси для теплової обробки молочних продуктів	32
1.7. Сучасні автоматизовані комплекси для термічного та механічного оброблення молочної сировини	38
1.8. Обґрунтування актуальності та технічних вимог до системи керування установкою для термічної обробки молока	43
2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	46
2.1. Аналіз експлуатаційних параметрів установки для неперервної пастеризації молока	46
2.2. Аналіз експлуатаційних параметрів установки для пастеризації вершків	48
2.3. Аналіз експлуатаційних характеристик підігрівника трубчастого	50
2.4. Розрахунок основних експлуатаційних параметрів пастеризатора	52
2.5. Розроблення мікропроцесорної системи управління теплообмінним апаратом	60
2.5.1. Обґрунтування вибору мікропроцесора	60
2.5.2. Вибір постійно запам'ятовуючих та оперативно запам'ятовуючих пристроїв	65

2.5.3. Вибір контролера для управління передаванням даних	70
2.5.4. Організація інтерфейсу та координація обміну даними з периферією.....	78
2.6. Розробка пристроїв захисного відключення приводів парогенераторних установок.	83
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	87
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	95
4.1. Заходи по забезпеченню санітарно-технічних норм ділянки пастеризації молочної продукції	95
4.2. Аналіз потенційних небезпек та заходи підвищення безпеки праці при експлуатації обладнання для пастеризації молочної продукції	97
4.3. Оцінка стійкості обладнання до дії електромагнітних полів та способи захисту від них	99
ВИСНОВКИ.....	105
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	106

Вступ

Сучасний розвиток науки й техніки неможливо уявити без стрімкого прогресу в галузі мікроелектроніки та мікропроцесорних технологій. Їх активне впровадження у системи автоматичного управління (САУ) суттєво розширює можливості автоматизації виробничих процесів і забезпечує перехід до нового рівня технологічної ефективності. Використання цифрових обчислювальних платформ дозволяє значно підвищити точність регулювання технологічних параметрів, знизити ризик виникнення відмов і помилок, а також забезпечити високу надійність та стабільність роботи обладнання.

Разом із цим сучасні мікропроцесорні системи надають керуючим комплексам широкий спектр інтелектуальних функцій. До них належать гнучка адаптація до змін виробничих умов, можливість швидкої програмної та апаратної реконфігурації, оперативне виконання складних математичних і логічних операцій у реальному часі, а також розвинені засоби автоматичного контролю, самодіагностики та моніторингу технічного стану [1-5].

Найбільшої техніко-економічної ефективності в автоматизованих системах досягають завдяки застосуванню спеціалізованих мікропроцесорів і створених на їх основі багатофункціональних мікропроцесорних комплексів, інтегрованих цифрових модулів, інтелектуальних блоків керування та сучасних периферійних пристроїв.

Масове освоєння мікропроцесорної техніки в традиційних аналогових та релейних САУ зумовило докорінну перебудову як загальної архітектури, так і динамічних характеристик систем автоматизації.

На зміну жорстким централізованим схемам приходять гнучкі структури з децентралізованим (розподіленим) управлінням, багатопроцесорні обчислювальні комплекси та системи з адаптивною

топологією [6-9]. Вони дозволяють успішно реалізовувати складні математично обґрунтовані алгоритми оптимального й прогностичного цифрового регулювання.

Ці радикальні інновації обумовлені комплексом унікальних характеристик мікропроцесорів, що виступають ключовими елементами цифрових керуючих пристроїв. Головними з них є повна програмна керованість і значна питома обчислювальна потужність, які гармонійно поєднуються з безпрецедентно високою надійністю, мінімальними геометричними розмірами, малою масою, низьким рівнем енергоспоживання та доступною комерційною вартістю електронних компонентів.

Властивість програмованості мікропроцесорних систем визначає можливість реалізації концепції гнучкого та оперативного переналагодження як безпосереднього алгоритму функціонування САУ, так і її загальної структури задля миттєвого пристосування до динамічних умов проходження технологічного процесу чи зміни режимів роботи обладнання [10-15].

Важливо, що більшість модернізацій та коригувань, які вносяться в таку систему, зводяться до простого перепрограмування або заміни однієї великої інтегральної мікросхеми енергонезалежної пам'яті на іншу з оновленим мікрокодом.

Програмованість дозволяє гнучко коригувати структуру і логіку роботи САУ на будь-якому етапі життєвого циклу – від початкових стадій проектування та лабораторних випробувань до безпосередньої тривалої експлуатації серійних зразків на виробництві.

Значний обчислювальний потенціал сучасних мікропроцесорів (який досягає показників у сотні мільйонів дискретних операцій за секунду) та побудованих на їхній базі контролерів створює надійний фундамент для створення високоефективних, швидкодіючих систем керування, що функціонують у жорсткому реальному масштабі часу.

Інтеграція мікропроцесорних пристроїв у САУ дала змогу вивести на якісно вищий рівень такі критично важливі системні характеристики, як відмовостійкість та живучість промислових об'єктів.

Відмовостійкість – тобто здатність автоматизованого комплексу стабільно виконувати свої цільові функції навіть у разі виникнення поодиноких або множинних апаратних чи програмних збоїв – забезпечується в мікропроцесорних САУ шляхом раціонального введення структурної (апаратної), алгоритмічної (програмної) та інформаційної надлишковості.

Наразі особливого поширення набувають керуючі структури з гарячим або холодним резервуванням каналів, системи з динамічною реконфігурацією архітектури за алгоритмами відмов, а також обмін даними за допомогою самокоректуючих завадостійких кодів. Для безперервного оперативного моніторингу працездатності дедалі ширше впроваджується вбудований програмно-апаратний контроль, який реалізується на основі задіяння відносно дешевих додаткових обчислювальних ресурсів і завадостійких датчиків.

Водночас практичне розгортання мікропроцесорів у складі САУ вимагає від інженерів-розробників вирішення широкого спектра специфічних науково-технічних завдань, обумовлених як розподіленим характером обробки інформації в реальному часі, так і дискретною (цифровою) природою сигналів[16-19].

У цьому контексті найбільш актуальними є науково-практичні проблеми обґрунтованого вибору топології багатопроцесорних САУ для досягнення необхідної продуктивності, живучості та відмовостійкості, а також створення математично досконалих та високоефективних алгоритмів фільтрації, обробки, зберігання великих масивів даних і синтезу оптимальних керуючих впливів, що задовольняють жорсткі критерії якості функціонування САУ.

Зважаючи на незаперечні стратегічні переваги мікропроцесорів та

цифрових систем автоматичного управління на їхній основі, проєктування та масове впровадження в різні сектори промисловості потенційно найефективніших комплексів цифрового автоматичного керування на базі сучасних мікроконтролерів та спеціалізованих мікропроцесорних комплектів великих інтегральних схем (ВІС) набуває сьогодні статусу магістрального напрямку розвитку індустрії.

Для забезпечення стабільного та безперервного випуску продукції високої якості, що відповідає вимогам державних і міжнародних стандартів, особливого значення набуває система постійного автоматизованого контролю технологічних процесів [20-25]. Такий контроль передбачає безперервний моніторинг ключових параметрів виробництва, а також фізико-хімічних характеристик напівфабрикатів і готової продукції на всіх етапах технологічного циклу – від первинної обробки сировини до завершальної стадії виробництва.

У сучасних умовах автоматичний контроль є не лише засобом підвищення якості продукції, а й важливим елементом забезпечення надійності, ефективності та безпечності виробничих процесів [26-30]. Саме тому інтеграція систем моніторингу, вимірювання та оперативного керування розглядається як обов'язкова складова під час проєктування високопродуктивних автоматизованих ліній, потокових комплексів і сучасних промислових підприємств нового покоління.

Окрім того, розробка новітніх ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій, спрямованих на радикальне зниження питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів, конструкційних матеріалів та живої праці, а також покликаних розв'язувати гострі соціально-економічні завдання, вимагає створення принципово нового, складного технологічного обладнання для повністю автоматизованих виробничих комплексів.

Успішне вирішення цього комплексного завдання можливе лише на базі глибокого, фундаментального розуміння внутрішніх фізико-хімічних

закономірностей проходження технологічних процесів та детального знання конструктивних, кінематичних і динамічних особливостей проєктуваного для цих цілей сучасного технологічного обладнання [30-33].

1. Аналітична частина

Сфера переробки молока активно послуговується теплообмінним обладнанням для виконання різноманітних завдань. Залежно від конкретної мети, такі пристрої функціонують як системи для нагрівання, зниження температури, пастеризації або стерилізації сировини. Вони є невіддільною складовою багатьох виробничих комплексів, а також інтегруються безпосередньо в конструкцію складніших технічних комплексів, серед яких можна назвати коагулятори, випарні вакуумні системи та стерилізаційні блоки [1-5].

З огляду на специфіку переносу теплової енергії, це обладнання класифікують на дві основні групи. До першої належать поверхневі або рекуперативні пристрої, де взаємодія між середовищами відбувається через щільну металеву чи іншу перегородку. Другу групу складають апарати змішувального типу, принцип дії яких базується на прямому контакті молока чи молочних продуктів із гарячим робочим агентом.

Якщо розглядати будову та конструктивні особливості, то на виробництвах трапляються трубчасті, пластинчасті, ємнісні, а також зрошувальні модифікації.

За характером проходження виробничого циклу обладнання поділяють на таке, що працює циклічно (порційно), та таке, що функціонує в безперервному режимі.

Визначення оптимальної моделі апарату для конкретної лінії здійснюється з урахуванням реологічних та фізико-хімічних параметрів сировини, параметрів термічного циклу, а також планових обсягів переробки за одиницю часу.

1.1. Пластинчасті теплообмінники

Цей тип теплообмінників активно застосовується для термічної обробки сировини, зокрема для доведення до потрібної температури, пастеризації або стерилізаційного очищення незбираного молока, високожирних вершків та рідких заготовок для морозива. Ключовою деталлю такої конструкції виступає тонка металева пластина. Для виробництва цих компонентів зазвичай беруть високоякісну нержавіючу сталь із легуванням хромом, нікелем та титаном, наприклад, сплави типу 18Н10Т або Х14Г14Н3Т, товщина яких варіюється в межах від 0,7 до 1,5 міліметра.

Робоча зона кожного такого елемента має спеціальний рельєф у вигляді виступів та заглиблень, які штучно переводять рух рідини в сильно завихрений режим і паралельно розширюють зону теплопередачі, дозволяючи зберігати компактні розміри всього агрегату. Крім того, подібні ребра надають металу додаткову міцність, захищаючи його від деформації, коли виникає суттєва різниця тисків між технологічним продуктом та теплоносієм. Геометрія виступів буває різною: їх розташовують похило, формуючи малюнок на зразок ялинки, або пускають паралельними лініями. У парі суміжних деталей рельєфні лінії направлені в протилежні боки, завдяки чому вони спираються одна на одну і не стискаються, тоді як за умови паралельного малюнка стійкість конструкції підтримується за допомогою спеціальних опорних точок. Дані компоненти є стандартизованими, і в обладнанні локального виробництва найбільшого поширення набули базові типорозміри з маркуванням П1, П2 та П3.

Загальне компонування пластинчастого пастеризатора показано на рис. 1.1. Набір пластин розміщується на двох паралельних горизонтальних штангах-тягах, змонтованих безпосередньо на рамі, а фіксація цієї системи здійснюється рухомою притискною плитою 6, що затискається гайками 10. Після повного стискання між суміжними поверхнями виникають

ізолювані щілинні канали, де з одного боку металевої стінки циркулює харчова сировина, а з протилежного – теплоносії чи холодоагент. Щільність з'єднань та відокремлення потоків рідких середовищ досягається за рахунок ущільнювальних манжет на лицьовій площині деталей, які представлені двома контурами – великим ущільненням, що охоплює майже весь корисний периметр, та малими кільцевими прокладками, призначеними для ізоляції прохідних отворів суміжного робочого агента.

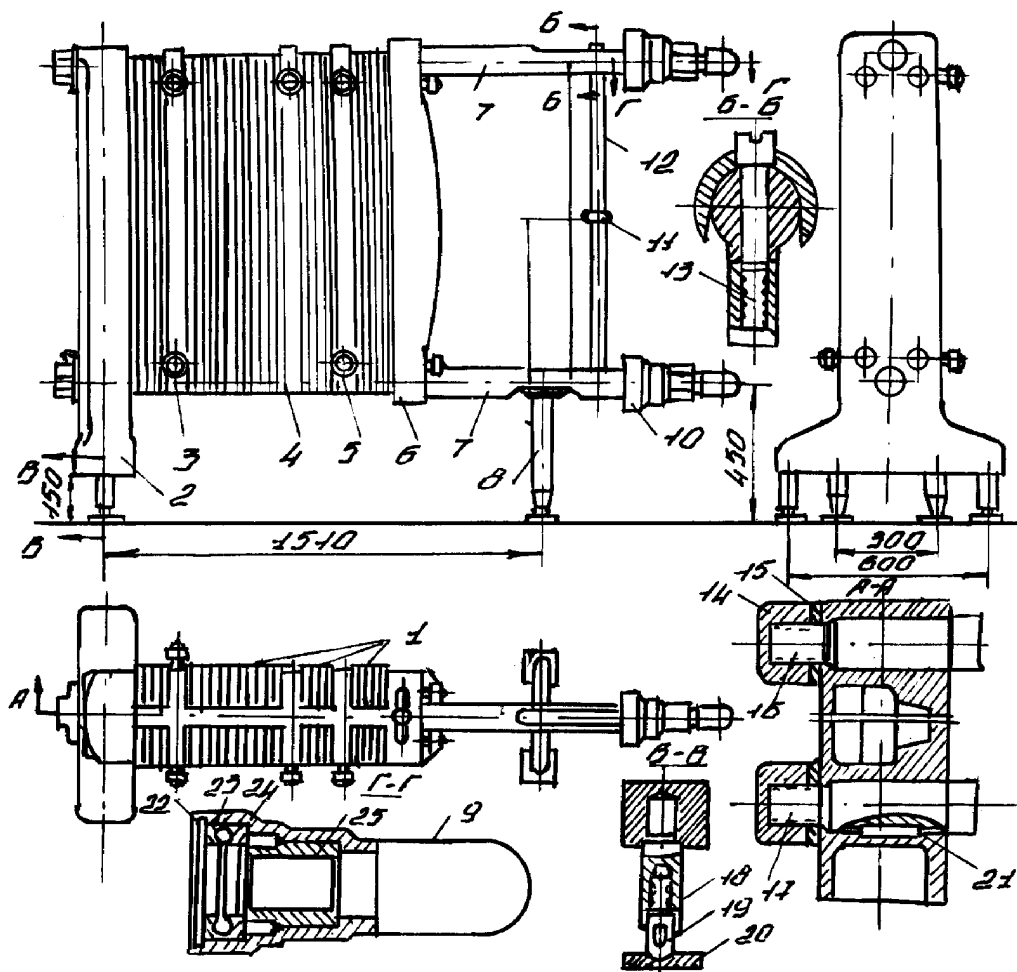


Рисунок 1.1 - Пластинчастий пастеризатор.

Для інтенсифікації процесів теплопередачі й підтримання оптимального швидкісного режиму, що запобігає локальному перегріву та термодеструкції білків, внутрішній простір структурують на технологічні

зони, або секції, та пакети. Секція є об'єднанням елементів, які пов'язані спільним рухом сировини та певного енергоносія для виконання конкретного завдання. Керуючись цим принципом, виділяють блок пастеризації, де молоко взаємодіє з перегрітою водою, зону регенерації для зустрічного теплообміну між гарячим та холодним цільовим продуктом, а також зони водяного та розсольного охолодження, де як робочі агенти виступають відповідно технічна вода чи спеціальний розсіл. Межі між цими великими зонами формуються за допомогою проміжних розділових плит, які обладнані входними й вихідними штуцерами та внутрішніми каналами для перенаправлення рідин.

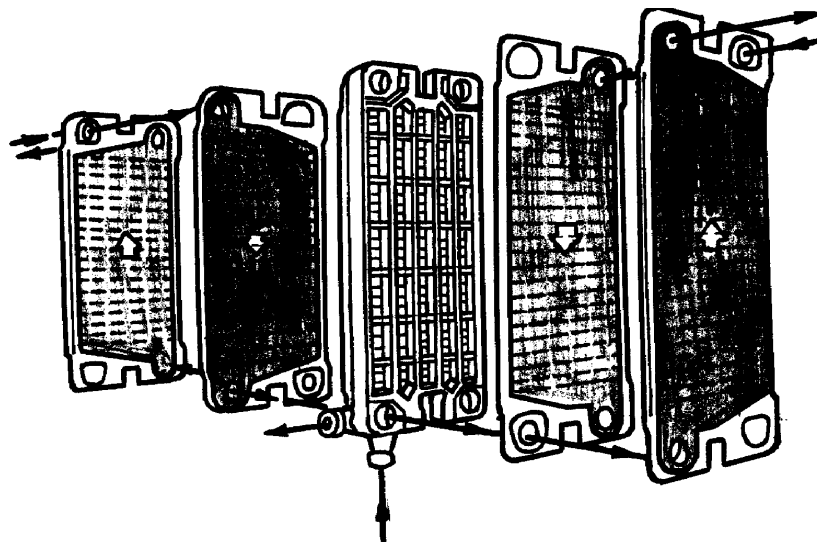


Рисунок 1.2 - Нагрівні пластинчасті елементи.

Своєю чергою, пакет складається з кількох паралельних щілин, де технологічне середовище переміщується суворо в одному напрямку, змінюючи вектор руху на протилежний лише після подолання межі даної групи. Розділення пакетів забезпечується кінцевими глухими пластинами, конструкція яких обмежується лише двома прохідними отворами. Кількість таких груп для цільового продукту та допоміжного теплоносія може бути як однаковою, так і відрізнятися. Структурну схему потоків у межах однієї зони записують у вигляді числового дробу, де чисельник

відображає параметри руху харчового продукту, а знаменник – сервісного середовища. При цьому число окремих цифр показує кількість пакетів, а саме цифрове значення визначає число паралельних каналів у кожному з них. Наприклад, запис $\frac{4+4+4}{12}$ означає, що продукт проходить послідовно через три пакети по чотири канали в кожному, тоді як теплоносії рухається одним спільним пакетом, який містить одразу дванадцять паралельних каналів. Якщо ж структура чисельника та знаменника повністю збігається, наприклад $\frac{6+6}{6+6}$, то це вказує на симетричне розведення потоків. Така збалансована схема є стандартною для блоків регенерації тепла. Натомість зони пастеризації, а також системи водяного та розсольного охолодження зазвичай мають асиметричну структуру: вони є багатопакетними для харчової сировини і однопакетними для відповідного робочого агента.

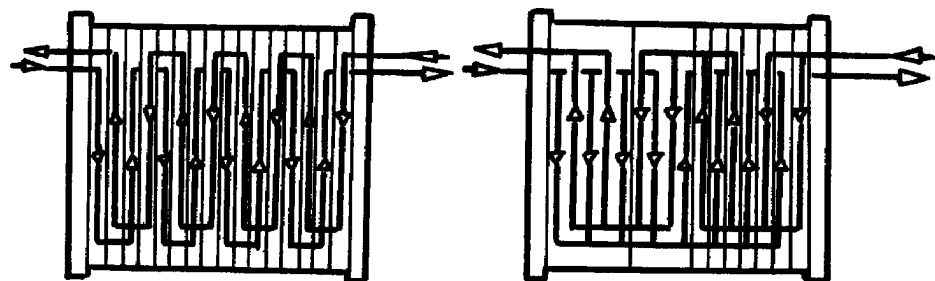


Рисунок.1.3 - Схема проходження нагрітого компонента через пастеризатор.

У ролі допоміжних робочих агентів у таких системах можуть виступати перегріта вода, водяна пара, звичайна водопровідна вода, спеціальні холодильні розсоли, а також крижана вода.

Популярність та масове впровадження розбірних пластинчастих апаратів на підприємствах зумовлені комплексом їхніх важливих

позитивних характеристик. Насамперед, усе термічне оброблення сировини реалізується в повністю ізольованій та герметичній системі труб і каналів. Окрім цього, пропускну здатність та потужність обладнання можна гнучко коригувати в досить великому діапазоні, просто додаючи або зменшуючи кількість робочих елементів для зміни загальної площі теплопередачі. Суттєвим плюсом є й те, що такі установки дають змогу ефективно повертати внутрішнє тепло завдяки процесу регенерації, а також дозволяють організувати автономне зациклене циркулювання для гарячого робочого середовища. Таке обладнання є дуже компактним і раціонально використовує простір цеху, займаючи мінімум підлогової площі при значних масштабах безпосереднього температурного контакту. Також специфіка збирання та будови цих пристроїв робить можливим проведення якісного санітарного оброблення без демонтажу за допомогою SIP-миття, забезпечує повний моніторинг параметрів на кожному кроці робочого циклу і дозволяє повністю інтегрувати техніку в автоматизовані системи керування.

Головним мінусом та слабким місцем подібних комплексів є наявність величезної кількості гумових прокладок та стиків, що підвищує ризик протікання, дещо ускладнює сервісний догляд, плановий ремонт, а також процедуру механічного очищення елементів у розібраному стані.

1.2. Ємнісні теплообмінники

Ємнісні теплообмінники монтують на лініях виробництва молочних продуктів, що мають малу продуктивність та періодичний режим роботи. У них може відбуватися завершений цикл виготовлення продукції, або одна із технологічних операцій. Апарати мають ємність із теплообмінною сорочкою, мішалку, привід, патрубки для подачі та відведення робочих середовищ.

Резервуари серії ВДП-300, конструктивне виконання яких відображено на рис. 1.4, а також аналогічні інженерні модифікації, застосовуються для тривалої термічної обробки сировини в режимі пастеризації при стабільних температурних показниках 83–85 °С з подальшим зниженням температури молока в цій же ємності до відмітки 8–10 °С.

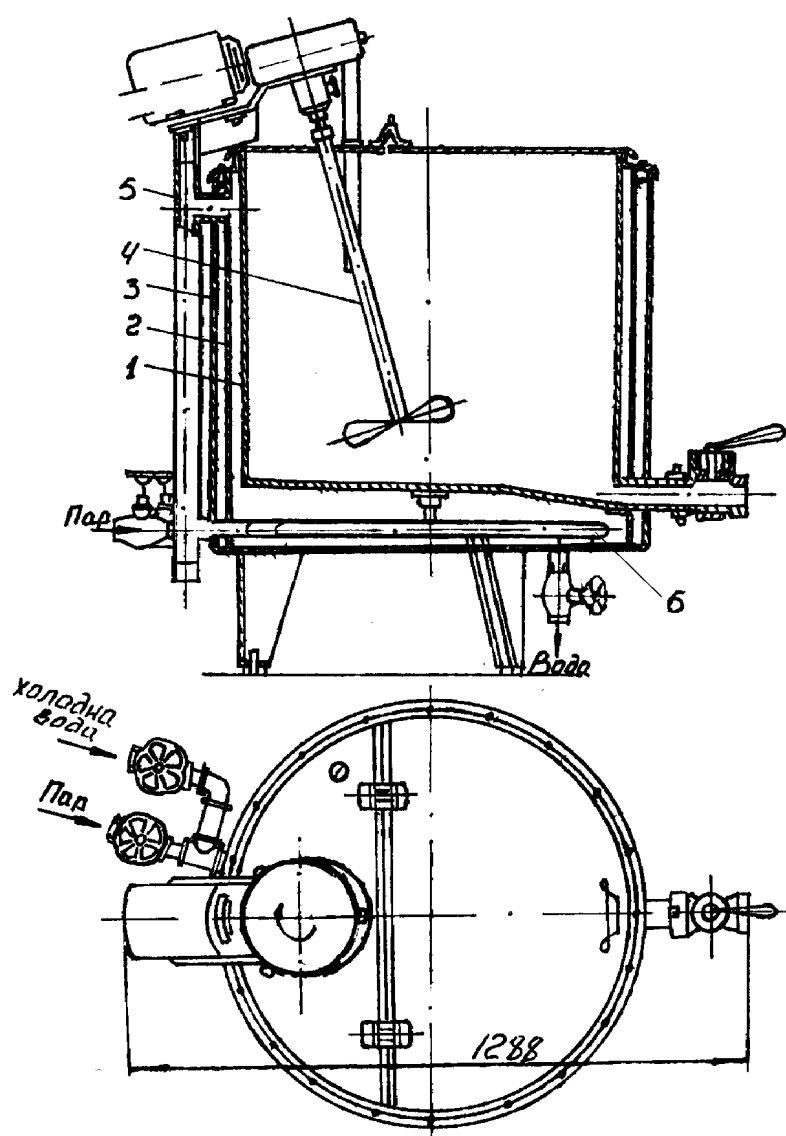


Рисунок 1.4 – Резервуар ВДП-300:

- 1– внутрішня ванна; 2 – зовнішня ванна; 3 – обшивка; 4 – мішалка;
5 – переливна труба; 6 – кільцева труба.

Основу конструкції становить робочий чан – внутрішня ванна 1, яка виробляється з високоякісного нержавіючого сталевих сплаву. Цей чан інтегрований у зовнішній двостінний корпус 2, причому ізольована порожнина, що утворилася між цими металевими стінками, виконує функцію рідинної теплообмінної сорочки (сорочки підігріву та охолодження). Нижня площина внутрішнього чана виконана з чітким конструктивним нахилом, у найнижчій точці якого вмонтовано випускний патрубок для підключення продуктової магістралі. Таке геометричне рішення дозволяє повністю уникнути інтенсивного піноутворення під час нижнього завантаження молочної маси, а також гарантує безперешкодне та повне вивантаження готового продукту з ємності без залишку.

У верхній частині між ваннами є ущільнювальне кільце. Передбачені патрубки для подачі та відведення пари та холодної води. У верхній частині сорочка через патрубок з'єднана з переливною трубою 5. Надлишок води буде зливатися. Пара, яка подається в сорочку рівномірно, розподіляється через кільцеву трубу 6. Теплова ізоляція ванни забезпечується прошарком повітря, яке знаходиться між стінками 2 і 3.

Для рівномірного перемішування продукту встановлена пропелерна мішалка 4. Привід здійснюється від електродвигуна через фрикційний редуктор. Частота обертання 157-162 об/хв. Час нагріву від температури 10 до 45 °С у ванні ВДП-600 - 80 хв.

Витрати теплової енергії на одиницю продукції більші ніж в пластинчатих і трубчатих теплообмінниках. Проте за рахунок широких технологічних можливостей вони знайшли широке використання, особливо в молочних цехах невеликої продуктивності.

Багатофункціональні резервуари марки ТУМ-1200 застосовуються для комплексної термічної та механічної обробки сировини, а також готових сумішей у молочній промисловості. Робочий діапазон температур апарату охоплює інтервал від високотемпературної пастеризації при 80 °С

до глибокого охолодження й резервування продукту при 5–6 °С. Для забезпечення циркуляції теплоносіїв та транспортування сировини танк комплектується продуктовим відцентровим насосом, а в донній частині його корпусу інтегровано механічний перемішуючий пристрій (мішалку) для інтенсифікації теплообміну та запобігання відстоюванню жиру.

З метою автоматичного моніторингу та контролю граничного рівня заповнення робочої ємності в конструкції передбачено поплавковий вимикач. Під похилим днищем внутрішньої нержавіючої ванни всередині теплообмінної сорочки змонтовано трубчастий змійовик, призначений для подачі штучного холодоагенту (розсолу), а також трубний барботер для безпосередньої інжекції водяної пари. Універсальні танки цієї серії найчастіше впроваджуються в технологічні лінії з виробництва різноманітної кисломолочної продукції, оскільки їхній функціонал дозволяє послідовно реалізувати в одному апараті цикли пастеризації, термостатної витримки, охолодження до температури заквашування чи фасування, а також тривалого зберігання готового продукту.

Для виробництва біологічно активних компонентів молочних продуктів застосовують спеціалізоване ємнісне обладнання – заквасочні агрегати та комплекси. Модельний ряд цих пристроїв характеризується значною варіативністю об'ємів, охоплюючи діапазон від 12 до 600 літрів. Малогабаритні модифікації, відомі під маркуваннями ОЗ-12, ОЗ-40, ОЗ-80, а також АКЗ-4, конструктивно виконані у вигляді двостінних резервуарів, де проміжок між металевими листами заповнений шаром термоізоляції. Верхня частина конструкції обладнана суцільною панеллю, у якій передбачені спеціальні посадкові отвори-гнізда під технологічні відра (ушати). Внутрішня порожнина між стінками ємності та зовнішньою поверхнею встановлених відер заповнюється рідким теплоносієм – водою. Її термічна обробка та доведення до потрібної температури реалізуються або за допомогою вбудованих трубчастих електронагрівачів (у моделях ОЗ-12), або шляхом безпосереднього впорскування гострої пари (у

модифікаціях ОЗ-40 та ОЗ-80).

Після того як температура сировини досягає необхідного для пастеризації рівня 90–95°C, запускається режим витримки тривалістю 50 хвилин. По закінченню цього етапу у міжстінний простір починає надходити проточна водопровідна або крижана вода, що дозволяє знизити температуру середовища до відмітки, необхідної для внесення культури мікроорганізмів.

Рівномірний розподіл тепла та вирівнювання температурних полів усередині ємностей протягом усього циклу забезпечується механічним способом за допомогою ручного перемішувального пристрою. При цьому точні температурні показники під час безпосереднього зброджування молока коригуються та утримуються в заданих межах завдяки вбудованим засобам автоматизації.

Апарати промислового типу, розраховані на значні об'єми переробки, такі як ОЗУ–300 та ОЗУ–600, за своїм інженерним виконанням та архітектурою багато в чому подібні до класичних ванн тривалої пастеризації. Головна відмінність полягає в тому, що в ізольованій сорочці, сформованій між внутрішнім робочим чаном та зовнішньою захисною обшивкою, додатково змонтована трубчаста спіраль – змієвик.

1.3. Трубчасті теплообмінники

Трубчасті теплообмінники застосовується переважно для термічної обробки та пастеризації незбираного молока або високожирних вершків без подальшого зниження їхньої температури в межах самого апарату. Експлуатація таких пристроїв є максимально раціональною в технологічних лініях, де гаряча сировина відразу спрямовується на наступні етапи переробки, які не передбачають проміжного охолодження.

Як приклад можна навести пастеризацію молочної сировини

безпосередньо перед її закачуванням у вакуум-випарні агрегати, або термічну підготовку вершків під час виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків. Крім того, вони підходять для високотемпературного оброблення молока в режимах ультрапастеризації чи стерилізації під тиском із досягненням температурних меж 120–130°C, а також можуть функціонувати як нагрівальні модулі в комбінації із зовнішніми регенераційними блоками.

Стосовно технічних особливостей, ці установки вирізняються конструктивною простотою та компактністю, що дозволяє значно економити корисну площу виробничого приміщення. В основі будови лежать два паралельні металеві циліндри (рис. 1.5), жорстко зафіксовані з обох кінців за допомогою спеціальних сполучних планок 5, які спираються на спільну трубчасту опорну станину.

До торців кожного циліндра методом зварювання прикріплені масивні трубні решітки (дошки). У ці елементи завальцьовано по 24 робочі трубки, внутрішній поперечний переріз яких становить 26 мм. При цьому зовнішній габаритний діаметр самого циліндричного корпусу дорівнює 250 мм, а його загальна довжина складає 1200 мм.

Як показано на схемі внутрішньої будови (рис. 1.6), у структурі трубних решіток виконані спеціальні розподільні камери 3 у вигляді пазів. Вони здійснюють послідовне чергування та з'єднання сусідніх внутрішніх трубок між собою, утворюючи за підсумком два безперервні трубні змійовики. Зовнішній доступ до цих вузлів закривається торцевими кришками з ущільнювальними прокладками, які щільно притискаються та фіксуються за допомогою накидних елементів кріплення.

На самому циліндричному корпусі передбачено наявність штуцерів та патрубків, призначених для безперервного нагнітання пари у внутрішній міжтрубний простір, а також для виведення відпрацьованої рідкої фази – конденсату.

Зовнішня частина циліндра надійно захищена шаром спеціального

термоізоляційного матеріалу та повністю схована під декоративно-захисним металевим кожухом.

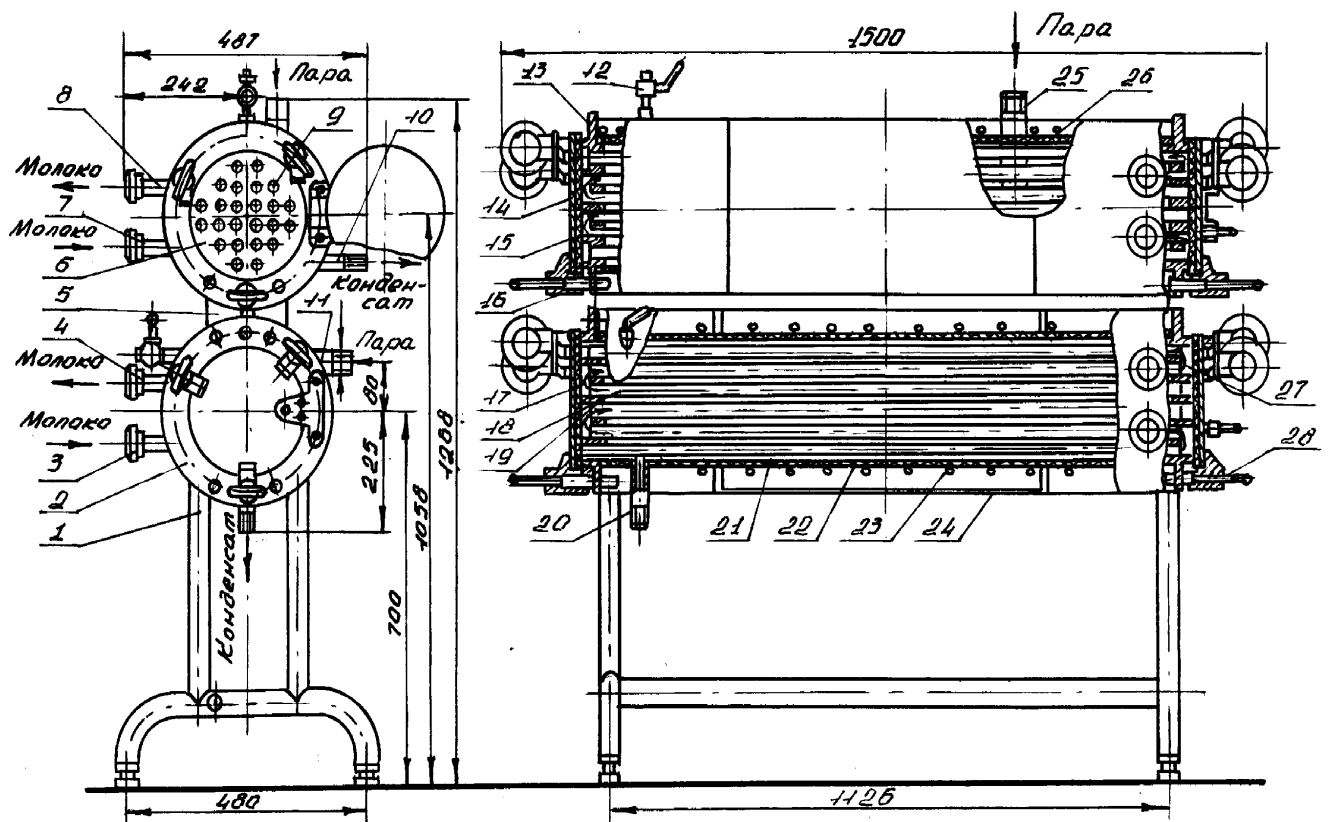


Рисунок 1.5 – Трубчастий теплообмінник:

1 – стійка; 2 – нижній барабан; 3, 6 – вхідні патрубки; 4, 7 – вихідні патрубки; 5 – з'єднувальна планка; 6 – верхній барабан; 9 – труба; 10 – патрубок виходу конденсату; 11 – патрубок поступлення пари; 12 – кран випуску повітря; 13 – трубна дошка; 14 – прокладка; 15 – кришка; 16 – термометр.

Подавання молочної продукції починається з її закачування в нижній циліндр через вхідний штуцер, де загальна маса рідини відразу розщеплюється на два окремі паралельні рукави. Рухаючись по внутрішніх каналах нижнього циліндра, ці потоки знову зливаються в один безперервний струмінь на виході, після чого молочна сировина спрямовується у верхній циліндр.

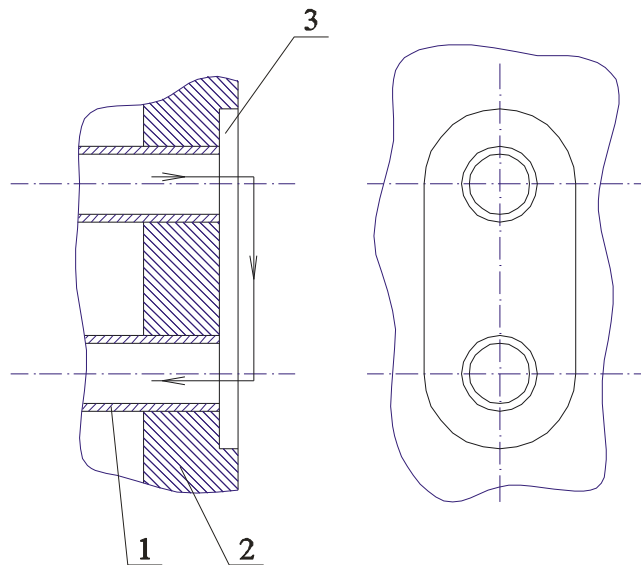


Рисунок 1.6 – Схема з'єднання труб в трубній решітці:

1 – труба; 2 – трубна решітка; 3 – камера.

Усередині верхнього циліндра рух продукту та його розподіл відбувається аналогічно. Паралельно з цим у міжтрубну порожнину апарату під тиском нагнітається гаряча пара, яка під час безпосереднього контакту зі стінками внутрішніх трубок віддає свою теплову енергію продукту. У процесі охолодження пара переходить у рідкий стан, і утворена вода безперервно виводиться назовні за допомогою спеціальних конденсатівідвідних пристроїв.

Для забезпечення ефективного видалення повітря з міжтрубного об'єму у верхній точці другого барабана передбачено наявність спеціального запірного вентиля. Під час первинного запуску та підготовки теплообмінника до роботи цей вентиль залишають у повністю відкритому положенні, що дозволяє парі безперешкодно витіснити повітря та рівномірно заповнити весь внутрішній простір між трубками. Як тільки з отвору вентиля починає виходити чиста пара, його щільно закривають, після чого відкривають відповідну арматуру для подачі сировини в систему.

1.4. Пароконтактні теплообмінні апарати

Пароконтактні теплообмінники інжекційного та інфузійного типів відрізняються мінімальними габаритними розмірами, надзвичайно високою інтенсивністю теплопередачі та, відповідно, мінімальною інерційністю при досягненні цільових температурних показників.

Апарати такого класу широко застосовуються для швидкісного підігріву сироватки та маслянки в потокових лініях безперервного виробництва технічного й харчового казеїну, а також у сучасних технологічних комплексах для ультрапастеризації та стерилізації питного молока.

Типова конструктивна схема пароконтактного теплообмінника інжекційного типу (пряме введення пари в потік рідини) наведена на рис. 1.7.

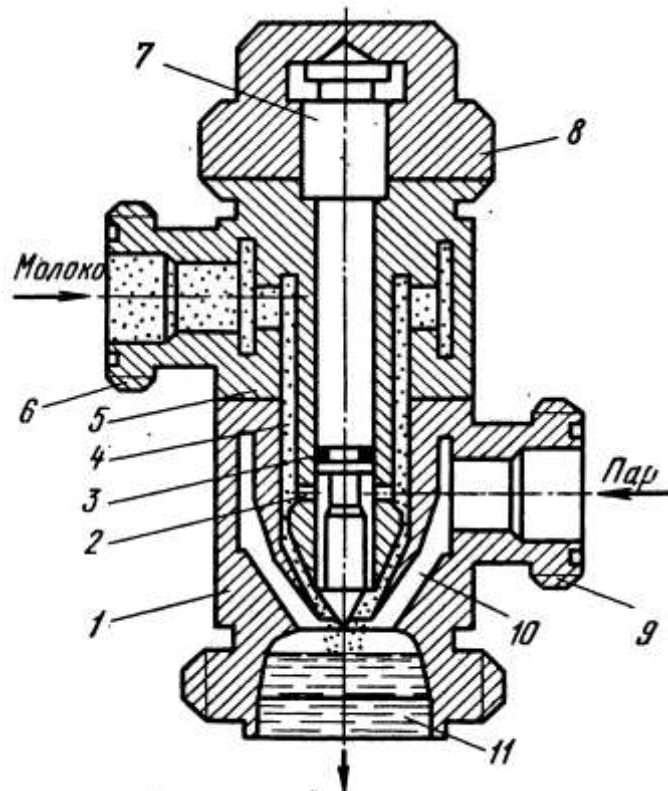


Рисунок 1.7 – Схема пароконтактного нагрівача інжекційного типу.

У промисловості значне поширення здобули змішувальні нагрівачі за принципом «пара в молоко», оснащені внутрішньою перфорованою трубчастою вставкою (рис. 1.8).

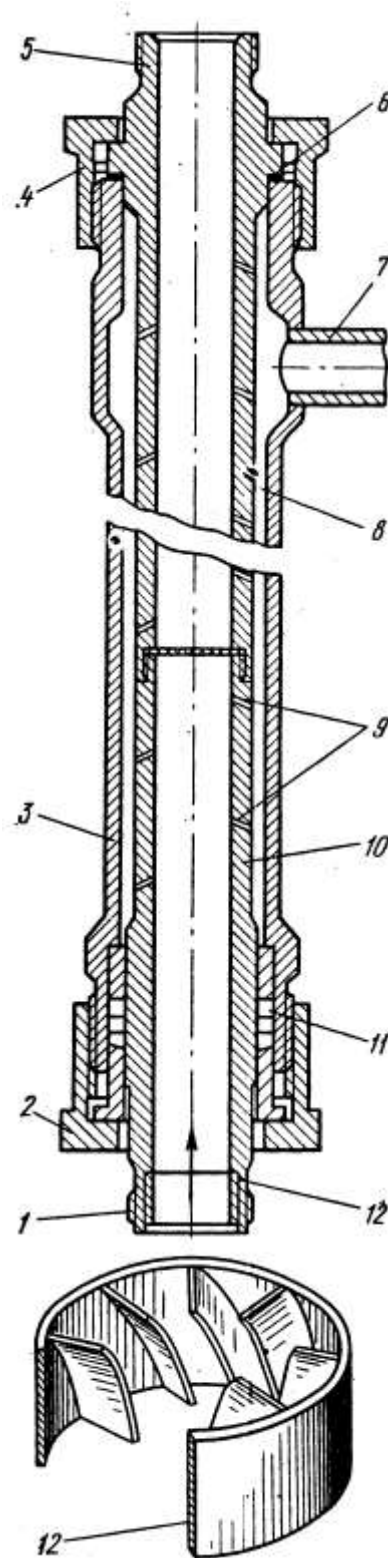


Рисунок 1.8 – Схема змішувального нагрівача, що функціонує за принципом «пара в молоко» та має перфоровану вставку.

У таких пристроях технологічний продукт безперервно рухається по центральній перфорованій трубі 10, тоді як гріюча пара під тиском подається в кільцевий простір, утворений між зовнішнім кожухом-корпусом 3 та перфорованою вставкою. Пара під дією перепаду тиску проникає крізь дрібні калібровані отвори безпосередньо в об'єм рухомого молока, де миттєво конденсується, віддаючи продукту питому теплоту фазового переходу і забезпечуючи його високошвидкісний прогрів. Експлуатація теплообмінників цієї групи вимагає обов'язкового встановлення надійної системи зворотних, запірних та регулюючих клапанів на підвідних магістралях. Це необхідно для повного унеможливлення аварійного прориву пари в продуктопровід при падінні тиску рідини або, навпаки, закидання молока в парову систему при зупинці лінії.

Нагрівальні апарати інфузійного типу, що функціонують за зворотним принципом – «молоко в пару», інтегруються переважно у високоефективні асептичні стерилізаційні установки (рис. 1.9).

В основі конструкції інфузора лежить герметична камера 1, внутрішній простір якої стабільно заповнений насиченою водяною парою. Пара безперервно надходить в апарат через впускний штуцер 2, тоді як рідке молоко подається у верхню зону камери крізь відцентрову розпилювальну форсунку 3. Окрім форсуночного розпилення, молочна сировина може вводитися в парове середовище у вигляді системи тонких відокремлених струмин, що формуються під час проходження продукту крізь верхній перфорований диск-розподільник. Завдяки величезній сумарній площі контакту дрібних крапель або струмин рідини з парою, нагрівання продукту до температур стерилізації (близько 140 °C) відбувається майже миттєво під час його вільного падіння всередині камери.

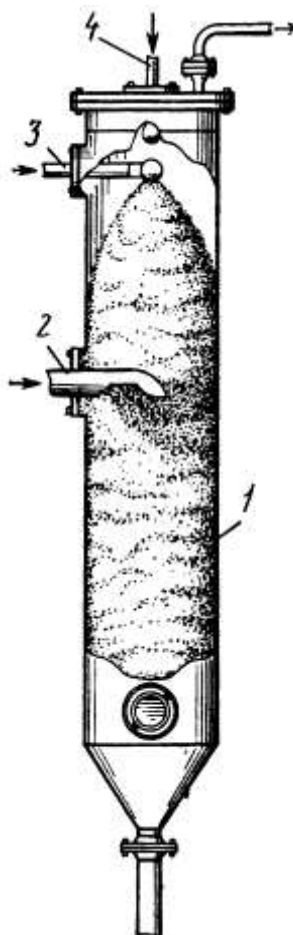


Рисунок 1.9 – Нагрівальний інфузійний апарат, що функціонує за принципом «молоко в пару»:

1 – камера; 2, 4 – патрубок; 3 – форсунка.

1.5. Трубчаті зрошувальні охолоджувачі подвійної дії

Для зниження температури високожирних вершків застосовують поверхневі трубчасті апарати зрошувального типу. На підприємствах найчастіше використовуються дві базові модифікації такого обладнання, розраховані на обсяги переробки 1000 та 2000 літрів за годину.

Конструкція цих охолоджувальних комплексів відкритого типу передбачає наявність двох роздільних робочих зон – блоку водяного охолодження та блоку розсольного охолодження. У найвищій точці установки змонтовано спеціальний розподільний лоток-корито.

Безпосередня зона теплообміну сформована з горизонтальних металевих трубок, розташованих вертикально одна над одною і послідовно об'єднаних по торцях сполучними дугами-калачами.

Молочний продукт тонкими цівками витікає крізь дрібні калібровані отвори в розподільному лотку, які мають поперечний переріз від 1,5 до 2 мм, після чого рівномірним шаром обволікає зовнішні стінки трубок з обох боків робочих секцій і під дією власної ваги стікає донизу. У самому низу апарату розташована приймальна ємність для збору охолодженої сировини, обладнана випускним штуцером.

Усередині трубного простору організовано циркуляцію відповідного енергоносія, яким може виступати штучний розсіл, крижана або звичайна водопровідна вода. Під час стікання та безпосереднього контакту з охолодженим металом вершки швидко віддають тепло. Ключовим мінусом подібних відкритих систем є безпосередній контакт продукту з навколишнім середовищем у процесі стікання, що створює ризики вторинного мікробіологічного обсіменіння молочної сировини.

Перед кожним виробничим запуском увесь комплекс обладнання, включаючи трубчасті блоки, транспортувальні помпи та з'єднувальні трубопроводи, піддається обов'язковому санітарному обробленню та знезараженню. Спочатку в систему на 12–15 хвилин подається підігрітий до 65–75°C 1%-й лужний розчин кальцинованої соди, який згодом повністю вимивається чистою водою.

Наступним кроком є циркуляція дезінфікуючого розчину хлорного вапна протягом 10 хвилин. Після цього лінію ретельно ополіскують холодною водою та прогрівають за допомогою гарячої води чи пари до температурних показників 90–95°C. У системах зрошувального типу мийними розчинами та чистою водою додатково обробляють усі зовнішні робочі площини.

У разі виникнення аварійної чи незапланованої перерви в подачі сировини оператор повинен миттєво перекрити клапан подачі пари,

видалити повітря та залишки робочих середовищ із корпусів циліндрів через повітряні дренажні клапани, повністю зупинити рух холодильного розсолу в систему і лише після цього вимкнути помпи, що качають молоко.

Щоб унеможливити потрапляння повітряних бульбашок у внутрішні контури, мінімальний рівень рідини у буферній вирівнювальній місткості має постійно становити щонайменше 300 мм.

До моменту надходження продукту в термічний контур один із суміжних сепарувальних апаратів лінії повинен бути виведений на номінальний режим роботи. На початковому етапі молочна сировина витісняє з труб залишки чистої води, що використовувалася для фінального ополіскування. Доки система не вийде на задані температурні параметри пастеризації, весь вихідний потік автоматично перенаправляється по зворотному колу в буферну місткість. Як тільки спрацьовує перемикаючий автоматичний клапан, відкриваючи вихід на лінію пастеризації, одночасно запускається подача охолоджувальної води та розсолу.

Стабільний та безаварійний режим роботи установок вимагає безперервного та рівномірного проходження рідини крізь канали теплообмінника. Якщо надходження сировини припиняється, необхідно негайно заблокувати магістраль подачі пари, організувати автоматичне заповнення буферного бака чистою водою і після цього перекрити лінії циркуляції холодильного розсолу.

Після завершення виробничого циклу припиняють завантаження молока у вирівнювальний резервуар, замінюючи його водою для проведення первинного витіснення та очищення контурів. Подальша повна санітарна обробка системи реалізується за чітким трьох етапним регламентом.

Спочатку здійснюється промивання проточною холодною водою протягом 10–15 хвилин до повного видалення візуальних залишків

молочного жиру та білка. Другим етапом є циркуляція розчину азотної кислоти для видалення мінеральних відкладень та молочного каменю. Завершується процес фінальним ополіскуванням чистою холодною водою, яке триває до повного вимивання та нейтралізації залишків кислотного розчину.

1.6. Комплекси для теплової обробки молочних продуктів

Комплекси, призначені для термічної обробки сировини в молочній промисловості, створюються навколо базового теплообмінного апарату певного конструктивного типу. Окрім нього, до складу таких ліній інтегрується велика кількість допоміжних технічних засобів та агрегатів для виконання суміжних операцій. Зокрема, стабільність робочого процесу підтримується за рахунок буферних пристроїв для збалансованого живлення системи (вирівнювальних баків), стабілізаторів витрати рідини, автоматичних перепускних (зворотних) клапанів, спеціальних модулів для фіксації температурного впливу, а також вимірювальних приладів, які безперервно фіксують тиск та температурні показники в контурі.

Під час збирання та налагодження повнофункціональних пастеризаційно-охолоджувальних комплексів їх додатково доукомплектовують відцентровими очисниками, сепарувальними пристроями для розділення або стандартизації за вмістом жиру, гомогенізаторами для подрібнення жирових кульок, транспортувальними помпами та автономними вузлами для генерації й підготовки перегрітої води.

Витримувач

Головне завдання витримувача полягає в забезпеченні перебування молочної сировини в умовах досягнутої температури пастеризації

протягом строго визначеного часового інтервалу. Тривалість цього етапу перебуває у прямій залежності від рівня термічного впливу: наприклад, за умов високотемпературного прогріву до 96°C достатньо всього 1–2 секунд, при стандартних режимах у межах $72\text{--}76^{\circ}\text{C}$ цей період триває 18–20 секунд, а за делікатної тривалої обробки при 60°C тривалість експозиції збільшується до 15 хвилин.

У серійних лініях пастеризації та охолодження марок ОП2-У5, ОП2-У10, а також ОП2-У15 цей вузол, конструкція якого схематично представлена на рис. 1.10, виконаний у формі одиночної циліндричної місткості з внутрішнім поперечним перерізом 165 мм або у вигляді системи з двох паралельно сполучених циліндрів.

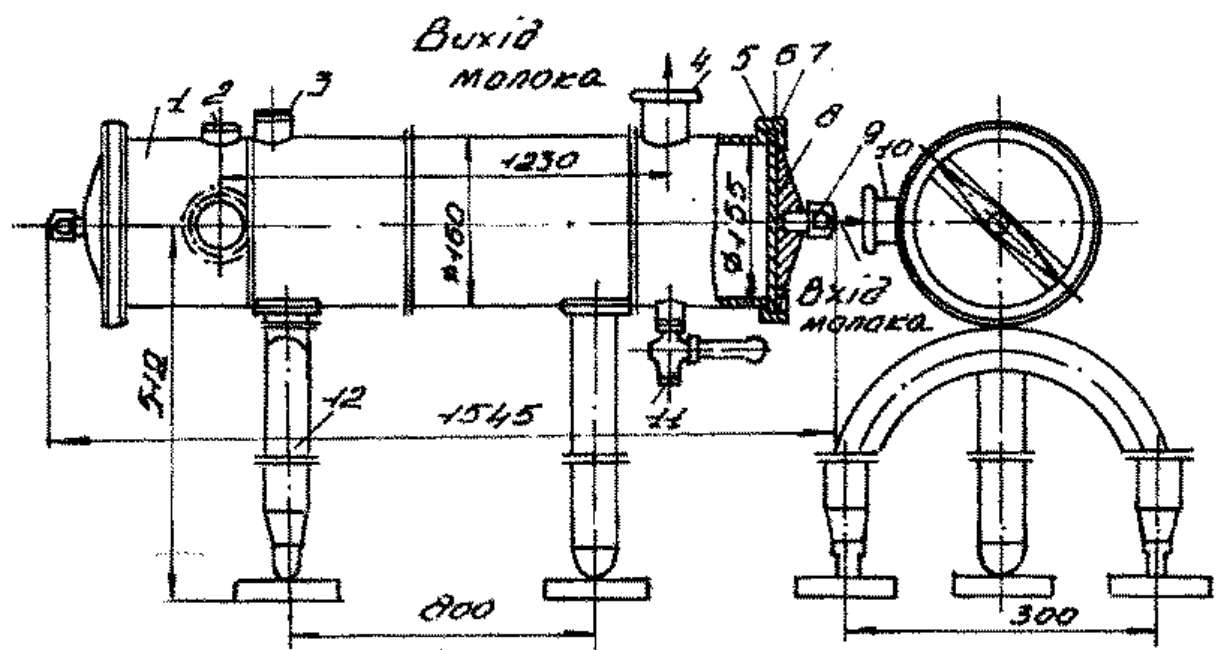


Рисунок 1.10 – Витримувач.

У корпусі такого блока облаштовано штуцери для вхідного та вихідного потоків сировини, захисну гільзу-оправу для монтажу вимірювального термометра, а також зливний кран, що служить для відбору зразків на аналіз і повного спорожнення контуру після завершення зміни.

Крім того, даний елемент може мати альтернативне інженерне виконання у вигляді трубчастого змійовика, зібраного з колін поперечним перерізом 50 або 80 мм. Подібну трубну конструкцію зручно монтувати безпосередньо над головним теплообмінним блоком, що раціоналізує використання простору в цеху. Довжину траєкторії та час перебування молока в зоні витримки можна легко нарощувати шляхом підключення додаткових змійовикових сегментів, що дає змогу знизити необхідну температуру обробки та мінімізувати загальне споживання енергії обладнанням.

Вирівнювальний бак

Вирівнювальний бак (рис. 1.11) функціонує як буферний накопичувач, що гарантує стабільне та розмірене транспортування сировини до теплообмінного блоку. Основою конструкції є закрита посудина, оснащена внутрішньою системою автоматичного коригування об'єму за допомогою рухомого поплавця.

Закачування молочної маси в резервуар реалізується крізь штуцер, розташований у нижній зоні трубчастого або циліндричного корпусу, тоді як видалення рідини відбувається через зливний отвір у нижній точці дна. Безпосередньо на входній магістралі змонтовано запірний механізм, до складу якого входить рухомий клапан 8. Він розташований у сідлі 9, обладнаний притискним фланцем та еластичним захисним кільцем 10. На фланцеву частину сідла здійснює механічний тиск плече важеля, з'єднаного з поплавцем.

У момент, коли тиск молочного продукту починає діяти на робочу зону, прохідний отвір звільняється, і рідина заповнює внутрішній простір корпусу.

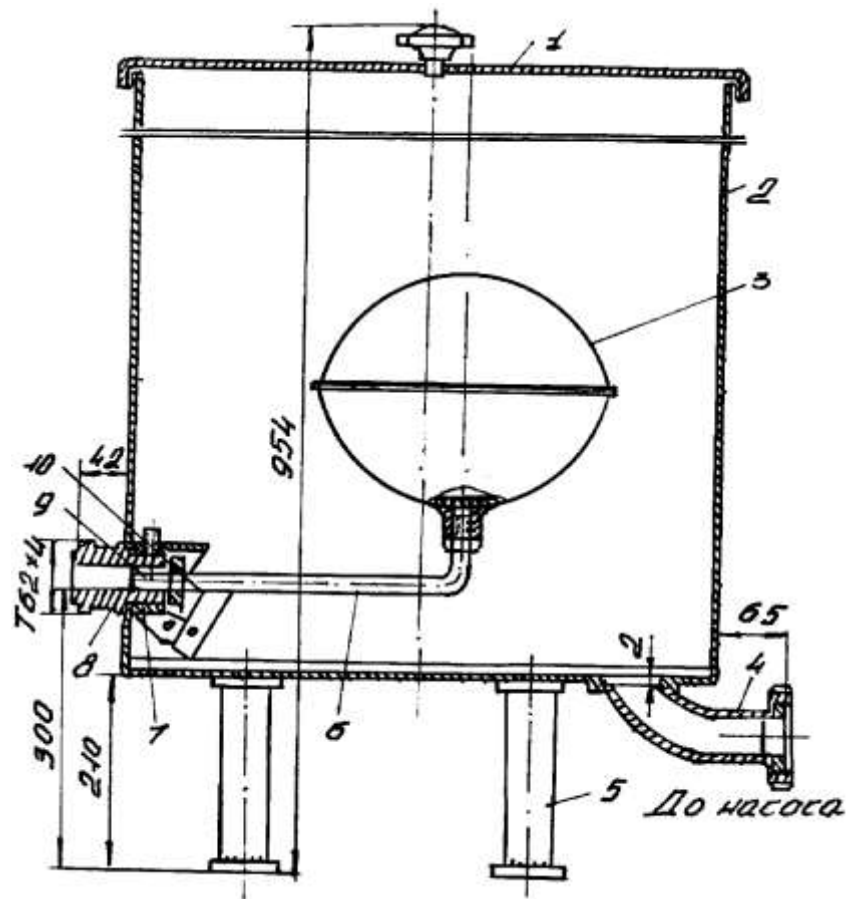


Рисунок 1.11 – Вирівнювальний бак.

У міру того як рідинне наповнення всередині резервуара зростає, пустотіла сфера поплавця піднімається вгору, змушуючи сполучний стрижень повертатися навколо опорної осі. При цьому протилежне коліно важільного механізму через герметизуюче проміжне кільце притискає робоче сидло до тіла клапана, перекриваючи вільний зазор. Внаслідок цього інтенсивність завантаження сировини знижується аж до повного блокування магістралі. Коли ж об'єм рідини падає, контрольна сфера опускається, звільняючи прохід у сидлі клапана, що призводить до відновлення та активізації притоку сировини.

Для коректного та безпечного функціонування всієї технологічної лінії необхідно забезпечувати постійну наявність шару продукту в ємності заввишки як мінімум 300 мм, оскільки інакше виникає небезпека підсмоктування повітря в робочі контури.

Фізичні параметри та геометрія плавучого елемента розраховані так, щоб у своїй найвищій точці (що відповідає граничному об'єму рідини в баку) він був здатний повністю протидіяти напору сировини, яка нагнітається відцентровою помпою або надходить у систему за рахунок гідростатичного тиску стовпа рідини.

Регулятор рівномірності потоку

Стабілізатор витрати рідини призначений для підтримання сталого об'єму подачі сировини відповідно до встановленої пропускної здатності лінії. Це дозволяє забезпечити стабільний час витримки молока при температурі пастеризації. Типова конструкція цього вузла схематично представлена на рис. 1.12.

Усередині захисного кожуха-корпусу регулятора змонтовано порожнистий циліндричний елемент 6, що має бічні прорізи-вікна 4. Верхня частина цього циліндра заблокована заглушкою-пробкою 9. Всередині розташований рухомий золотниковий пристрій 7, який за допомогою сполучної шпильки 8 та металевого штока 3 жорстко об'єднаний із контрольною тарілкою-грибком 1, розміщеною в робочій порожнині регулювальної камери. Сам шток 3 вільно переміщується в центральному отворі напрямного вінця.

Процес автоматичного регулювання відбувається за такою схемою:

Молочна сировина закачується в систему знизу крізь вхідний патрубок, спрямовується у кільцевий простір між стінками циліндрів і потрапляє безпосередньо в регулювальну зону. Під впливом зростаючого динамічного напору потоку контрольний грибок 1 зміщується вгору. Робочий шток захоплює за собою золотниковий пристрій 7, який частково перекриває прохідні вікна 4, обмежуючи витрату рідини та повертаючи її до номінального значення.

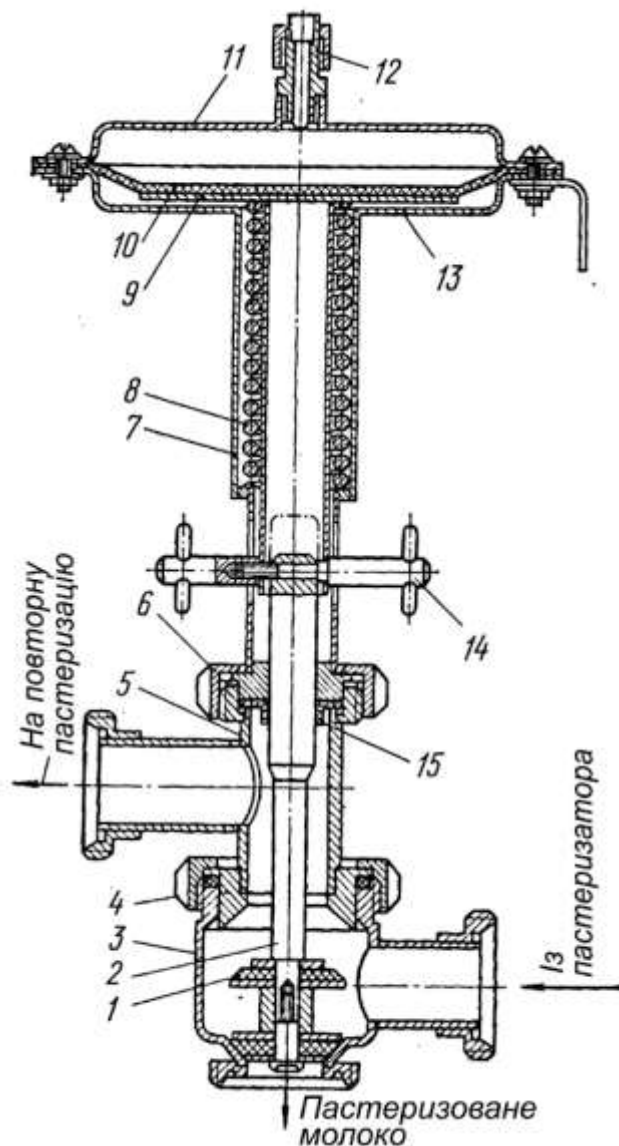


Рисунок 1.12 – Конструктивна схема регулятора рівномірності потоку молока.

Якщо динамічний напір на вході падає, контрольна тарілка-грибок 1 під власною вагою опускається.

Коли через систему проходить недопастеризоване молоко, мембранний елемент утримується у верхній точці, і під дією пружини чутливий грибок піднімається, змушуючи золотник повністю заблокувати магістраль, що веде на фасування чи розлив. Як тільки температурний режим приходить у норму і пастеризація забезпечується в повному обсязі, мембранний елемент зміщується в нижню точку, захоплюючи за собою

чутливий грибок та центральний шток. Внаслідок цього руху золотник перекриває поворотний патрубок і одночасно відкриває прямий вихід для спрямування готового продукту на розлив.

1.7. Сучасні автоматизовані комплекси для термічного та механічного оброблення молочної сировини

Сучасні автоматизовані комплекси для термічного та механічного оброблення молочної сировини розробляються в широкому діапазоні потужностей – від 3000 до 25000 літрів за годину. Інженерне виконання цих ліній дозволяє здійснювати повний замкнутий цикл підготовки молока перед безпосереднім розливом у споживчу тару.

Стандартна архітектура такого комплексу (рис. 1.13) об'єднує буферну проміжну місткість, відцентрову помпу для перекачування рідин, головний розбірний апарат пластинчастого типу, трубний чи циліндричний витримувач, відцентровий очисник сировини, вузол для відокремлення вершків, автоматизований перемикаючий вентиль, а також комплекс контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації.

Головний пластинчастий теплообмінник конструктивно розділений на п'ять функціональних зон. Сюди входять перший та другий блоки регенеративного теплообміну (секції I та II), центральний нагрівальний блок пастеризації (секція III), а також фінальні охолоджувальні блоки, що працюють на водопровідній воді та штучному холодоагенті (секції IV та V відповідно).

Транспортування сировини починається з буферного бака, звідки за допомогою відцентрової помпи вона нагнітається у початкову секцію регенерації. Доведена в цьому блоці до температури 40...45°C рідина перенаправляється на відцентровий сепаратор-молокоочищувач.

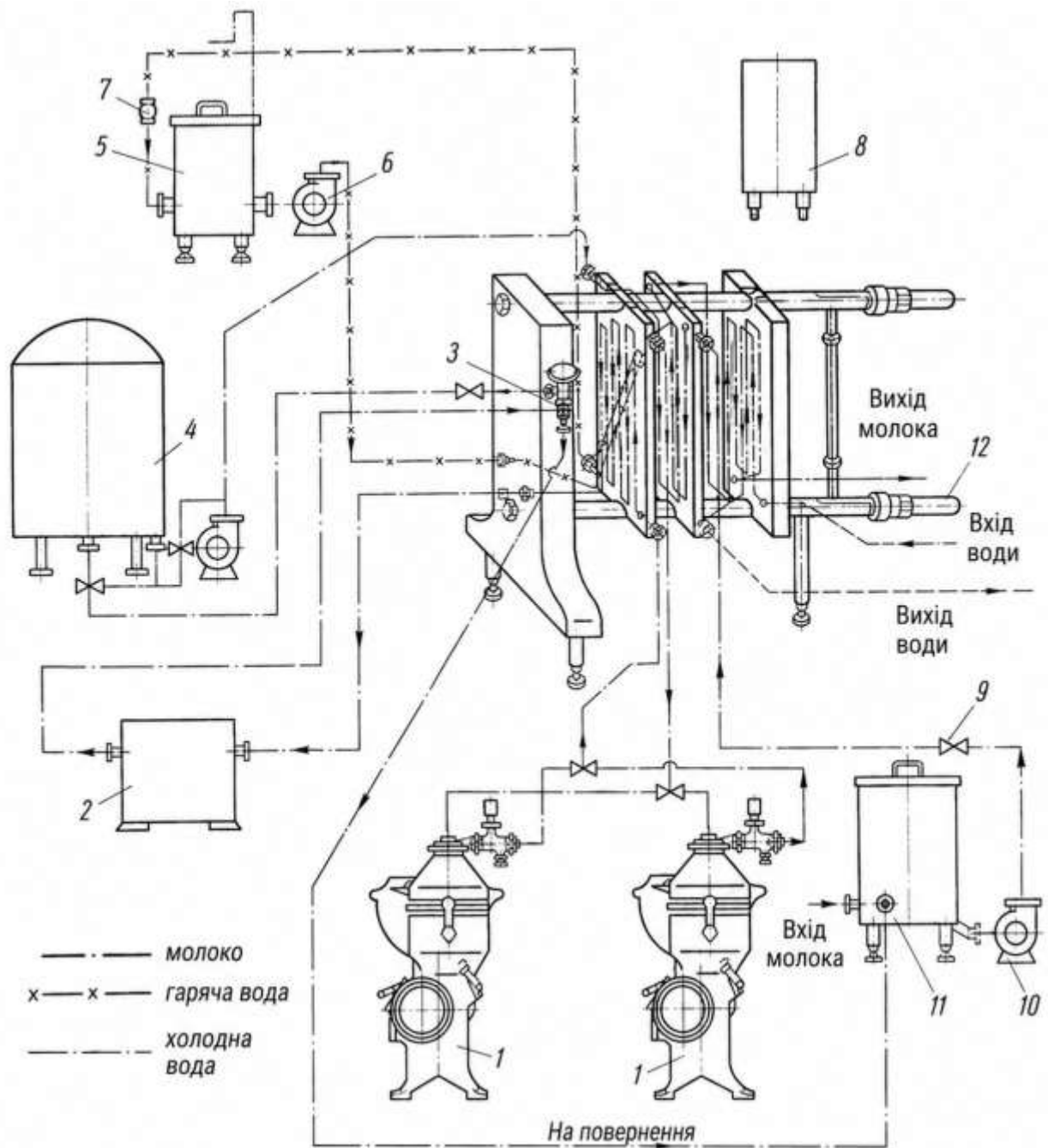


Рисунок 1.13 - Пластинчастий теплообмінник.

Пройшовши механічне очищення, молочна маса послідовно закачується у другу секцію регенерації, де за рахунок зустрічного теплового потоку прогрівається до $65...70^{\circ}\text{C}$, після чого відразу надходить у зону пастеризації III. У цьому блоці суміш досягає цільової температурної відмітки $76...80^{\circ}\text{C}$.

Далі гарячий продукт спрямовується у витримувач, де його

температура фіксується протягом заданого часу, і крізь автоматичний перемикаючий клапан повертається спочатку в першу, а потім у другу секції регенерації для віддачі тепла холодному вхідному потоку. Останнім етапом є послідовне проходження зон водяного IV та розсолного V охолодження, завдяки чому на виході з лінії готова продукція має температуру 4...6°C.

Спеціалізовані автоматизовані комплекси марок ОПЛ-5 та ОПЛ-10 розроблені для термічної підготовки сировини під час випуску різноманітних кисломолочних напоїв, а також сирів (рис. 1.14).

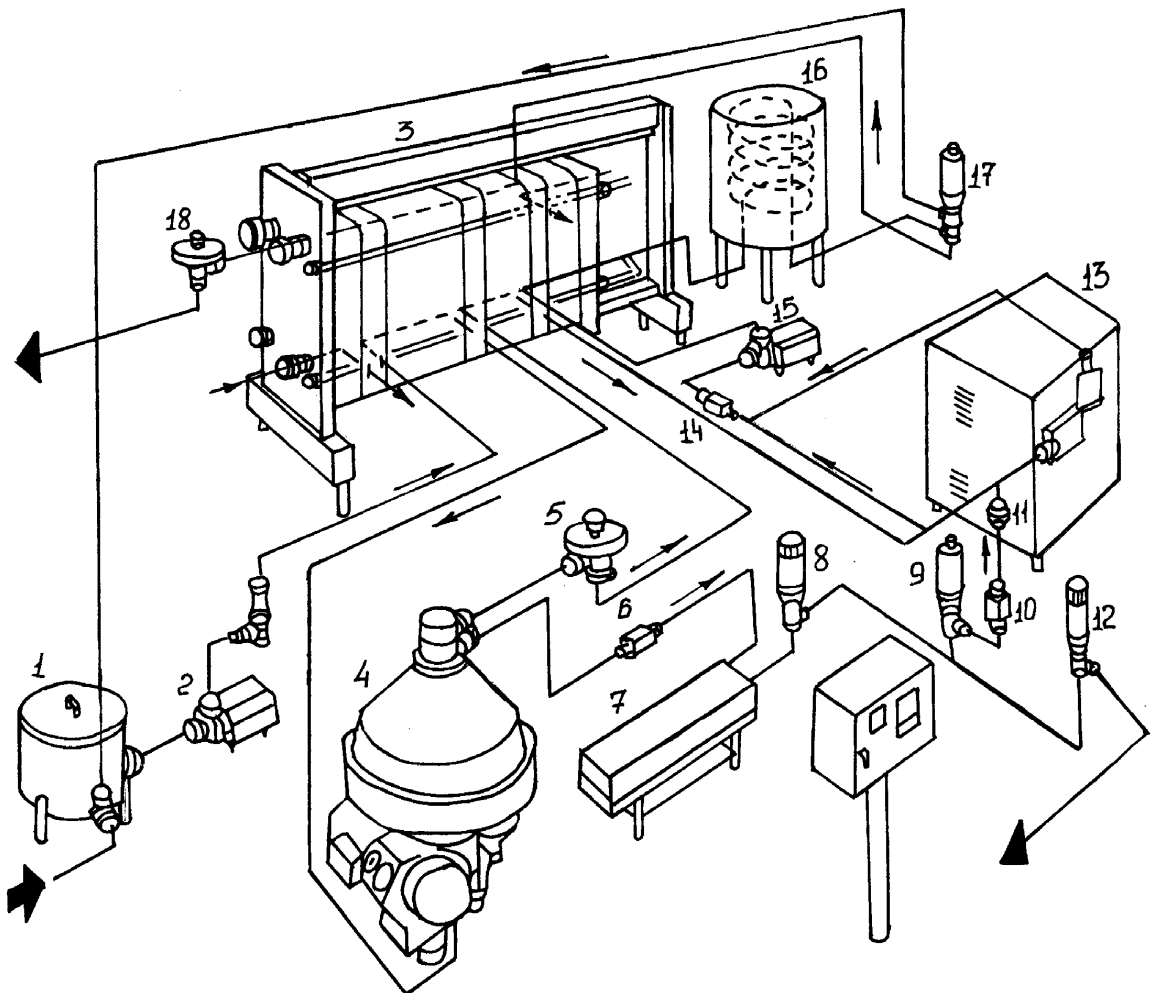


Рисунок 1.14 - Автоматизовані пластинчаті пастеризаційно-охолоджувальні установки.

Конструктивною особливістю внутрішніх теплообмінних блоків цих модифікацій є повна відсутність контуру для циркуляції холодильного розсолу. Завдяки такій інженерній схемі молочна маса на виході з апарату утримує вищу температуру в межах 20–35°C, що ідеально відповідає температурним вимогам для подальшого внесення бактеріальних заквасок.

Для термічної обробки та зниження температури високожирних вершків із вмістом жиру на рівні 30–35% застосовують автоматичні системи ОП1-У1 та ОП1-У2, що мають годинну пропускну здатність відповідно 1000 та 2000 літрів. Технологічний режим передбачає миттєве прогрівання продукту до позначки $90 \pm 2^\circ\text{C}$ без проміжного термостатування у витримувачі, після чого вершки охолоджуються до 4°C . Конфігурація робочих пакетів цих установок базується на стандартизованих елементах типу П2. Транспортування густої сировини в контур здійснюється за допомогою ротаційного насосного агрегату НРМ-2, хоча технічно можливе підключення й інших pomp об'ємного типу дії.

Лінії ОПЯ-1,2 і ОПЯ-2,5, для пастеризації та охолодження молочної сировини для морозива, розраховані на обсяги переробки 1200 та 2500 літрів за годину. Їхній пластинчастий робочий блок так само змонтований з елементів серії П2 та об'єднує повний набір зон: регенеративний модуль, модуль пастеризації, а також модулі водяного та розсольного охолодження. Сировина пастеризується при $86\text{--}90^\circ\text{C}$ та охолоджується до фінальних $2\text{--}6^\circ\text{C}$. Технологічний маршрут руху суміші побудований так, що з нагрівального блока пастеризації вона спочатку перенаправляється на диспергування в гомогенізатор, а вже після цього повертається у зону регенерації, де віддає накопичену теплову енергію зустрічному потоку холодних вершків. Нагнітання робочої емульсії в систему забезпечується помпою марки НРМ-2.

Для підготовки молока перед подачею на відцентрові сепаратори застосовують односекційні пластинчасті підігрівачі, які забезпечують підвищення температури рідини до $35\text{--}40^\circ\text{C}$. Джерелом теплової енергії в

таких пристроях виступає пара або перегріта вода з температурними показниками в межах 76–96°C. Керування процесом може відбуватися як в ручному, так і в автоматичному режимах. Зокрема, підігрівальні установки моделі А1-ОНС-5М спроможні переробляти до 5000 літрів сировини за годину. Вони мають спрощену односекційну конструкцію на базі пластин типорозміру П1, де моніторинг температури виконується оператором візуально за приладами, регулювання інтенсивності подачі молока та розсолу здійснюється ручними запірними органами, а як теплоносієм використовується водяна пара.

Автоматизовані охолоджувальні комплекси пластинчастого типу широко впроваджуються для первинного зниження температури свіжонадоєного молока безпосередньо на тваринницьких фермах та приймальних заготівельних пунктах, а також для додаткового охолодження сировини під час її зберігання в буферних танках-резервуарах.

Автоматичні холодильні установки марок ООУ-М та ООТ-М із годинною продуктивністю 3000 та 5000 літрів відповідно призначені для зниження температури молочної маси від початкових 35°C до безпечних $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Внутрішня архітектура теплообмінників сформована з пластинчастих елементів серії П1 і розподілена на дві послідовні зони: модуль водяного та модуль розсольного охолодження. У першій водяній секції температура молока падає до проміжної відмітки 20–22°C, а фінальне доохолодження до цільових параметрів забезпечується в розсольній секції.

Більш потужні холодильні установки моделей ОО1-У10 та ООУ-25 експлуатуються в режимах зняття теплового навантаження з молока від вихідних 20°C до кінцевих 4°C. Пропускна здатність цих промислових агрегатів під час охолодження складає відповідно 15000 та 25000 літрів за годину.

Автоматизована тонкошарова пастеризаційно-охолоджувальна

установка марки ОЛО спроектована для швидкісної термічної обробки вершків у мінімальному об'ємі робочого зазору з їхнім подальшим миттєвим охолодженням. Цей апарат безпосередньо інтегрується в потокові лінії виготовлення вершкового масла методом збивання. Потужність комплексу досягає 3000 літрів за годину при пастеризаційних режимах у межах 85–96°C та вихідній температурі охолодженого продукту 4–6°C. Технічний комплекс об'єднує такі основні вузли: розбірний пластинчастий апарат, вирівнювальний буферний бак із вбудованим поплавковим контролером рівня, відцентрову помпу для продукту марки 36МЦ 10-20, водогрійний бойлер, помпу для циркуляції гарячої води, паровий інжектор, регулюючий та перепускний автоматичні клапани, а також загальний пульт керування.

Внутрішня структура головного теплообмінника включає блоки регенерації, пастеризації, а також першу та другу секції водяного охолодження. У пастеризаційному блоці як нагрівальний агент застосовується перегріта вода. За такої схеми руху на виході з регенераційного модуля температура сирії непастеризованої вершкової маси становить 48–65°C, тоді як зустрічний потік уже пастеризованого продукту охолоджується до 34°C.

1.8. Обґрунтування актуальності та технічних вимог до системи керування установкою для термічної обробки молока

Головною метою проектування та впровадження автоматичної системи керування для трубчастої пастеризаційної установки марки Т1-ОУТ є суттєве підвищення загальної ефективності та продуктивності обладнання [10-15]. Цього досягають за рахунок інтенсифікації та забезпечення безперервності технологічного й виробничого циклів, оптимізації контурів керування на всіх етапах обробки сировини, а також

максимального збільшення коефіцієнта корисного завантаження технологічних потужностей.

Автоматизація дозволяє повністю ліквідувати непродуктивні простої, мінімізувати чисельність безпосереднього обслуговуючого персоналу, оптимізувати використання виробничих площ цеху, гарантувати стабільно високу якість готової молочної продукції, звести до мінімуму відсоток браку, а також забезпечити сувору економію сировинних компонентів, допоміжних матеріалів, електричної енергії та палива.

Абсолютна більшість сучасних систем керування високотехнологічним промисловим обладнанням проєктується за чітким ієрархічним принципом і включає кілька взаємопов'язаних рівнів (від польового до верхнього рівня диспетчеризації).

У контексті автоматизації процесів високотемпературної термічної обробки молока традиційні апарати та пристрої автоматики релейно-контактного типу виявляються малоефективними. Вони нездатні забезпечити необхідну динаміку процесу, мають високу інерційність і характеризуються занадто великою похибкою під час статичного та динамічного регулювання критичних параметрів (насамперед температури пастеризації), що є неприпустимим для суворих вимог харчових технологій.

Наявна система керування установкою пастеризаційною трубчастою Т1-ОУТ – це аналоговий регулятор, що забезпечує алгоритм ПІ-регулювання. Система досить проста, забезпечує надійне дотримання заданих технологічних параметрів. Недоліком даної системи є:

- неможливість змінити алгоритм регулювання;
- складність налагодження та обслуговування;
- неможливість оперативного внесення змін в програму;
- непридатність до роботи в мережі.

Оптимізувати показники ефективності та знизити витрати під час

термічної обробки молочної сировини можна шляхом переходу від пропорційно-інтегрального принципу контролю параметрів до пропорційно-диференціального або комплексного ПІД-регулювання.

Для управління робочими процесами у трубчастому пастеризаційному апараті Т1-ОУТ підходять усі три згадані типи алгоритмів. З огляду на це, актуальним завданням є створення автоматизованого комплексу контролю та управління для обладнання Т1-ОУТ.

Дана система має функціонувати на рівні, що щонайменше не поступається вихідному зразку за критеріями продуктивності та енергоефективності, а також повністю задовольняти теперішні нормативи, які висуваються до автоматизації виробничих агрегатів.

Оновлений керуючий комплекс покликаний підтримувати заданий температурний режим пастеризації молока в межах установки Т1-ОУТ, що досягається завдяки коригуванню подачі теплоносія в теплообмінні блоки та регулюванню швидкості руху сировини всередині трубних каналів, для чого знадобиться вдосконалення як самої системи автоматики, так і безпосередньо внутрішньої архітектури теплообмінника.

Виходячи з попередніх теоретичних міркувань необхідно спроектувати систему керування, яка повинна контролювати витрату молока через агрегати пастеризатора, температуру потоку молока на вході та виході пастеризатора з метою відповідності якісних умов проведення технологічного процесу пастеризації.

Крім цього важливо порівнювати температуру сировини та температуру обшивки пастеризатора, так як від цього змінюються умови теплообміну і тоді необхідно регулювати подачу пари і сировини по трубах теплообмінних апаратів установки.

2. Проектна частина

2.1. Аналіз експлуатаційних параметрів установки для неперервної пастеризації молока

Установка Т1-ОУТ (рис. 2.1) призначена для швидкої пастеризації в потоці молока на молочних, сироварних, маслоробних та молочно-консервних заводах.

Технічна характеристика установки Т1-ОУТ:

1. Продуктивність у годину, л	10000
2. Температура, °С	
– молока початкова	10
– пастеризації	80...90...90
3. Тиск пари, МПа:	
– перед приладами регулювання	0,3...0...0,4
– на вході в парові сорочки циліндрів	0,03...0...0,04
4. Витрата пари, кг/год	1500
5. Поверхня теплопередачі, м ²	9,0
6. Швидкість руху молока в трубах, м/с	2,4
7. Максимально припустимий напір молока на виході з трубчастого апарата при номінальній продуктивності, м.вод.ст.	8
8. Споживана потужність, кВт	4
9. Габаритні розміри, мм	1500×1250×2300
10. Маса, кг	670

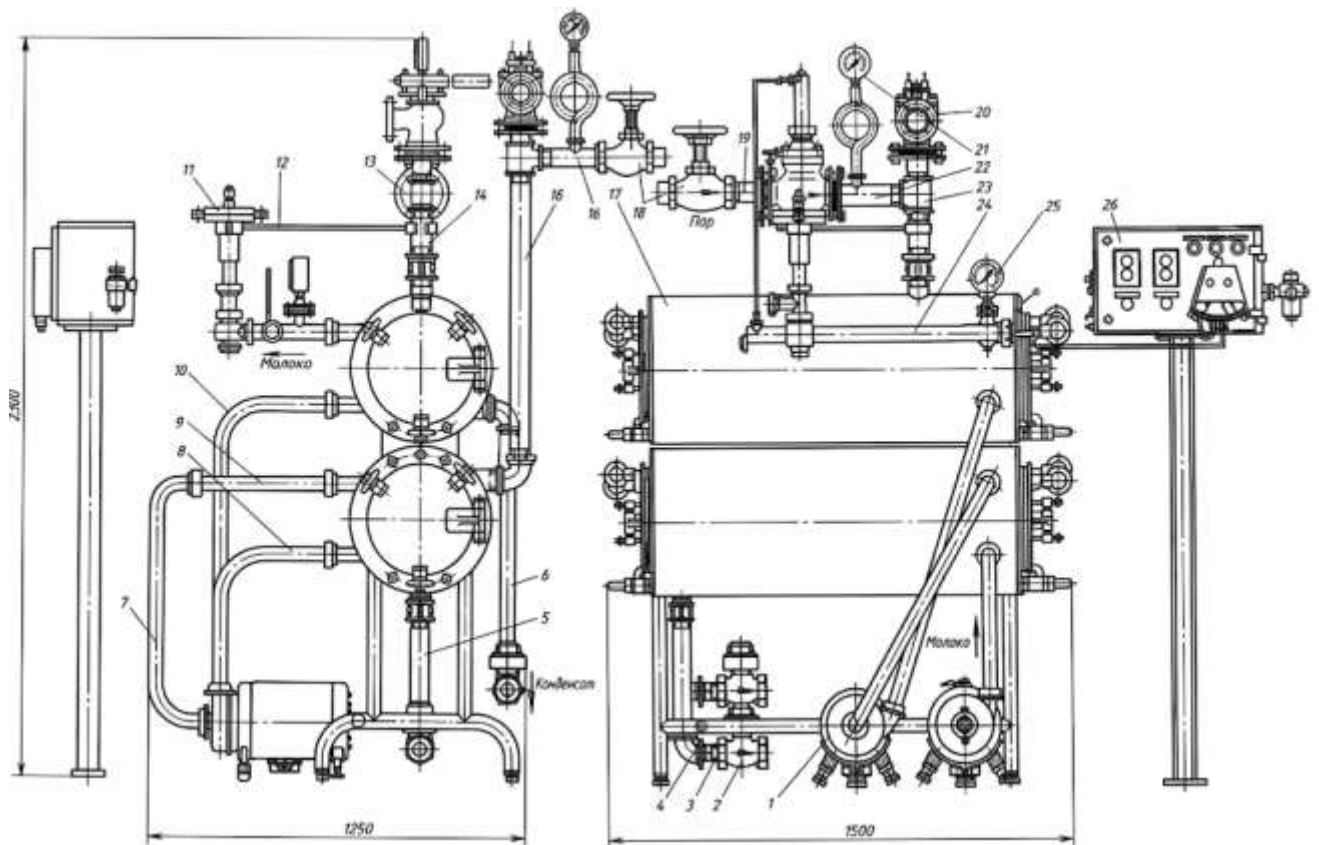


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд пастеризаційної установки Т1–ОУТ (Т1–ОУН):

- 1 - електронасос відцентровий марки 36-1Ц2- 8-20;
- 2 – конденсатовідвідник термодинамічний; 3 – труба; 4 – косинець;
- 5, 6 – труби конденсату; 7, 8, 9, 10, 24 – молокопроводи; 11 – пропускний клапан; 12 – труба; 13 – регулятор температури прямої дії;
- 14, 15, 19 – труби; 16 – кільцеподібний патрубок; 17 – пастеризатор трубчастий;
- 18 – вентиль паровий 15КЧ8БР; 20 – запобіжний клапан;
- 21, 25 – манометри; 22 – фланець; 23 – трійник; 26 – пульт керування

Установки цього типу успішно використовується у випадках, коли наступний процес обробки молока відбувається при температурі, що мало відрізняються від температури пастеризації (наприклад, молоко після пастеризації направляється у вакуумні випарні установки).

Центральним вузлом даного обладнання виступає трубчастий теплообмінний блок, конструкція якого передбачає наявність двох розташованих один над одним робочих циліндрів, де термічний вплив

забезпечується за рахунок подачі пари. Транспортування сировини з приймального резервуара здійснюється парою послідовно підключених електричних насосних агрегатів марки 36-1У2-8-20. По трубопроводах молочна продукція спрямовується до циліндричного пастеризаційного вузла, де спочатку відбувається її попереднє нагрівання в нижній секції до температурних показників у діапазоні 50...60°C, після чого рідина перетікає у верхню секцію для безпосереднього знезараження за температури порядку 80...90°C. Залишаючи межі верхнього циліндричного елемента, оброблене молоко рухається далі транспортною магістраллю, оснащеною вимірювальним приладом для контролю тиску, і проходить крізь перепускний клапанний механізм.

Установка комплектується пастеризатором трубчастим, двома електронасосами відцентровими типу 36-1-Ц2-8-20, двома конденсатовідвідниками термодинамічними (Ду=25мм) типу 45Ч12НЖ, пультом керування з електромагнітним клапаном і приладами контролю і регулювання.

2.2. Аналіз експлуатаційних параметрів установки для пастеризації вершків

Установка Т1-ОУК призначена (рис. 2.2) для пастеризації вершків у лініях потокового виробництва вершкового масла.

Конструкція даного трубчастого апарату для термообробки базується на двох розташованих один над одним циліндричних теплообмінних блоках, у міжтрубний простір яких подається пара для нагріву. Кожен із цих елементів має довжину 1200 мм, при цьому поперечний розмір парової оболонки становить 250 мм, а загальний зовнішній діаметр разом із захисним кожухом дорівнює 350 мм. Кінцеві частини зазначених циліндрів обладнані ввареними ґратами, де за допомогою вальцювання зафіксовано

по 24 робочі трубки.

Рідка сировина, що подається під тиском за допомогою насосного обладнання, спрямовується у стартову трубку, після чого через торцеву порожнину потрапляє в наступний трубний канал, переміщуючись таким чином по черзі крізь усі наявні канали. Для моніторингу тиску теплоносія на підвідній паровій магістралі безпосередньо перед патрубками циліндрів змонтовані вимірювальні прилади.

З метою оптимізації потоку пари всередині нагрівальних сорочок навпроти впускних отворів закріплені спеціальні металеві екрани-відбивачі. Виведення відпрацьованої вологи з міжтрубної зони обох теплообмінних секцій здійснюється в автоматичному режимі за рахунок інтегрованого термодинамічного пристрою для відведення конденсату. Під час здійснення технологічного процесу жирова фракція молока послідовно циркулює крізь загальну мережу з 48 трубок нижньої та верхньої частин установки, прогріваючись від контакту з паровим середовищем міжтрубного простору до цільових показників пастеризації, які становлять від 85 до 95 °С.

Технічна характеристика установки Т1-ОУК:

1.	Продуктивність на годину, л	2500
2.	Температура, °С:	
—	вихідного продукту	10
—	пастеризації	85...95...95
3.	Тиск пари в циліндрах пастеризаторів, МПа	0,03...0,05
4.	Витрата пари для пастеризації вершків, кг/година	390
5.	Поверхня нагрівання, м ²	4,5
6.	Швидкість руху вершків у трубах, м/с	1,2
7.	Установлена потужність електродвигуна, кВт	1,5
8.	Габаритні розміри з насосом, мм	1500×880×1315

Установка комплектується пастеризатором трубчастим, електронасосом відцентровим 30–1Ц2, двома конденсатовідвідниками, вимірювальними приладами.

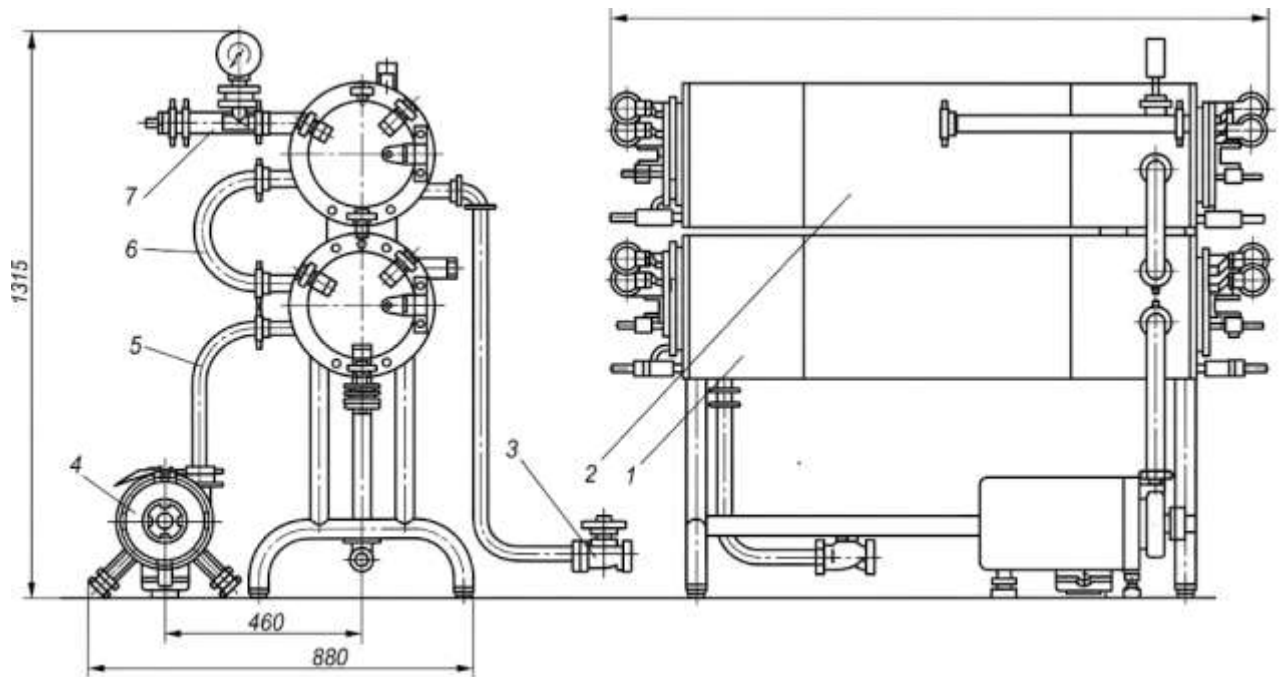


Рисунок 2.2 - Загальний вид установки пастеризаційної трубчастої Т1-ОУК:

1 – циліндр нижній; 2 – циліндр верхній; 3– конденсатовідвідник; 4– електронасос відцентровий; 5, 6, 7– молокопроводи.

2.3. Аналіз експлуатаційних характеристик підігрівника трубчастого

Для підвищення температури молочної сировини перед початком процесу розділення на фракції застосовується трубчастий підігрівний апарат марки П8–ОАБ (зображений на рис. 2.3.).

Дане обладнання сконструйоване на основі стандартизованого теплообмінного циліндричного модуля, який також використовується у

складі трубчастих пастеризаційних систем.

Під час виконання термічної обробки рідкий продукт за допомогою насосного пристрою нагнітається всередину циліндра, де по черзі циркулює крізь мережу з 24 внутрішніх каналів, кожен з яких має довжину 1,2 м та внутрішній поперечний розмір 27 мм. Теплове забезпечення здійснюється за рахунок насиченої пари, що заповнює міжтрубну порожнину, причому інтенсивність її надходження коригується за допомогою запірного вентиля.

У режимі штатного функціонування установки через активне перетворення пари на рідину всередині робочого циліндра формується розрідження, тобто тиск падає трохи нижче за рівень атмосферного. Технічне виконання даного теплообмінника розраховане на проведення санітарної обробки за допомогою циркуляційного безрозбірного методу очищення.

Технічна характеристика підігрівника П8-ОАБ:

1. Продуктивність у годину, л	5000
2. Температура молока, °С	
– початкова –	10
– нагрівання –	50
3. Тиск пари,	
– у магістралі	не менше 0,05
– у циліндрі апарата	0,005...0,02
4. Витрата пари, кг/год	370...390
5. Місткість парового простору циліндра, л	24,5
6. Поверхня теплопередачі, м ²	2,25
7. Габаритні розміри, мм	1500×890×1450
8. Маса, кг	166

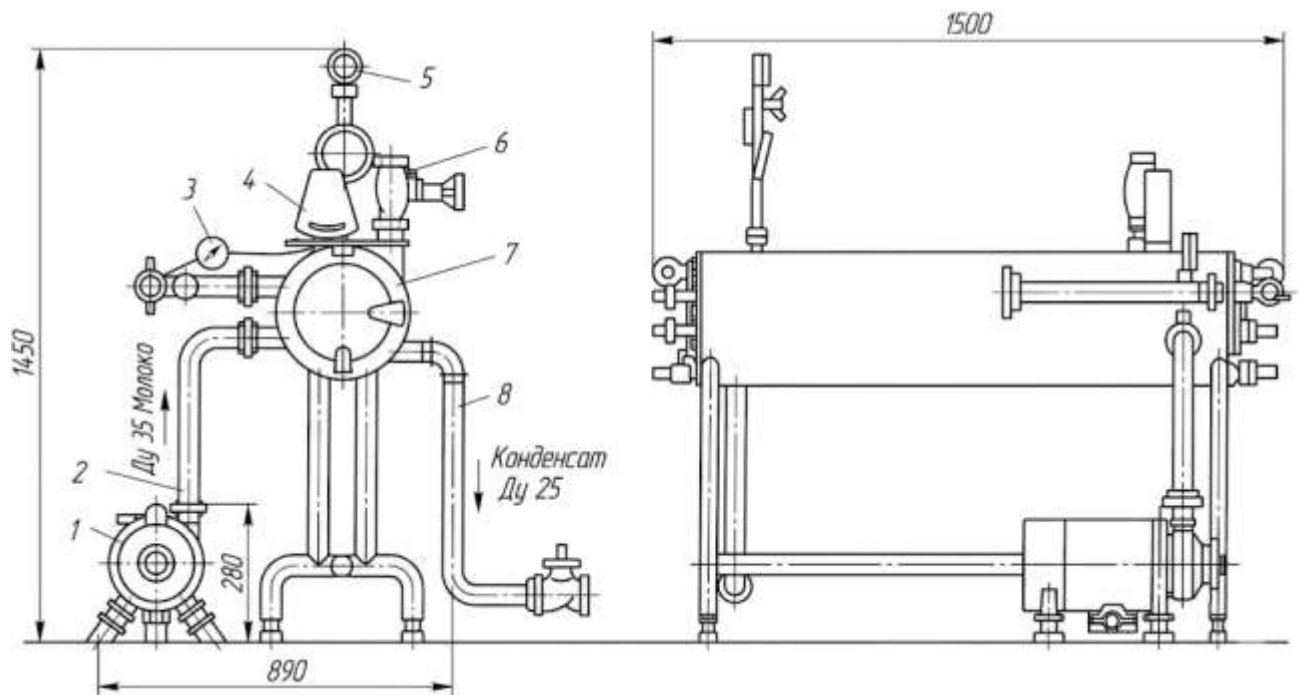


Рисунок 2.3 - Загальний вид підігрівника трубчастого П8–ОАБ:

1 – насос для молока; 2 – молокопровід; 3 – манометр; 4 – термометр дистанційний манометричний; 5 – манометр; 6 – паровий вентиль (Ду40); 7 – одноциліндровий апарат; 8 – вузол відводу конденсату.

2.4. Розрахунок основних експлуатаційних параметрів пастеризатора

Розрахунок теплових втрат

Теплові втрати можна визначити досить точно розрахунковим шляхом. Для визначення коефіцієнта тепловіддачі від гарячої стінки застосовують формулу

$$Nu = C(GrPr)_m^n$$

де індекс m означає, що визначальною температурою варто вважати середню арифметичну від температур стінки і повітря

$$t_m = \frac{t_w + t_f}{2}.$$

Значення коефіцієнтів подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

(GrPr)m	c	n
$1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8
$5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
$2 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^{13}$	0,135	1/3

Під час проектування складних багатосекційних пластинчастих апаратів, що комбінують процеси регенерації, нагрівання та охолодження, критично важливо точно розрахувати локальні температури на межах кожної робочої зони. Для візуалізації та математичного розрахунку цих станів розробляють покрокову структурну схему потоків та будують суміщений графік зміни температур продукту й допоміжних носіїв (рис. 2.4).

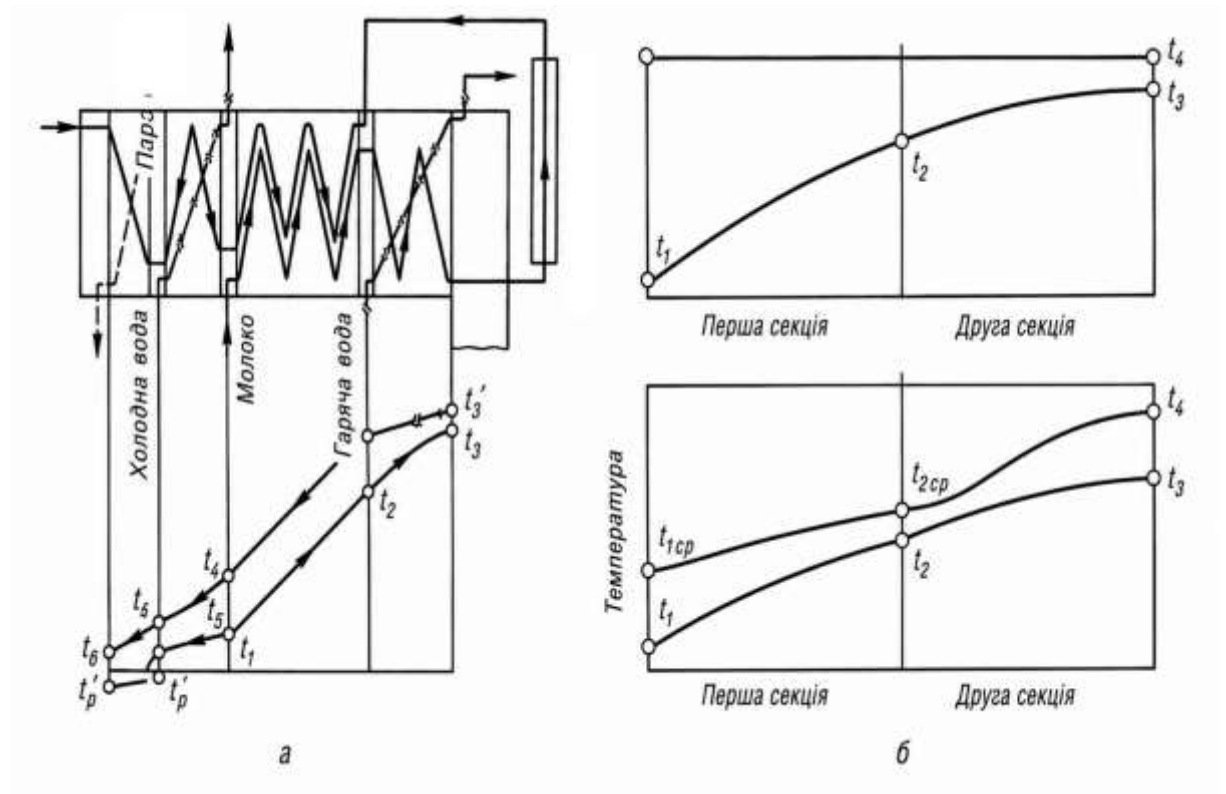


Рисунок 2.4 - Суміщений графік зміни температур продукту й допоміжних носіїв.

Розрахуємо теплові режими та витрати тепла пастеризатора при визначених параметрах.

Температура стінки $t_w = 60^\circ \text{C}$; повітря $t_f = 20^\circ \text{C}$; $\Delta t = 40^\circ$

$$t_m = \frac{60 + 20}{2} = 40^\circ \text{C} \quad \beta = \frac{1}{273};$$

при 40°C $\lambda_v = 0,0228$; $Pr = 0,72$; $V = 17,6$.

Прийmemo висоту стінки l рівною 1 м.

$$Gr = \beta \frac{gl^3}{\nu^2} \Delta t = \frac{1}{273} \cdot \frac{9,8 \cdot 10^{12}}{17,6^2} 40 = 4,63 \cdot 10^9;$$

$$Gr = 4,63 \cdot 10^9 \cdot 0,72 = 3,33 \cdot 10^9$$

Цій величині відповідають коефіцієнти $C = 0,135$; $n = 1/3$;

$$Nu = \frac{al}{\lambda} = \frac{al}{0,0228} = 0,135(3,33 \cdot 10^9)^{\frac{1}{3}} = 201,$$

звідки $a = 4,6$.

Якщо діаметр апарата $D = 0,8$ м і висота $l = 1$ м; то поверхня його

$$F = \pi D l = 2,5 \text{ м}^2.$$

Тоді $Q_K = Fa\Delta t = 2,6 \cdot 4,6 \cdot 40 = 460$ кал/год

Втрата тепла на випромінювання визначається по формулі

$$Q_s = FC \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

де C – приведений коефіцієнт.

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s} \right)},$$

де C_1 – константа випромінювання поверхні апарата;

C_2 – константа випромінювання стін цеху;

C_s – константа для абсолютно чорного тіла ($C_s = 4,96$);

F_1 – поверхня апарата;

F_2 – поверхня стін.

Тому що F_2 дуже велико в порівнянні з F_1 , то можна з практичною точністю вважати $C=C_1$.

Для пастеризатора пофарбованого фарбою.

$$C = C_1 = 3,87; F = 2,5 \text{ м}^2; t_{cm} = 60^\circ \text{З}; T_1 = 273+60 = 333^\circ \text{С};$$

$$T_{нов} = 20^\circ \text{С}; T_2 = 293^\circ \text{С}.$$

$$Q_{\text{л}} = 2,5 \cdot 3,87 \left[\left(\frac{333}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 480 \text{ кал/год.}$$

З розрахунку видно, що втрати на конвективну тепловіддачу приблизно дорівнюють утратам тепла на випромінювання.

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі

При наявності сльозникових кілець, призначених для підвищення міцності стінок апарата, коефіцієнт тепловіддачі можна визначати по формулі Нуссельта з поправочним множником Кутателадзе.

Для парового пастеризатора при умовах, що температура становить

$$t_{CT}=85^\circ\text{С}; t_{II} = 105^\circ\text{С}; t_{KОНД} = 95^\circ\text{С}; \Delta t = t_n - t_c = 20^\circ \text{С};$$

відстань між кільцями $H = 0,2 \text{ м}$.

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = 1,85; \nu = 0,3 \cdot 10^{-6}; \lambda = 0,95; r = 540.$$

$$\text{Ga} = \frac{gH^3}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,2^3 \cdot 10^{12}}{0,3^2};$$

$$K = \frac{r}{c\Delta t} = \frac{540}{1 \cdot 20}.$$

По формулі Нуссельта

$$\text{Nu} = \frac{\alpha H}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot 0,2}{0,59} = 1,13 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,2^3 \cdot 10^{12} \cdot 1,85 \cdot 540}{0,3^2 \cdot 20}} = \frac{\alpha \cdot 0,2}{0,59} = 2904$$

$$\alpha = 8567 \approx 8600.$$

Порядок величини коефіцієнта тепловіддачі сухої насиченої пари нами встановлений. Розглянемо, виходячи з формули, вплив факторів, які грають роль при конденсації пари і ламінарному стіканні конденсату по

вертикальній стінці. Коефіцієнт тепловіддачі по формулі обернено пропорційний $H^{0,25}$. Вплив H на Nu виражений нечітко, але можна зробити висновок на користь стінки малої висоти. Чим нижча стінка, тим менше на ній осяде конденсату, плівка його буде тоншою, тепловий опір її менший і тепловіддача – краща.

Визначення теплового опору

На поверхнях, що розділяють шари, які перешкоджають теплопередачі, температура послідовно знижується. Визначення температур по ходу теплового потоку дуже важливе для з'ясування ряду технологічних явищ. Найпростіше визначати ці температури графічним методом.

Сумарний опір

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

де R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 і R_6 – відповідно опір пари, мастила, стінки, шумовиння, прикордонного шару й опір при переході від прикордонного шару до ядра.

$$R = \frac{1}{6000} + \frac{0,0001}{0,12} + \frac{0,002}{300} + \frac{0,0002}{0,3} + \frac{0,0002}{0,4} + \frac{0,0002}{0,4 + 40}$$

Доданки відповідають наступним даним:

$$a_{II} = 6000;$$

товщина шару мастила $\delta_m = 0,1$ мм теплопровідністю $\lambda_{мас} = 0,12$;

товщина мідної стінки $\delta_{ст} = 2$ мм теплопровідністю $\lambda_{мед} = 300$;

товщина шару шуми $\delta_{ш} = 0,2$ мм теплопровідністю $\lambda_{ш} = 0,3$;

товщина прикордонного шару $\delta = 0,2$ мм теплопровідністю $\lambda_{сл} = 0,4$.

Останній доданок враховує опір при переході від прикордонного шару до ядра. Цей опір визначається приблизно з формули Лейбензона. Визначивши у виді десяткових дробів доданки загального опору R , одержимо

$$R = 0,000167 + 0,000833 + 0,0000067 + 0,00067 + 0,0005 + 0,0000125 =$$

$$=0,001990 \approx 0,002; \frac{1}{K} = 0,002; K = 500.$$

З цього випливає, що теплопередача визначається головним чином трьома факторами; забрудненням поверхні нагрівання мастилами (0,0008); утворенням шумовиння (0,00067) і прикордонним шаром вязкої рідини (0,0005). Отже, пара повинна бути очищена від мастила, а утворення шумовиння повинне бути попереджене доступними методами; товщина прикордонного шару може бути зменшена найбільше ефективно шляхом підвищення швидкості руху

Розрахуємо трубчатий теплообмінник виходячи з вище наведених міркувань.

Прийmemo $M = 1500$ кг/год;

$d = 0,035$ м;

$\gamma = 1030$;

$b = 2$ мм = $0,002$ м;

$t_{\text{мол}} = 65^\circ\text{C}$.

$\nu = 0,66 \cdot 10^{-6}$;

$$Q = \frac{M}{\gamma \cdot 3600} \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Тоді по формулі число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 1500 \cdot 10^6}{1030 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,035 \cdot 0,66} = 11150 ;$$

при $t_{\text{мол}} = 65^\circ\text{C}$ $B_2 = 9.6$

$$a_M = 0,7 \cdot 9,6 \cdot \frac{1500^{0,8}}{2^{0,2} \cdot 3600^{0,8} \cdot 0,035^{0,8} \cdot 0,002} = 8560$$

Коефіцієнт тепловіддачі від пари $a_n = 10000$. Приmemo товщину стінки $\delta = 1$ мм; теплопровідність сталі $A = 30$, отже

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{10000} + \frac{0,001}{30} + \frac{1}{8560} ;$$

$$K = 4000.$$

Температура стінки при цьому

$$t_{CT} = \frac{a_{II}t_{II} + a_M t_M}{a_{II} + a_M} = \frac{10000 \cdot 105 + 8560 \cdot 65}{10000 + 8560} = 86,6^\circ C$$

При розрахунку a_n ми припустили $t_{CT} = 85^\circ C$.

Якщо прийmemo $b = 1,5$ мм., як з'ясовано вище, a_M зміниться обернено пропорційно зміні товщини шару b

$$\alpha_M = \frac{8560 \cdot 2}{1,5} = 11400;$$

$$K = 4500;$$

$$t_{CT} = 83,7^\circ$$

Для $b = 1$ мм $a_M = 17120$; $t_{CT} = 79,8^\circ C$; $K = 5000$.

З приведенного розрахунку випливає, що зменшення товщини шару веде до збільшення швидкості, якщо продуктивність Q залишається постійною. При $H=2$ мм. площа перерізу потоку $f = \pi db = 2,2$ см².

Швидкість

$$\omega = \frac{Q}{f} = \frac{1500 \cdot 10^6}{1030 \cdot 3600 \cdot 2,2} = 184 \text{ см/сек} = 1,84 \text{ м/сек}$$

При $b = 1,5$ мм і $f = 1,65$ см² $\omega = 2,45$ м/сек, а при $b = 1$ мм і $f = 1,1$ см² $\omega = 3,68$ м/сек.

Знаючи коефіцієнти теплопередачі, можна розрахувати, який тепловий ефект дає апарат заданих розмірів. Припустимо, що довжина апарата $l = 1,25$ м, діаметр труби $d=3,5$ см. Поверхня нагрівання такого апарата

$$F = \pi dl = \pi \cdot 0,035 \cdot 1,25 = 0,1375 \text{ м}^2.$$

Молоко повинне бути нагріте до $t_{KIH} = 72^\circ C$. Початкову температуру молока $t_{Поч}$ визначимо по формулі, прийнявши

$$t_{II} = 105^\circ; M = 1500 \text{ кг}; C = 0,94, K = 4000.$$

$$\ln \frac{105 - t_{Поч}}{105 - 72} = \frac{0,1375 \cdot 4000}{1500 \cdot 0,94},$$

звідки $t_{поч} = 56,2^{\circ}$.

Щоб підігріти молоко до цієї температури, знадобиться теплообмінник, марки ТО-10, або схожий по конструктивним параметрам

Підігрів холодного сирого молока з температурою $t_{хол} = 8^{\circ} \text{C}$ до $56,2^{\circ}\text{C}$ можливий за рахунок тепла пастеризованого молока.

Якщо прийняти апарат з товщиною шару $b = 1,5\text{мм}$, то $K = 4500$, при етом $t_{поч} = 53,8^{\circ} \text{C}$. Для $K = 5000$, $t_{поч} = 51,3^{\circ} \text{C}$. Визначимо час, протягом якого молоко пройде апарат довжиною $l = 1,25 \text{ м}$ при швидкостях 1,84; 2,45; 3,68 м/сек по формулі

$$\theta = \frac{l}{\omega}.$$

Результати обчислень приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Товщина шару b мм	Швидкість ω м/сек	Коефіцієнт тепло віддачі α_M	Коефіцієнт теплопередачі K	Температура стінки $t_{CT}^{\circ\text{C}}$	Початкова температура молока	Час перебування молока в апараті θ , сек	Середня температура молока $t_M^{\circ\text{C}}$	Нагрівання молока в апараті $t_{кин} - t_{поч}$, $^{\circ}\text{C}$	Коефіцієнт регенерації
2	1,84	8560	4000	86,6	56,2	0,68	64,1	15,8	0,75
1,5	2,45	11400	4500	83,7	53,8	0,50	62,9	18,2	0,72
1,0	3,68	17120	5000	79,8	51,3	0,34	62,15	20,7	0,68

Коефіцієнт тепловіддачі від пари обчислений для $t_{ст} = 85^{\circ} \text{C}$. Розрахунок показує, що помилка незначна: температура стінки коливається від $79,8$ до $86,6^{\circ} \text{C}$. Різниця температур між стінкою і парою $\Delta t = t_{п} - t_{ст}$ входить у формулу для розрахунку a_n під коренем четвертого ступеня.

Для $t_{ст} = 85^{\circ} \text{C}$ замість $t_{ст} = 80^{\circ} \text{C}$ помилка складе

$$\frac{\sqrt[4]{25}}{\sqrt[4]{20}} = 1,06$$

у бік завищення значення a_n .

Нами прийнята температура молока $t_m = 65^\circ\text{C}$. Як видно з таблиці, у розрахунках вона коливається від 62,15 до 64,1° С.

Отже, найбільший ефект від дії паронагрівних апаратів виходить за умови застосування тонкого шару. Коефіцієнт теплопередачі при цьому може бути дуже високий. Особливо суттєво, що застосування тонкого шару веде до великих швидкостей, в межах 3–4 м/сек. При цих швидкостях тепловіддача від стінки до молока стає надзвичайно інтенсивною, а температура стінки падає дуже сильно.

2.5. Розроблення мікропроцесорної системи управління теплообмінним апаратом

2.5.1. Обґрунтування вибору мікропроцесора

У якості основного обчислювального та керуючого пристрою для побудови системи автоматизації застосовується мікропроцесор K580BM80. Внутрішня архітектура цього пристрою має чітку структуру, у якій виділяються функціонально пов'язані внутрішні накопичувачі (реєстри), арифметично-логічний блок (АЛБ) та схеми координації і синхронізації. Виконання обчислювальних та логічних процедур може реалізовуватися як над вмістом внутрішніх комірок, так і безпосередньо над даними, що зберігаються в оперативній пам'яті.

Мікропроцесорне ядро має шість базових 8-бітових реєстрів загального призначення, які маркуються як В, С, D, Е, Н та L. Технічні можливості дозволяють оперувати ними як окремими самостійними одиницями, так і об'єднувати їх у суміжні 16-бітові пари, утворюючи зв'язки В-С, D-Е та Н-L. Особливе місце в архітектурі посідає

спеціалізована комірка – акумулятор А.

Цей елемент спроектований для оперативного приймання та тимчасового утримання числових значень, отриманих у результаті будь-яких маніпуляцій в АЛБ. Для відображення поточного статусу та ознак виконаної процедури служить регістр стану (флагів) F. Фізично він побудований на п'яти автономних тригерних фіксаторах: знака S, основного переносу C, додаткового міжрозрядного переносу AC, контролю парності P та нульового результату Z.

Необхідно підкреслити, що коригування значень у регістрі стану F відбувається виключно під впливом математичних та логічних команд, тоді як операції міжрегістрового копіювання, завантаження чи процедури обміну з периферією жодним чином не впливають на ці тригери. Для взаємодії зі стековою пам'яттю, яка функціонує за методом LIFO («останнім прийшов – першим вийшов»), архітектура містить виділений 16-бітовий показчик стеку SP. Наявність цього вузла дає змогу організувати стекову область у будь-якому сегменті оперативної пам'яті шляхом попереднього запису початкової координати в комірку SP. Під час кожної процедури занесення даних у стек числове значення в показчику SP автоматично зменшується.

Для фіксації та збереження координати поточної інструкції, що підлягає виконанню, застосовується 16-бітовий лічильник команд PC. У процесі послідовного зчитування програми процесором вміст PC автоматично інкрементується на одиницю.

Робота інструкцій умовного чи безумовного розгалуження, а також звернення до підпрограм зводиться до примусового запису адреси цільової точки або початкового вектора підпрограми безпосередньо в цей лічильник команд.

У мікросхемі реалізовано механізм програмного керування внутрішнім тригером, який відповідає за обробку переривань. За допомогою асемблерної інструкції EI цей фіксатор переводиться в режим

готовності до сприйняття зовнішніх запитів на переривання, тоді як команда DI повністю блокує реакцію на будь-які зовнішні сигнали асинхронного запиту.

Графічне розташування та призначення кожної ніжки мікросхеми наведено на рис. 2.5. Компонент виготовляється у стандартному пластмасовому корпусі, що має 40 ліній виводів. За функціональним призначенням усі контакти жорстко розподіляються на три системні магістралі: адресну магістраль, магістраль даних та лінійні сигнали керування.

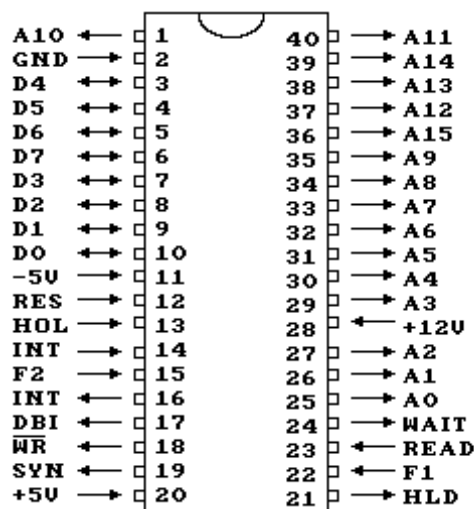


Рисунок 2.5 - Призначення виводів мікропроцесора K580BM80.

Адресна магістраль

Цей вузол сформований із сукупності 16 виводів із маркуванням A15–A0. Часова координація всіх процесів всередині мікропроцесора забезпечується подачею двох неперекривних тактових послідовностей j1 та j2, які генеруються зовнішнім тактовим пристроєм. Період виконання однієї машинної інструкції охоплює від одного до трьох системних циклів, кожен з яких, у свою чергу, складається з фіксованої кількості внутрішніх тактів (від 3 до 5). Тривалість одного такого такту чітко дорівнює періоду коливальних синхроімпульсів j1 та j2. Слід зазначити, що інформаційні біти поточної адреси інструкції транслюються на лінії A15–A0 по передньому

фронту сигналу j_2 у початковому такті T_1 і стабільно утримуються там до моменту появи першого імпульсу j_2 у такті T_3 . В інші часові відрізки лінії адресної магістралі переходять у високоімпедансний стан (так званий третій стан із невизначеною інформацією). За своїми електричними параметрами всі вхідні та вихідні лінії компонента повністю сумісні з напругами та рівнями інтегральних схем транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ).

З метою мінімізації теплової потужності, що виділяється напівпровідниковим кристалом, внутрішні каскади мають обмеження за струмом, через що до кожної вихідної ніжки процесора допускається підключати не більше одного входу стандартного ТТЛ-елемента. З цієї причини для підвищення навантажувальної здатності та розгалуження адресної магістралі обов'язково застосовують спеціалізовані буферні мікросхеми, фіксатори або формувачі сигналів (зокрема, такі мікросхеми як КР580ІР82 або К589ІР12).

Магістраль даних

Вона організована як 8-розрядна лінія D_7-D_0 і, на відміну від ліній адреси, має двоспрямовану структуру. Залежно від поточної команди, потоки інформації можуть як зчитуватися з ліній D_7-D_0 всередину процесора, так і видаватися з внутрішніх регістрів назовні для запису в комірки оперативної чи постійної пам'яті або в порти пристроїв введення-виведення. Крім того, на лініях даних у момент формування імпульсу фази j_1 під час такту T_2 фіксується слово стану процесора, яке містить інформацію про його поточний внутрішній статус та алгоритм дій на наступні системні такти. Завдяки утриманню цього коду в зовнішньому регістрі та його подальшій розшифровці комбінаційними логічними схемами формуються чіткі системні сигнали читання й запису для пам'яті та периферії. Виконання цих завдань, разом із функцією повної електричної буферизації ліній даних, покладено на спеціалізовану

допоміжну мікросхему – системний контролер KP580BK28.

Магістраль керування

Усі інші контакти мікросхеми виконують функції лінійних сигналів координації та відносяться до інтерфейсу керування. Їх функціональне призначення розподіляється так:

RESET – вхідний імпульс початкового встановлення ядра в базовий робочий стан (під впливом цього сигналу лічильник команд PC повністю обнуляється, внаслідок чого після завершення дії сигналу RESET обчислювальний блок першою запускає операцію вибірки та читання інструкції, розташованої в оперативній пам'яті за нульовою координатою);

HOLD – вхідний сигнал запиту на захоплення магістралей (активація цього лінійного рівня інформує систему про необхідність переведення вихідних каскадів ліній адреси та даних у високоімпедансний стан, при цьому поточні обчислювальні операції всередині ядра повністю призупиняються);

INT – вхідний запит на обслуговування асинхронної події (поява високого рівня на цьому контакті свідчить про необхідність перемикавання на алгоритм взаємодії із периферійним вузлом, який сформував цей імпульс; у ситуаціях, коли процесор переведений у режим HOLD або внутрішній тригер блокування переривань знеструмлений асемблерною командою DI, цей запит повністю ігнорується);

INTE – вихідний індикатор статусу системи переривань (наявність високого логічного рівня на цій ніжці підтверджує готовність ядра до сприйняття зовнішніх запитів; у момент підтвердження та переходу до обробки події внутрішній тригер автоматично скидається, що блокує реакцію на інші вхідні сигнали переривань; аналогічне обнулення фіксатора відбувається також під час дії системного сигналу RESET);

DBIN – вихідний сигнал стробування шини даних при зчитуванні (формування цього імпульсу вказує на те, що внутрішні каскади

мікропроцесора готові до приймання та фіксації інформаційного байта, який транслюється зовнішніми пристроями через системні лінії даних);

WR – вихідний сигнал стробування при записі (активний низький рівень свідчить про те, що обчислювальний блок успішно виставив та стабілізував вихідний байт інформації на лініях даних для його збереження у периферійних вузлах або комірках пам'яті);

SYNK – вихідний маркер системного тактування (високий рівень на цій лінії чітко сигналізує про початок чергового машинного циклу програми);

j1, j2 – вхідні лінії для підключення високоамплітудних (12 В) тактових послідовностей, що надходять від зовнішнього спеціалізованого генератора імпульсів для забезпечення внутрішньої синхронізації;

READY – вхідний сигнал підтвердження доступності даних (інформує обчислювальне ядро про те, що запитувана інформація з мікросхем пам'яті або портів введення-виведення вже виставлена на лінії магістралі даних; цей контакт служить для узгодження темпу роботи швидкого процесора з більш повільними компонентами обв'язки; якщо після видачі адресної координати на шину на цьому вході утримується низький рівень, процесор автоматично переходить у циклічний режим очікування на весь період, поки значення READY залишається нульовим);

WAIT – вихідне апаратне підтвердження стану паузи (активний рівень на цій лінії візуалізує та технічно підтверджує, що внутрішня логіка мікропроцесора наразі перебуває в режимі очікування сигналу готовності периферії).

2.5.2. Вибір постійно запам'ятовуючих та оперативно запам'ятовуючих пристроїв

Енергонезалежні модулі зберігання даних

Ключовою специфікою інтегральних компонентів багаторазових ПЗП (РПЗП) виступає їхня технічна спроможність витримувати регулярні

цикли (аж до 10 тисяч разів) оновлення мікрокоду безпосередньо кінцевим користувачем. За технологічними критеріями очищення матриці всі подібні пристрої класифікують на дві великі категорії: мікросхеми з електричним алгоритмом як фіксації, так і деструкції даних (електрично стирані), а також компоненти з електричним записом, але з деструкцією інформаційного масиву шляхом впливу ультрафіолетового спектра випромінювання. Основна сфера впровадження таких елементів полягає в постійному утриманні базових завантажувальних інструкцій, системних команд високої частоти звернення, а також у забезпеченні логіки кодування сигналів та взаємного перетворення інформаційних форматів.

У промислових масштабах виготовляються великі інтегральні схеми (BIC) пам'яті з ультрафіолетовим методом очищення серій K573PФ5, K573PФ6 та K573PФ7 (технічні характеристики яких узагальнено в табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Технічні дані мікросхеми K573PФ7.

Назва параметру	Значення
Інформаційна ємність, кБіт	128
Організація, слів x розряд	16384*8
Споживний струм, мА звертання / зберігання	100 / 40
Напруга живлення U_{cc} , В (вивід № 28)	$5 \pm 5\%$
Напруга програмування U_p , В	$(12,5 \pm 0,5)$
Час зберігання інформації в режимі: зчитування, тис.год/ зберігання, років	15 / 5
Число циклів перезапису інформації	25
Тип корпусу	2121.28-6

Дані напівпровідникові пристрої належать до статичного класу і базуються на двоканальній логіці інтерфейсного керування, що гарантує максимальну адаптивність і безперешкодну інтеграцію сформованих на їхній основі обчислювальних блоків у структуру сучасних високопродуктивних мікропроцесорних комплексів.

Процедура повного видалення записаних байтів реалізується за рахунок спрямування спрямованого потоку жорсткого ультрафіолету безпосередньо на кристал крізь прозоре інспекційне вікно в корпусі. Усі доступні експлуатаційні стани та конфігурації сигналів для РПЗП деталізовано в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Експлуатаційні стани та конфігурації сигналів для РПЗП

CS	OE	PR	A0-A13	UPR	D0-D7	РЕЖИМ РОБОТИ
H	X	X	X	Ucc	Roff	Збереження
L	L	H	A	Ucc	Вихідні дані в прямому коді	Лічення
L	H	H	A	Ucc	Roff	Вимикання виходів
L	H	L	A	21,5	Вихідні дані в прямому коді	Програмування
L	H	H	A	21,5	Roff	Заборона програмування
H	H	L	A	21,5	Roff	Заборона програмування

Під час виконання процедур як внесення змін, так і безпосередньої вибірки даних, кристали серії K573 за своїми логічними рівнями на лініях адресації та координації повністю еквівалентні параметрам стандартних

цифрових ТТЛ-мікросхем. За такої схеми вихідні інформаційні каскади пристрою переорієнтовуються на приймання вхідних байтів даних. Алгоритм запису конфігурації може реалізуватися як шляхом послідовного сканування адресного простору, так і в режимі довільного доступу до комірок.

Встановлення високого логічного потенціалу на відповідному координатному вході активує стан блокування запису, що створює умови для безпечного занесення бітових масивів у пам'ять безпосередньо всередині сформованого системного модуля.

Оперативно запам'ятовуючі пристрої

Для короткочасного збереження та оперативного вилучення інформаційних масивів під час їхнього поточного аналізу обчислювальним ядром застосовують оперативні запам'ятовуючі пристрої з довільним доступом (ЗПДД).

Конструктивно їхня внутрішня матриця об'єднує 2^n окремих бітових комірок пам'яті (КП), точна координатація та селекція яких реалізується за допомогою адресного цифрового коду $A = (A_{n-1}, \dots, A_0)$. За фізичним принципом функціонування такі напівпровідникові блоки класифікують на дві великі групи – статичні та динамічні модифікації. У пристроях статичного класу фіксація та утримання логічних рівнів виконується на напівпровідникових бістабільних комірках – тригерах, тоді як у динамічних системах інформаційні біти зберігаються у вигляді потенціалу на мікроскопічних інтегральних конденсаторах, ємність яких становить близько 0,5 пФ.

Період збереження логічного стану в тригерних структурах є практично нескінченним за умови безперервного живлення, у той час як тривалість утримання заряду на ємнісних елементах жорстко обмежена процесом його поступового витікання крізь паразитні шунтуючі опори. У серійних інтегральних компонентах динамічного типу цей інтервал

безпечного утримання даних не перевищує 1...2 мс. Через це виникає технічна необхідність із періодичністю від 0,5 до 1 кГц примусово здійснювати циклічне відновлення (регенерацію) енергетичного рівня на кожному конденсаторі матриці.

Тимчасова пам'ять проєктованого мікропроцесорного комплексу спроектована на основі великої інтегральної схеми (BIC) статичного типу K537PY16, параметри та робочі властивості якої деталізовано в табл. 2.5. Цей напівпровідниковий кристал за своєю логікою керування подібний до енергонезалежного компонента K573PФ7: він оснащений лінією вибору мікросхеми CS, а також лініями стробування запису EWR та активації читання ERD.

Таблиця 2.5 - Основні параметри мікросхеми K537PY16.

Назва параметру	Значення
Інформаційна ємність, кБіт	64
Організація, слів x розряд	8192*8
Споживний струм, мА	10
Напруга живлення U_{cc} , В (вивід № 28)	$5 \pm 5\%$
Напруга програмування U_p , В	$5 \pm 5\%$
Час вибірки адреси, нс	220
Технологія виготовлення	КМОП
Тип корпусу	405.24-2

Алгоритм взаємодії цих інтерфейсних сигналів та відповідні режими роботи мікросхеми K537PY16 подано в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Режими роботи ВІС К537РУ16

CS	OE	WR/PD	A0- A10	DO-D7	РЕЖИМ РОБОТИ
H	X	X	X	Roff	Зберігання
L	X	L	A	L	Запис 0
L	X	L	A	H	Запис 1
L	L	H	A	Дані в прямому коді	Лічення
L	H	H	A	Roff	Заборона виходу

2.5.3. Вибір контролера для управління передаванням даних

Багатофункціональна мікросхема КР580ВК28 розроблена для генерації системних команд координації, а також для забезпечення гальванічної розв'язки та буферизації ліній даних в архітектурах, побудованих навколо центрального процесора КР580ВМ80А. Функціональний розподіл та опис кожного контакту цього інтерфейсного вузла узагальнено в табл. 2.7, а принципова схема узгодження та взаємного підключення координаційного блока з мікропроцесорним ядром проілюстрована на рис. 2.6.

Таблиця 2.7 - Функціональний розподіл контактів KP580BK28.

№ конт.	Позначення	Тип	Функціональне призначення
1	$\overline{STB}$	Вхід	Стробуючий сигнал стану
2	HLDA	Вхід	Підтвердження захоплення
3	$\overline{TR}$	Вхід	Видача інформації
4	RC	Вхід	Прийом інформації
5, 7, 9, 11, 13, 16, 18, 20	DB0÷DB7	Вхід/ Вихід	Канал даних системи
6, 8, 10, 12, 15, 17, 19, 21	D0÷D7	Вхід/ Вихід	Канал дани мікропроцесора
14	GND	-	Спільний
22	$\overline{BUSEN}$	Вхід	Управління передачею даних видачею сигналів
23	$\overline{INTA}$	Вихід	Підтвердження запиту переривання
24	$\overline{RD}$	Вихід	Читання з пам'яті
25	$\overline{RDIO}$	Вихід	Читання з зовнішніх пристроїв (ЗП)
26	$\overline{WR}$	Вихід	Запис в пам'ять
27	$\overline{WRIO}$	Вихід	Запис в зовнішні пристрої
28	Ucc	Вхід	Напруга живлення +5В

Внутрішня структура цього керуючого компонента об'єднує двоспрямований буферний каскад ліній даних, фіксуючий регістр статусу та дешифратор логіки команд. Пристрій здійснює формування системних керуючих сигналів, базуючись на аналізі коду стану процесора. Зокрема, під час операцій обміну з системною пам'яттю генеруються імпульси читання й запису, а під час взаємодії з периферійними пристроями введення-виведення (ЗП) формуються відповідні команди звернення до портів. Паралельно з цим блок забезпечує коректне приймання та трансляцію 8-бітових інформаційних слів між локальними виводами даних

процесора D7–D0 та загальносистемною магістраллю через виводи DB7–DB0.

Фіксує реєстр статусу під дією відповідного стробувального сигналу здійснює захоплення та утримання інформаційного байта стану обчислювального ядра в початковому такті T1 кожного поточного машинного циклу процесора.

Зовнішній асинхронний сигнал керує активацією вихідних каскадів буферних ліній та видачею сформованих команд із дешифратора. Присутність низького логічного потенціалу на цьому керуючому вході дозволяє буферному каскаду транслювати інформаційні байти й активує один із відповідних сигналів запису чи читання. Якщо ж напруга на вході змінює рівень, усі вихідні лінії інтерфейсного блока моментально переводяться у високоомний стан (режим ізоляції від системної шини).

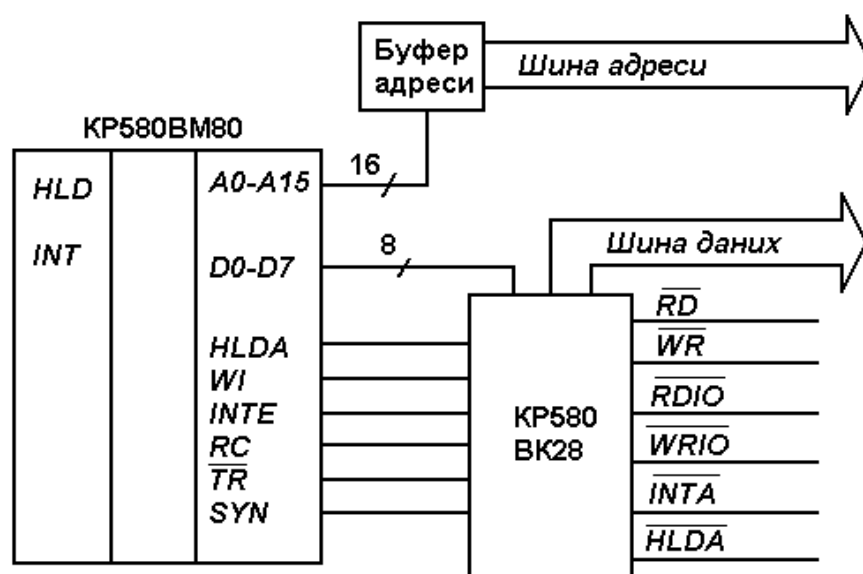


Рисунок 2.6 - Схема підключення контролера управління передачею даних.

Магістральні підсилювачі (буфери) призначені для забезпечення повної електричної ізоляції вхідних і вихідних ланцюгів електронних модулів, що функціонують у складі спільної двоспрямованої системної лінії, а також для значного збільшення навантажувальної здатності цієї

магістралі. У проєктованій архітектурі цей тип мікросхем зазвичай впроваджується для буферизації шини адреси (ША) мікропроцесорної системи керування, а також для коректного підключення різноманітних периферійних пристроїв введення-виведення до загальносистемної шини. Необхідно зауважити, що додаткове посилення шини даних (ШД) мікропроцесора не реалізується в тих випадках, коли в системі вже задіяно інтегральний системний контролер – мікросхему KP580BK28 (у тексті вихідного документа згадується як KP580BM28).

Внутрішня структура магістрального підсилювача об'єднує дві незалежні групи напівпровідникових ключів (К) та комбінаційну логіку керування. Кожен окремий комутаційний елемент оснащений двома вхідними лініями – координаційною (керуючою) та інформаційною, а також однією вихідною лінією. На входи управління першої групи напівпровідникових ключів надходить сформований логічний сигнал У1, тоді як запірні каскади другої групи контролюються сигналом У2. У ситуації, коли на керуючий вхід будь-якого ключа подається напруга низького логічного рівня («0»), цей ключ миттєво блокується, тобто переходить у пасивний стан із високим вихідним опором (Z-стан). Якщо ж на керуючу лінію комутатора транслюється високий логічний рівень («1»), пристрій переходить в активний стан, забезпечуючи повну відповідність логічних рівнів на своєму інформаційному вході та виході.

В інтерфейсі даного магістрального буфера передбачено наявність трьох розділних груп інформаційних ліній зв'язку, які позначаються як А, В та С. Кожна з цих груп містить по чотири паралельні провідники, утворюючи таким чином незалежну чотирирозрядну підшину. Координація роботи всього пристрою та вибір конкретного вектора трансляції байтів здійснюється за допомогою зовнішніх сигналів вибору шини (ВШ) та вибору мікросхеми (ВМ).

Коли на вхідний контакт ВМ подається напруга високого логічного рівня («1»), внутрішні керуючі сигнали набувають значень $U1=0$ та $U2=0$.

За такої умови абсолютно всі комутаційні ключі блокуються, а лінії груп А, В та С стають повністю ізольованими одна від одної. У випадку, коли на обох входах ВМ і ВШ встановлюється низький логічний рівень («0»), внутрішня логіка формує комбінацію $Y1=1$ та $Y2=0$. Це призводить до жорсткого з'єднання ліній групи А з вихідними лініями групи В, активуючи трансляцію інформаційних бітів у напрямку $A \rightarrow B$, тоді як вихідні каскади групи С примусово переводяться у високоімпедансний стан. Якщо ж на вхід ВМ надходить логічний «0», а на лінію ВШ подається логічна «1» (що відповідає стану $Y1=0$, $Y2=1$), комутаційні ланцюги пов'язують групу входів В із виводами групи С. У цьому режимі дані пересилаються за маршрутом $B \rightarrow C$, а виходи ключів першої групи, контрольовані сигналом $Y1$, надійно блокуються у третьому стані.

Таким чином, інформаційні потоки можуть надходити в магістральний підсилювач через чотирирозрядні інтерфейси А або В, а виводитися назовні відповідно через чотирирозрядні інтерфейси В або С. Точна селекція поточного вектора та напрямку передачі цифрових даних повністю визначається характером керуючого сигналу на вході ВШ.

Контролер прямого доступу до пам'яті (ПДП) моделі KP580BT57 – це спеціалізована мікросхема, призначена для реалізації високошвидкісного обміну інформаційними масивами між системним запам'ятовуючим пристроєм та периферійними вузлами. Цей процес здійснюється шляхом апаратної генерації послідовних адрес пам'яті безпосередньо за запитом від зовнішнього девайса. Контролер забезпечує повну двоспрямованість потоків даних, дозволяючи виконувати як зчитування з пам'яті в периферію, так і запис у зворотному напрямку. Область адрес, яка охоплюється процесом передачі, чітко визначається двома базовими параметрами: початковою адресою (координатою першої комірки, з якої стартує цикл обміну) та загальною кількістю запланованих циклів звертання.

Після того як центральне обчислювальне ядро задовольняє запит і

тимчасово звільняє системні магістралі, інтерфейсний мікрокомпонент бере на себе повне керування шинами, реалізуючи трансляцію всього інформаційного блоку між пам'яттю та периферією автономно, без залучення ресурсів процесора.

Контролер має чотири незалежні функціональні канали. Кожен із цих каналів здатний здійснювати автономне адресування простору зовнішньої пам'яті об'ємом до 16К байт (шляхом послідовного автоматичного інкрементування поточної координати адреси) з можливістю гнучкого призначення базової стартової точки в межах повного системного адресного простору розміром 64К. Детальний функціональний розподіл та призначення кожної вивідної ніжки контролера ПДП подано в табл. 2.8.

Апаратний інтерфейс генерації часових інтервалів та підрахунку подій реалізовано на великій інтегральній схемі (ВІС) КР580ВІ53. Цей компонент містить три абсолютно незалежні 16-розрядні канали формування сигналів, які координуються спільною внутрішньою логікою керування. Кожен із доступних каналів має технічну спроможність функціонувати в одному з шести базових режимів.

Конфігурування та програмування робочих станів для кожного лічильника здійснюється індивідуально і в довільній послідовності – шляхом занесення відповідних керуючих слів у внутрішні регістри режимів каналів, а також подальшого завантаження початкового числового значення (запрограмованої кількості байтів) безпосередньо в лічильні блоки.

Надіслане системне керуюче слово чітко визначає поточний режим роботи обраного каналу, тип математичного підрахунку (чиста двійкова або двійково-десятькова система числення), а також формат представлення констант (однобайтовий або двобайтовий режим завантаження). Обмін цифровою інформацією з центральним мікропроцесором виконується через локальну 8-розрядну двоспрямовану магістраль даних.

Таблиця 2.8 - Функціональний розподіл контактів контролера ПДП.

№ вив.	Позначення	Тип	Функціональне призначення
1	$\overline{RDIO}$	Вхід /Вихід	Читання вводу/виводу
2	$\overline{WRIO}$	Вхід/ Вихід	Запис вводу/виводу
3	$\overline{RD}$	Вихід	Читання з пам'яті
4	$\overline{WR}$	Вихід	Запис в пам'ять
5	M128	Вихід	Модуль 128
6	RDY	Вхід	Сигнал "Готовність"
7	HLDA	Вхід	Сигнал "Підтвердження захоплення"
8	STBA	Вихід	Стробуючий сигнал адреси
9	AE	Вихід	Дозвіл адреси
10	HRQ	Вихід	Запит захоплення
11	$\overline{CS}$	Вхід	Вибір мікросхеми
12	C	Вхід	Тактовий сигнал
13	SR	Вхід	Сигнал "Встановлення"
25, 24, 14, 15	DACK0÷DACK3	Вихід	Підтвердження прямого доступу до пам'яті каналів 0÷3
16÷19	DRQ0÷DRQ3	Вхід	Запит прямого доступу до пам'яті каналів 0÷3
20	GND	-	Спільний
21÷23, 26÷30	D0÷D7	Вхід/Вихід	Канал дани мікропроцесора
32÷35, 37÷40	A0÷A7	Вхід/Вихід	Канал адреси
36	TC	Вихід	Кінець рахунку
31	Ucc	-	Напруга живлення +5V

З інженерної точки зору цей інтегральний таймер являє собою програмований обчислювальний блок віднімального типу з можливістю динамічного програмного зчитування поточного стану лічильників «на льоту». Мікросхема виготовлена за технологічними нормами n-МОН (у вихідному тексті вказано пМОП) структури, розрахована на стабільне живлення від уніфікованого джерела постійного струму напругою +5 В і має номінальне струмоспоживання в межах 140 мА. Основу архітектури кожного з трьох внутрішніх каналів становить 16-бітний віднімальний регістр-лічильник, спроможний працювати на тактових частотах аж до 2 МГц. Кожен такий вузол може бути переведений в один із шести залікових режимів:

- 0 – формування сигналу переривання;
- 1 – програмований одновібратор;
- 2 – програмований дільник частоти;
- 3 – генератор імпульсів;
- 4 – програмно-стробований таймер;
- 5 – апаратно-стробований таймер.

Процес ініціалізації таймера базується на надсиланні керуючого байта, який задає безпосередній режим логіки роботи, та наступних слів передвстановлення, які визначають часові чи кількісні параметри виконуваної функції. Функціональний розподіл та призначення вивідних контактів корпусу подано нижче:

A0, A1	Адресні входи вибору каналу
D0÷D7	Входи/виходи даних
CS	Вибір мікросхеми (вхід)
RD	Зчитування (вхід)
WR	Запис (вхід)
C0, C1, C2	Сигнали синхронізації 0,1,2 (входи)
CEO, CE1, CE2	Сигналикерування роботою каналів 0,1,2 таймера

2.5.4. Організація інтерфейсу та координація обміну даними з периферією

Для організації паралельного інтерфейсу та координації обміну даними з периферією в системі застосовується велика інтегральна схема (BIC) KP580BB55A.

Мікросхема KP580BB55A призначена для узгодження загальносистемної магістралі мікро-ЕОМ із різноманітними зовнішніми компонентами (матричними клавіатурами, цифровими індикаторами, первинними датчиками, виконавчими формувачами сигналів тощо). Вона забезпечує оперативне приймання, буферизацію та тимчасове утримання інформаційних байтів, які циркулюють між обчислювальним ядром та периферійними пристроями. Завдяки своїй універсальності, ця BIC дозволяє ефективно будувати сучасні цифрові комплекси обробки та перетворення аналогових сигналів.

Взаємодія мікросхеми з центральним мікропроцесором реалізується через локальну 8-розрядну двоспрямовану шину даних (ШД). Для безпосереднього сполучення з об'єктами керування пристрій має у своєму розпорядженні 24 лінії введення-виведення. Усі ці лінії конфігураційно згруповані у три незалежні 8-бітові канали (порти), які маркуються як А, В та С. Поточний режим роботи кожного порту, а також безпосередній вектор трансляції інформації (введення чи виведення) задаються гнучким програмним шляхом. Конкретна селекція потрібного каналу та координація потоків даних через нього визначаються комбінацією зовнішніх сигналів адресації A0, A1, а також лінійними стробами читання RD, запису WR та вибору мікросхеми CS відповідно до комутаційного регламенту, наведеного в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Призначення контактів KP580BB55.

A0, A1	Адресні входи вибору каналу
D0÷D7	Входи/ виходи даних
CS	Вибір мікросхеми (вхід)
RD	Зчитування (вхід)
WR	Запис (вхід)
BA0÷BA7	Інформаційний канал А (входи/ виходи)
BB0÷BB7	Інформаційний канал В (входи/ виходи)
BC0÷BC 7	Інформаційний канал С (входи/ виходи)
RESET	Встановлення у вихідний стан

Під час надходження загальносистемного імпульсу початкового скидання RESET внутрішній регістр керування (слово команди) автоматично переводиться в базовий стан, за якого абсолютно всі три канали (А, В, С) примусово ініціалізуються та налаштовуються на роботу в режимі безпечного введення інформації.

Варіант практичної інтеграції порту KP580BB55A до складу мікропроцесорної системи для обслуговування засобів взаємодії з оператором проілюстровано на рис. 2.7. У даній схемі реалізовано підключення матричного поля клавіш конфігурації 4×4 та модуля відображення, зібраного на основі восьми семисегментних цифрових індикаторів. При такому апаратному компонуванні лінії порту А виділені для безперервного виведення інформаційних кодів (символів) на елементи дисплея, лінії порту С задіяні як інформаційні входи для зчитування поточного стану замикання клавіш клавіатури, а лінії порту В функціонують у режимі виведення динамічних сигналів сканування (опитування) для послідовної активації стовпців клавіатури та відповідних розрядів індикації.

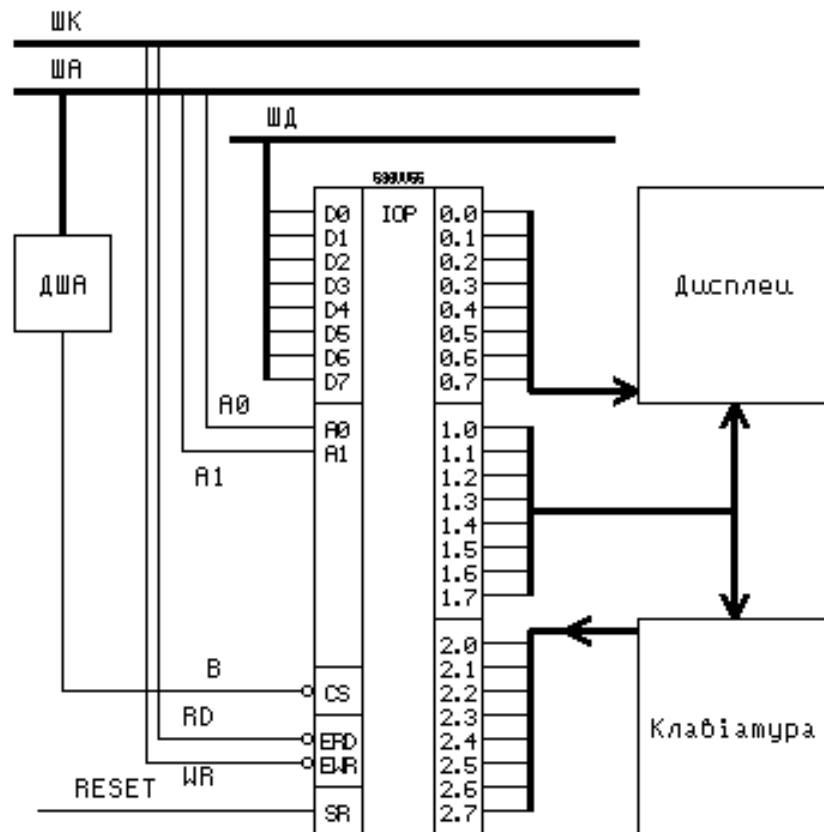


Рисунок 2.7 - Схема мікропроцесорної системи для обслуговування засобів взаємодії з оператором

Для реалізації послідовного каналу обміну даними та зв'язку з віддаленими периферійними пристроями в мікропроцесорній системі застосовується ВІС KP580BB51.

Мікросхема KP580BB51 (універсальний синхронно-асинхронний приймачепередавач, USART) функціонує як інтерфейсний перетворювач форматів даних. Вона забезпечує приймання інформаційних бітів у послідовному коді з лінії зв'язку та їхню трансформацію в паралельний 8-бітний формат для подальшого зчитування центральним мікропроцесором. У зворотному напрямку пристрій приймає від процесора байт даних у паралельному коді, перетворює його на послідовну структуру і автоматично доповнює службовими бітами (стартовим, стоповими, а також бітом паритету) для трансляції в послідовний канал із чітко встановленою тактовою швидкістю.

Програмований послідовний інтерфейсу дозволяє конфігурувати його для роботи в одному з п'яти базових режимів:

Асинхронна передача інформаційного масиву;

Асинхронне приймання вхідного потоку;

Синхронна передача з тактуванням;

Синхронне приймання з використанням внутрішніх засобів синхронізації;

Синхронне приймання за допомогою зовнішніх синхронізуючих сигналів.

Програмні налаштування дозволяють гнучко змінювати довжину корисного символу в межах від 5 до 8 біт. Якщо під час взаємодії з мікропроцесором довжина переданого символу становить менше 8 біт, усі старші невикористані розряди буферного регістра автоматично маскуються (заповнюються нулями). Повний кадровий формат кожної посилки, крім інформаційного поля, містить обов'язкові службові маркери (старт/стоп), а також необов'язковий розряд апаратного контролю парності або непарності (паритету).

Внутрішня архітектура KP580BB51 передбачає три ключові функціональні модулі, інтегровані між собою за допомогою внутрішньої 8-розрядної інформаційної шини: центральний блок координації та керування, блок приймання вхідного потоку, а також блок передачі вихідного потоку.

До складу передавального тракту (блоку передачі) входять: вихідний регістр зсуву (перетворює паралельний код на послідовну серію імпульсів), крайовий вихідний формувач сигналів та логічна схема керування передачею.

Приймальний тракт (блок приймання) об'єднує: вхідний формувач-компаратор лінії, два послідовні регістри зсуву (що утворюють подвійну буферизацію для запобігання втрати даних при зчитуванні) та схему керування прийомом.

Базові інтерфейсні сигнали блока керування та координації визначають категорію інформаційного обміну (передача команд керування/статусу чи безпосередньо байтів даних), а також поточний вектор руху інформації на шині, що регламентується комутаційними комбінаціями, наведеними в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 - Базові інтерфейсні сигнали

C/D	RD	WR	CS	Напрямок передачі та вид операції
0	0	1	0	ППП→ШД. Зчитування даних
0	1	0	0	ППП←ШД. Запис даних
1	0	1	0	ППП→ШД. Зчитування слова стану
1	1	0	0	ППП←ШД. Запис керуючого слова
X	X	X	1	ШД - Високий імпеданс.

X - будь-яке значення (0 або 1).

Інтеграція KP580BB51 у магистраль мікропроцесорної системи подана на рис. 2.8.

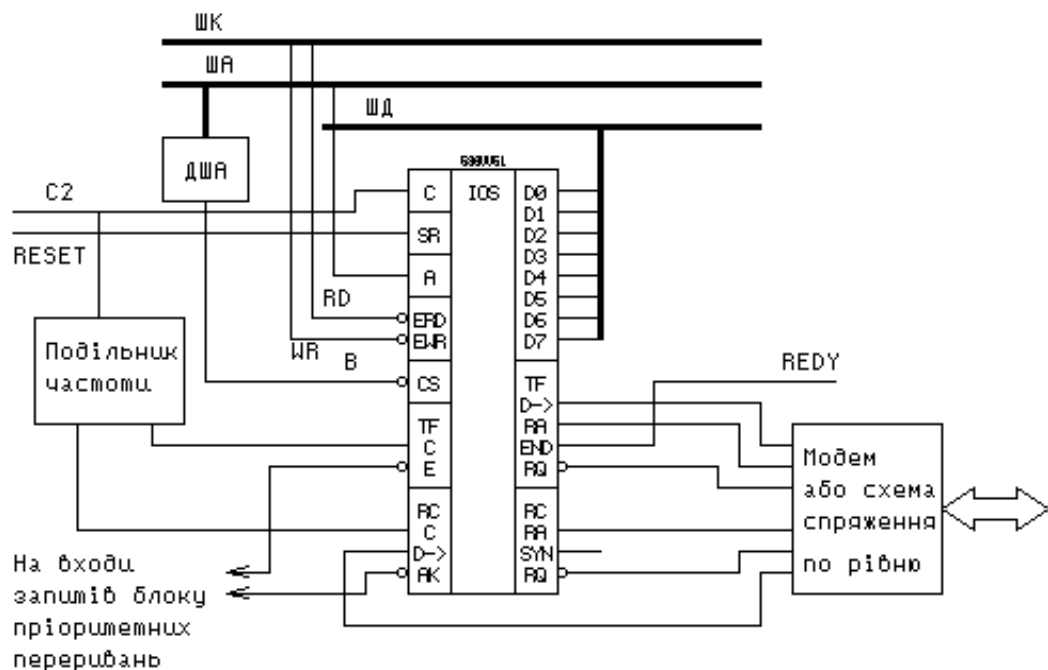


Рисунок 2.8 - Схема інтеграції KP580BB51 у магистраль системи управління.

2.6. Розробка пристроїв захисного відключення приводів парогенераторних установок.

Для виконання вимог електробезпеки парогенераторних установок теплообмінних агрегатів необхідно передбачити наступні заходи:

- режим контролю мережі живлення;
- захист від випадкового проникнення до струмоведучих частин електроустановки;
- контроль і профілактика ушкоджень ізоляції;
- заземлення;
- захисне відключення;
- застосування захисних засобів;
- організаційні і технічні заходи.

Мережа між двигуном і тиристорним перетворювачем є двухпровідною з ізольованими дротами. Це необхідно по технічних розуміннях і незалежно від небезпеки враження електричним струмом застосовується саме ця схема включення.

Живлення тиристорного перетворювача серії КТЕУ здійснюється від розподільної шини 380 В через роздільний трансформатор, розподільна шина розташована уздовж стіни на висоті 3 м на ізоляторах. Шини підключені до масляного вимикача, з іншої сторони до якого прикріплені проводи, що живлять тиристорний перетворювач. Кабель прокладений у підземному бетонованому кабельному каналі, накритий зверху рифленими листами заліза. Краї каналів закріплені металевими заземленими кутниками.

Тиристорний перетворювач поміщений у металеву шафу, у якому також розміщений роздільний трансформатор.

Підведення живлення до електродвигуна здійснюється за допомогою

кабелю, прокладеного в підземний кабельний канал.

Кабелі для живлення тиристорного перетворювача і двигуна - броньовані для захисту від можливих механічних ушкоджень.

Контроль ізоляції ланцюга 380 В здійснюється періодично при відключеній установці. При цьому вимірюється опір ізоляції окремих ділянок мережі, трансформаторів, електричних апаратів, двигуна. Вимірюється опір кожної фази відносно землі захисним апаратом.

Нормальним опором ізоляції кабелю нижче 1000 В вважається 0.5 МОм, виміри проводяться мегаомметром при напрузі 1000 В.

Контроль ізоляції мережі між двигуном і тиристорним перетворювачем, а також мережі напругою 380 В здійснюється постійно, тому що ушкодження і пробій ізоляції приводить до виникнення підвищеної небезпеки ураження людини електричним струмом. Контроль здійснюється приладом, схема якого приведена на рис. 2.9.

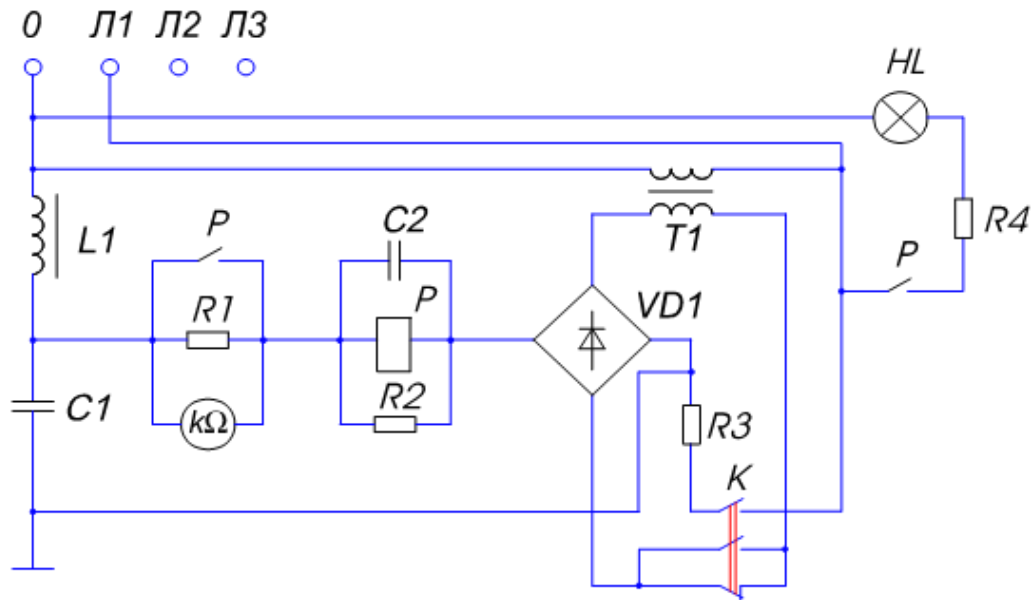


Рисунок 2.9 - Контроль ізоляції електромережі в колі агрегата.

Відлік опору ізоляції роблять по шкалі приладу. При зниженні опору ізоляції до гранично допустимого рівня 0.25 МОм, прилад подає звуковий і світловий сигнали і забезпечує захисне відключення установки при

виникненні аварійних режимів.

Опір ізоляції двигуна і тиристорного перетворювача складають 0.5 МОм у нормальному стані, трансформатора - 1.5 МОм, і вимірюється мегаомметром на 500 В і 1000 В.

Контроль напруги на корпусі трансформатора, перетворювача, двигуна здійснюється за допомогою схеми, що реагує на напругу корпусу відносно землі (рис. 2.10). У схемах цього типу в якості датчика використовують реле напруги РЗ, включене між корпусом і допоміжним заземлювачем.

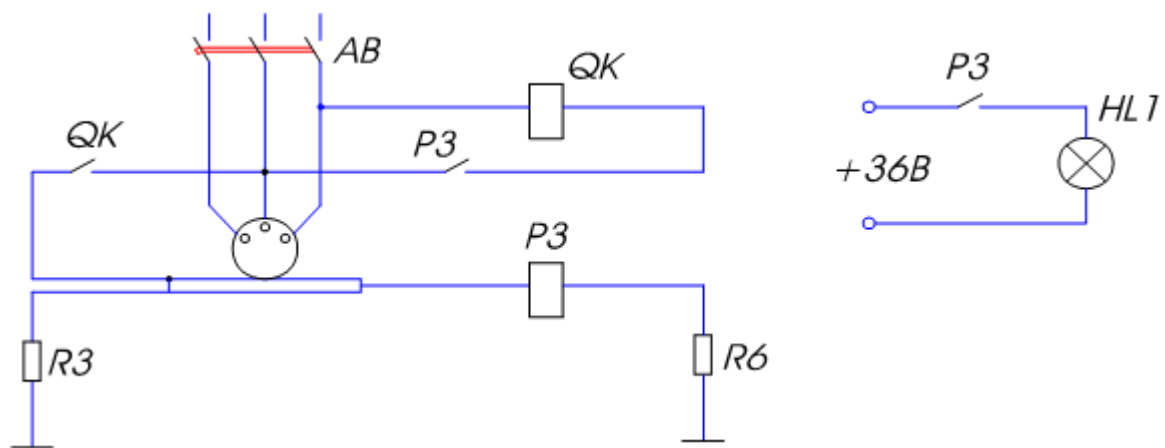


Рисунок 2.10 - Контроль напруги на корпусі двигуна.

Схема здійснює захист від глухих замикань на землю і придатна в мережах з ізолюваною і заземленою нейтраллю. Перевагою схеми є її простота, а недоліком - необхідність застосовувати допоміжний заземлювач, не селективність при загальному заземленні і відсутність самоконтролю.

Для контролю напруги фаз відносно землі використовують схему, приведену на рис. 2.11.

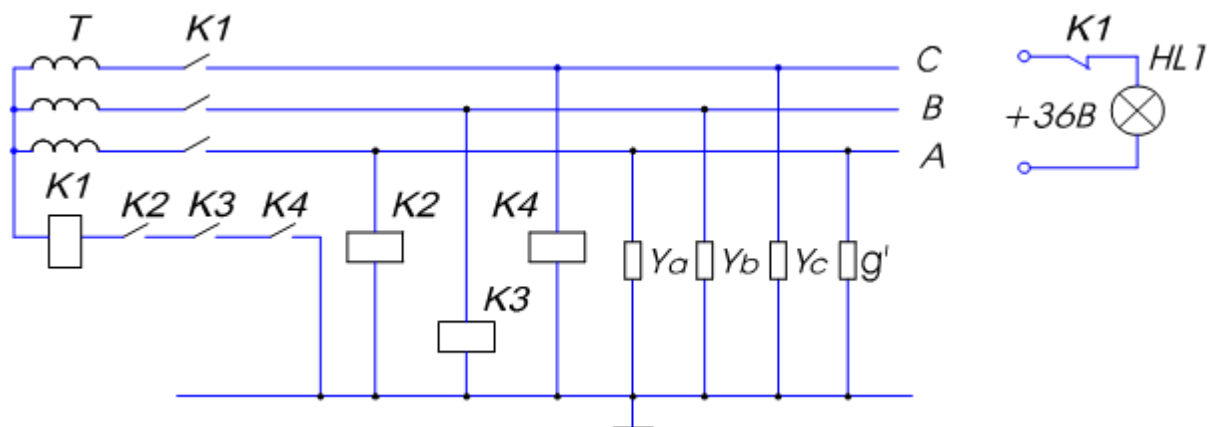


Рисунок 2.11 - Контроль напруги фаз відносно землі.

Датчики включені між фазами і землею вимірюють напругу фаз відносно землі, які близькі в номінальному режимі до фазових напруг джерела живлення. При ушкодженні ізоляції фази напруга цієї фази відносно землі зменшиться. Якщо напруга цієї фази виявиться нижчою за установлену, то мережа відключається. Відключення відбудеться і при обриві кола будь-якого реле.

Перевагою схеми є чітке спрацьовування при глухому замиканні на землю незалежно від опору ізоляції і ємності мережі, а також самоконтроль схеми. Недоліком - застосування великої кількості реле.

Для захисту перетворювача від режиму короткого замикання в кабельній лінії, що живить двигун, в КТЕУ використаний автоматичний вимикач, що розриває коло при замиканні кожної з ліній на землю чи між собою.

При спрацьовуванні кожного з перерахованих захистів забезпечується світлова сигналізація, що свідчить про відмову тієї чи іншої частини установки.

3. Спеціальна частина

Використання пакету AutoCAD для розроблення графічної частини кваліфікаційної роботи

3.1. Опис та принцип роботи пакету AutoCAD

AutoCAD – це потужна система автоматизованого проєктування (САПР), розроблена компанією Autodesk. Вона є світовим стандартом у галузі 2D-креслення та 3D-моделювання. З розвитком хмарних технологій, штучного інтелекту та апаратного забезпечення, можливості AutoCAD постійно розширюються, дозволяючи працювати над складними проєктами спільно з будь-якої точки світу.

Пакет програм AutoCAD являє собою комплексну платформу для випуску технічної документації, архітектурного та інженерного проєктування.

Можливості сучасної системи:

- створення двовимірних (2D) креслень будь-якої складності;
- тривимірне (3D) твердотільне, поверхневе та полігональне моделювання;
- автоматизація рутинних задач за допомогою макросів, скриптів (AutoLISP) та інструментів на базі штучного інтелекту (Smart Blocks, Markup Assist);
- спільна робота в реальному часі через хмарні сервіси Autodesk Docs;
- інтеграція з технологіями інформаційного моделювання будівель (BIM);
- фотореалістична візуалізація (рендерінг) 3D-моделей.

Креслення в AutoCAD базується на векторній графіці. Користувач працює з набором примітивів: від базових (лінія, коло, текст) до складних (сплайни, 3D-тіла, динамічні блоки).

Кожне креслення є цифровим двійником реального об'єкта. У просторі моделі об'єкти створюються в натуральну величину (масштаб 1:1) з використанням світової системи координат (X, Y та Z для 3D). Сучасний AutoCAD використовує обчислення з подвійною точністю (double-precision floating-point), що забезпечує практично безмежний масштаб від нанометрів до астрономічних одиниць.

3.2. Функціонування програми та Інтерфейс

Сучасний AutoCAD використовує візуальний інтуїтивний графічний інтерфейс та командний рядок.

Початок роботи

Запуск програми здійснюється через операційні системи Windows або macOS, а також через браузер у версії AutoCAD Web. Після завантаження користувача зустрічає **Вкладка «Початок» (Start Tab)**, яка замінила старе Головне меню. Вона дозволяє:

- створити нове креслення на базі шаблону;
- відкрити існуючі файли з локального диска або хмарного сховища;
- переглянути останні відкриті документи;
- отримати доступ до навчальних матеріалів.

Робочий простір (Інтерфейс)

Після створення або відкриття файлу активується графічний редактор. Основні елементи керування:

- **Стрічка (Ribbon):** Верхня панель, де інструменти згруповані за вкладками (Головна, Вставлення, Анотації, Вигляд тощо).
- **Командний рядок:** Розташований внизу екрана. Дозволяє швидко

вводити команди з клавіатури, пропонує автозаповнення та динамічні підказки.

- Палітри інструментів: Плаваючі вікна для доступу до блоків, властивостей об'єктів та шарів.

- Видові екрани та Листи (Layouts): Простір моделі використовується для проєктування, а простір листа – для компоновання креслення, налаштування масштабів та виводу на друк (або в PDF).

Формати введення даних

AutoCAD підтримує гнучке налаштування одиниць вимірювання.

Для лінійних величин:

- наукові (1.55E+01)
- десяткові (15.5000)
- дробові (15 1/2)
- архітектурні (1'-3 1/2")
- інженерні (1'-3.5")

Для кутових величин:

- десяткові градуси (42.5)
- градуси/хвилини/секунди (42d30'0")
- гради (47.2222g)
- радіани (0.7418r)
- топографічні одиниці (N 47d30' E)

3.3. Формати файлів в AutoCAD

AutoCAD використовує сучасні формати збереження та обміну даними (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Формати збереження та обміну даними в AutoCAD

Розширення	Опис файлу
DWG	Основний формат файлу креслення. Містить всю 2D та 3D геометрію.
DWT	Шаблон креслення. Використовується для стандартизації налаштувань, шарів та рамок.
DXF	Формат обміну графічною інформацією (Drawing Exchange Format) для сумісності з іншими САПР.
BAK	Автоматична резервна копія креслення (попередня збережена версія файлу).
CUIX	Сучасний файл адаптації інтерфейсу користувача (замінив старі файли .MNU).
PDF	Стандартний формат для експорту технічної документації та виводу на електронний друк.
LIN	Бібліотечний файл опису типів ліній (штрихові, пунктирні тощо).
PAT	Бібліотечний файл візерунків штрихування.
PGP	Файл параметрів програми, що зберігає псевдоніми клавіатурних команд (гарячі клавіші).
LSP	Файли програм та скриптів мовою AutoLISP для автоматизації задач.

3.4. Особливості розроблення електричних схем в AutoCAD (Electrical Toolset)

Проектування систем автоматизації та управління електроприводами вимагає високої точності та швидкості створення документації. AutoCAD Electrical кардинально змінює парадигму роботи: замість звичайного

креслення графічних примітивів користувач створює логічно пов'язану цифрову модель електричної системи.

3.4.1 Від графічних примітивів до "розумних" об'єктів

У класичному AutoCAD лінія – це просто вектор між двома точками. В AutoCAD Electrical застосовується об'єктно-орієнтований підхід:

- Провідники замість ліній: Лінія, намальована на шарі проводів, автоматично розпізнається системою як електричний провідник. Вона має властивості перерізу, кольору жили, типу ізоляції та належності до певного потенціалу (наприклад, +24V, GND, L1).
- Компоненти замість блоків: Електричні апарати (автоматичні вимикачі, контактори, реле) вставляються з великих баз даних виробників (Siemens, ABB, Schneider Electric тощо). Кожен такий символ – це "розумний" блок, який містить атрибути: номінальний струм, артикул, кількість та тип контактів.
- Розрив та відновлення проводів: При вставленні компонента на провідник, лінія автоматично розривається, підключаючись до клем апарата. При видаленні компонента – лінія автоматично "зростається". Це виключає ризик появи розірваних кіл, що часто траплялося при ручному редагуванні.

3.4.2 Інтелектуальна нумерація та перехресні посилання

Однією з найскладніших задач у великих проєктах (наприклад, у шафах керування автоматизованими лініями) є відстеження зв'язків між рознесеними елементами:

- Автоматична нумерація проводів: Система здатна автоматично маркувати провідники за заданим алгоритмом (наприклад, послідовно від 1 до N, або з прив'язкою до номера аркуша та зони креслення). При внесенні змін (додаванні нових кіл) AutoCAD перенумеровує схему в один клік.
- Позиційні позначення (Теги): Кожному пристрою автоматично

присвоюється унікальний тег (наприклад, QF1, KM2). Система слідкує, щоб у проєкті не з'явилося двох реле з однаковим маркуванням.

- Відстеження рознесених контактів (Cross-referencing): Електромагнітна котушка контактора та її силові й допоміжні контакти можуть знаходитися на різних сторінках проєкту. AutoCAD Electrical автоматично створює таблиці перехресних посилань: біля котушки вказується, на яких сторінках знаходяться її контакти (і чи вони нормально відкриті (NO), чи нормально закриті (NC)), а біля контактів – посилання на сторінку з котушкою. Система контролює, щоб кількість використаних контактів не перевищила фізично доступну кількість у вибраному апараті.

3.4.3 Проєктування систем на базі ПЛК (програмованих логічних контролерів)

Оскільки більшість сучасних комп'ютерно-інтегрованих систем базується на ПЛК, AutoCAD Electrical має потужні інструменти для роботи з ними:

- Параметрична генерація модулів: Замість того, щоб малювати модуль вводу-виводу на 32 канали вручну, розробник просто вибирає серію ПЛК з бази даних. Програма автоматично генерує графічне представлення модуля з відповідними адресами входів/виходів (I/O).

- Експорт/Імпорт даних: Існує можливість експортувати список адрес входів/виходів у формат електронної таблиці (Excel), передати її програмістам для написання коду в TIA Portal чи Codesys, а потім імпортувати назад. Усі коментарі (наприклад, "Датчик тиску насоса 1") автоматично оновляться на принциповій електричній схемі.

3.4.4 Компонування монтажних шаф (Panel Layout)

Розробка принципової схеми – це лише половина справи. Наступний етап – створення креслення загального вигляду (компоновання) електрощита.

- Зв'язок 2D-схеми та шафи: AutoCAD Electrical дозволяє витягти перелік всіх компонентів із принципової схеми і розмістити їхні фізичні габарити (Footprints) на кресленні монтажної панелі.
- Система підсвітить компоненти, які вже встановлені в шафу, і ті, що ще чекають на розміщення. Це виключає ситуацію, коли апарат є на схемі, але про нього забули при компонуванні щита.
- DIN-рейки та кабельні канали: Програма має інструменти для швидкого креслення монтажних рейок та коробів із автоматичним розрахунком їхньої довжини для подальшого замовлення.

3.4.5 Контроль помилок у режимі реального часу

У процесі роботи AutoCAD постійно аналізує логіку схеми (Аудит креслення) і попереджає інженера про критичні помилки:

- Короткі замикання (пряме з'єднання різних фаз або фази і нуля).
- Відсутність підключення до клеми компонента.
- Дублювання номерів проводів або позиційних позначень.
- Перевантаження контактних груп реле.
- Проводи, що "висять" у повітрі (без джерела потенціалу).

3.4.6 Підтримка стандартів (ДСТУ, ІЕС, ІС) та автоматична документація

Сучасний пакет постачається з готовими бібліотеками графічних символів за різними світовими стандартами. В умовах вітчизняного та європейського ринків найчастіше використовуються бібліотеки стандартів ІЕС 60617 (Міжнародна електротехнічна комісія) та підтримка рамок і форматів за ДСТУ.

Коли логічна модель схеми завершена, формування звітної документації займає лічені хвилини. На відміну від ручного підрахунку специфікацій, система автоматично генерує:

- Специфікацію (BOM - Bill of Materials): Точний перелік усього

обладнання з артикулами, кількістю та назвами виробників.

- Таблиці з'єднань (Wire Lists): Кабельні журнали, які вказують, звідки (Джерело) і куди (Приймач) йде кожен провід, який його колір, переріз та довжина.

- Таблиці підключення клемників: Графічне відображення клемних колодок із зазначенням зовнішніх та внутрішніх підключень до щита керування.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці. Головними об'єктами її дослідження є людина в процесі праці, виробниче середовище, організація праці та виробництва. На підставі цих досліджень розробляються заходи щодо підвищення рівня охорони праці на виробництві.

Функціонування підприємств в умовах ринкових відносин означає, що нещасні випадки і захворювання на виробництві викликають суттєві економічні втрати не тільки держави, а й конкретного підприємства, вони впливають на рентабельність та конкурентоздатність підприємств, на прибутки трудового колективу. Незадовільні умови праці негативно відбиваються на продуктивності праці, якості і собівартості продукції. Тому всебічна турбота про охорону праці, проведення активної соціальної політики, впровадження більш дієвих заходів щодо підвищення рівня безпеки виробництва стає важливою проблемою для власників і керівників підприємств, державних та профспілкових органів.

4.1. Заходи по забезпеченню санітарно-технічних норм дільниці пастеризації молочної продукції

Приміщення пастеризаційного цеху молокопродуктів відносять до приміщень зі значним надлишком явного тепла, по причині діючих та термічних процесів необхідних для термічної обробки сировини і, отже, припустимі норми температури, відносної вологості, швидкості руху

повітря в теплий період року складають 25°C при вологості 70% і швидкості повітря 0.7 м/с, у холодний і перехідний періоди року зниження температури повинне бути не нижче 10°C поза постійними місцями роботи, а на робочих місцях для холодного і перехідного періодів температура повинна складати 18°C при відносній вологості 60% і швидкості повітря 0.3 м/с.

У робочій зоні пастеризаційної установки присутні наступні шкідливі впливи: оксиди азоту і вуглецю.

Джерелом оксидів азоту і вуглецю є парогонераторні установки теплообмінних агрегатів - використовувані для процесу пастеризації молокопродуктів.

У кабіні операторів присутні такі шкідливі речовини, як оксид вуглецю, оксид азоту.

Вуглекислий газ утвориться в результаті подиху самого оператора, а також у результаті технологічного процесу пастеризації молокопродуктів.

Кількості оксидів вуглецю і азоту, отримувані в результаті технологічного процесу пастеризації молокопродуктів допустимо малі. Крім того, у цеху пастеризації молокозаводу присутня потужна система витяжної вентиляції.

Вплив шкідливих факторів на працюючих полягає у влученні пилу в дихальні шляхи і легені організму людини, засмічення пор шкіри і погіршення теплообмінних властивостей організму з навколишнім середовищем.

Вплив вуглекислого газу виявляється в затрудненні подиху і збільшенні ритму роботи серця.

Гранично припустимі концентрації:

оксиду азоту (NO) 6.0мг/м³; кл. неб. 4;

діоксиду вуглецю (CO₂) 20.0мг/м³; кл. неб. 4;

Робоче освітлення в цеху - штучне і природне, аварійне - штучне.

Штучне освітлення в обох випадках забезпечується загальними світильниками, розміщеними у верхній частині цеху (верхній зоні) рівномірно.

У кабіні операторів робоче освітлення є загальними, і забезпечується світильниками з люмінесцентними лампами, розташованими у верхній частині кабінки. Евакуаційне освітлення - штучне, загальне.

Контрастність об'єктів у цеху пастеризації молокозаводу велика ($0.5 \geq K \geq 0.2$).

Розряд зорової роботи у цеху пастеризації молокозаводу - VI, до якого відносять розглядання предметів більш 5 мм.

Норма освітленості дорівнює 200 лк, а коефіцієнт природного освітлення при спільному освітленні - 1.8 для III поясу.

Найменша освітленість робочої поверхні виробничих приміщень і територій підприємства, що вимагають обслуговування при аварійних режимах складає 5% від освітленості, нормованої для робочих приміщень при системі загального освітлення, але не менш 2 лк.

Норма звукового тиску для оператора складає 65 дБ при частоті шуму приблизно 100 Гц - середні частоти.

4.2. Аналіз потенційних небезпек та заходи підвищення безпеки праці при експлуатації обладнання для пастеризації молочної продукції

Обладнання може обслуговувати особа, яка має кваліфікацію оператора харчової промисловості і ознайомлення з даною інструкцією по експлуатації.

Обладнання не потребує постійного нагляду обслуговуючого персоналу.

Не можна приводити в рух поламане обладнання.

Усунення неполадок дозволяється тільки персоналом служби головного механіка.

Не дозволяється робота обладнання в випадку відсутності захисних огорожень .

При митті обладнання миючим засобами і засобами дезінфекції слід дотримувати обережність і правила які відносяться до цих засобів а також одіти захисну одягу і насамперед :

- захисні окуляри,
- гумовий фартух на робочу одягу,
- гумові чоботи,
- захисні рукавиці,
- захисний капішон,
- штани повинні прикривати чоботи.

При виявленні неполадки роботи обладнання слід заявити про ремонтній службі з метою усунення.

Обладнання перед передачею в експлуатацію слід:

- Заявити в Інспекцію Технічного нагляду;
- Провірити стан ізоляції і заземлення електропроводки.

Експлуатація установки не допускається :

- після закінчення терміну чергового огляду , якщо немає дозволу на експлуатацію;
- при відсутності в паспорті установки дозволу на експлуатацію;
- при виявленні неповної кількості кріпильних деталей.

Про заборону експлуатації установки повинен бути зроблений запис у паспорті установки з наведенням причини та повідомлено власника підприємства .

Для реєстрації та дозволу на пуск установки в експлуатацію особи , яка здійснює нагляд за установками , повинні бути подані :

- установки (за відсутності паспорта заводу-виготовника власником установки повинно бути складено паспорт встановленої форми)
- акт , який засвідчує , що монтаж (встановлення) виконати у відповідності з проєктом і всі елементи установки встановлено правильно.
- схема включення.

Після реєстрації паспорт установки зі всіма вказаними вище документами повертається власнику установки.

4.3. Оцінка стійкості обладнання до дії електромагнітних полів та способи захисту від них

В молочній промисловості широкого методу набула обробка (підігрів) сировини методом індукційного діелектричного нагріву струмом підвищеної і високої частоти. Поряд з високою економічністю ефективністю, впровадження цього методу дозволяє значно покращити умови праці в цехах. Так при заміні даного типу обладнання на нове із використанням вище згаданого методу, різко знижується забруднення повітря в робочих приміщеннях і внаслідок великої швидкості підігріву різко знижується час і інтенсивність опромінення працюючих променевою тепловою енергією. Також на переробних молочних заводах ведеться робота з сепараторами ультрависокої і надвисокої частоти, а саме на маслозаводах.

На рисунку 4.1. показаний метод захисту від електромагнітних хвиль і шкідливого опромінення, а саме методом екранування.

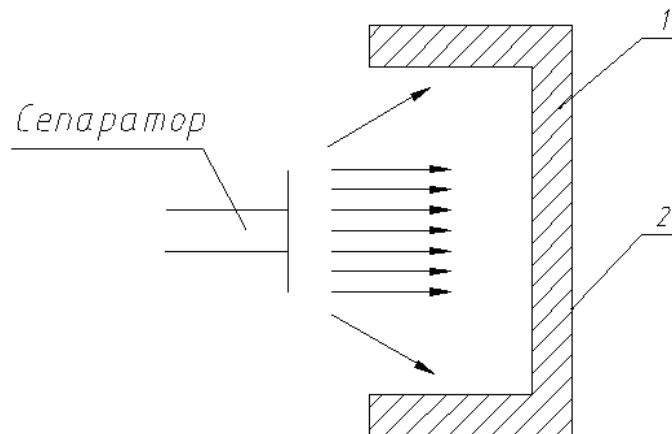


Рисунок 4.1 - Метод екранування.

1- поглинаюче покриття

2- екран

Працюючі високочастотні сепаратори випромінюють електромагнітну енергію в робочу зону, яка шкідливо діє на організм людини, якщо не прийняти певних мір безпеки. Тому при встановленні і експлуатації даних об'єктів промислової електроенергії, а також при монтажі і наладці важливо дотримуватись основних вимог техніки безпеки.

Відомо, що навколо провідника з струмом виникають одночасно і електричне, і магнітне поле. При змінному струмі електричне і магнітне поле пов'язане між собою і тому їх розглядають, як єдине електромагнітне поле. Електромагнітне поле високих і надвисоких частот може самостійно поширюватись в просторі, в якому нема провідників електричного струму, з швидкістю, близькою до швидкості світла. При цьому поширюючись у просторі, електромагнітне поле несе з собою енергію.

Електромагнітне поле змінюється з тією ж частотою, що і струм, який утворив дане поле.

Частота коливань f і період коливань поля T величини обернено пропорційні

$$f = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{f}$$

Відстань, на яку поширюється поле за один період – довжина електромагнітної хвилі λ можна знайти за формулою

$$\lambda = CT = \frac{v}{f}$$

де v - швидкість поширення електромагнітної хвилі в даному середовищі.

Швидкість поширення електромагнітної енергії залежить від діелектричної сталої ξ і магнітної проникливості середовища μ . Для повітря $\xi=1$ і $\mu=1$, а швидкість поширення електромагнітної енергії в порожнині $C=3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Тому для порівняння (в повітрі) $v=C=3 \cdot 10^{10}$ см/сек., або 300000 км/сек.

В таблиці приведено прийнята в теперішній час класифікація електромагнітних полів діапазону радіохвиль.

Таблиця 4.1 - Класифікація електромагнітних полів.

Спектр хвиль	Частота хвиль	Довжина хвиль м
Довгі	$3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^5$ високі	100000 – 1000
середні	$3 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^6$ частоти	1000 – 100
Короткі	$3 \cdot 10^6 \div 3 \cdot 10^7$	100 – 10
ультракороткі	$3 \cdot 10^7 \div 3 \cdot 10^8$ ультрависокі	10 – 1
Дециметрові		
сантиметрові		
міліметрові		

Вплив електромагнітних полів різних частот на організм людини залежить від характеру поля, створеного сепаратором на робочому місці.

Простір робочої ділянки біля джерела високо частотних полів може бути як зоною індукції, так і зоною випромінювання, в залежності від частоти сепаратора і відстані від джерела випромінювання до робочого місця. Встановлено, що на відстані від джерела не більше 1/6 довжини

хвилі переважають поле індукції, і цей простір умовно рахується зоною індукції, а на більш далеких відстанях поле випромінення, і цей простір називають зоною випромінювання.

Джерела створення полів високої і ультрависокої частоти є

- елементи коливного контуру;
- високочастотний трансформатор;
- лінії передач;
- робочий контур.

Розподіл інтенсивності електромагнітного поля в приміщенні може змінюватись в результаті багаторазових відбивань хвиль від стін, стелі, підлоги і предметів. Інтенсивність електромагнітного поля коливається в залежності від потужності сепаратора, відстані робочого місця від джерела випромінювання і відбивань від різних поверхонь. Степінь впливу електромагнітних полів на людину залежить в першу чергу від інтенсивності опромінення. З інших факторів потрібно враховувати такі, як тривалість дії і діапазон частот.

При впливі електромагнітних полів на організм людини проходить часткове поглинання їх енергії тканинами тіла. Під дією високочастотних електромагнітних полів іони тканини проходять в рух, тобто в тканинах виникають високочастотні струми, які супроводжуються тепловим ефектом. Довгий і систематичний вплив на організм людини електромагнітних полів різних частот великої інтенсивності може викликати підвищену втомленість, головну біль, сонливість, порушення сну, гіпертонію і біль в серці. Під впливом електромагнітних полів надвисоких частот спостерігаються зміни в крові, погіршення зору, а окремих людей – нервово психічні захворювання, випадання волосся, ломкість нігтів.

Для попередження професійних захворювань українським законодавством встановлені попередні і періодичні медичні огляди, а також медичний огляд при відборі осіб, які направляються на роботу з

високочастотними приладами.

Для вимірювання інтенсивності опромінення на робочих місцях користуються приладами, спеціально розробленими для гігієнічної оцінки умов праці.

Для пристроїв високої частоти, санітарні норми допускають напруженість електричного поля середніх і довгих хвиль в розмірі не більше 5 В/м, за виключенням індукційних складових.

Для діапазону сантиметрових і дециметрових хвиль допустимі величини інтенсивності опромінення диференційовані з врахуванням фактора часу.

- при опроміненні на протязі усього робочого дня, не більше 0,01 мВт/см² (10 мкВт/см²);
- при опроміненні не більше 2 год за робочий день не більше 0,1 мВт/см² (100 мкВт/см²)
- при опроміненні не більше 15-20 хв за робочий день – не більше 1 мВт/см² (1000 мкВт/см²)

Основними принципами розробки засобів захисту від впливу електромагнітних хвиль при роботі високочастотних пристроїв є:

- 1) зменшення випромінювання в самому джерелі;
- 2) екранування джерела випромінювання;
- 3) екранування робочого місця;
- 4) застосування індивідуальних засобів захисту.

В залежності від діапазону частот, типу джерела випромінювання, його потужності і характеру роботи, може використовуватись один із вказаних видів захисту або інша його комбінація.

В діапазоні великих частот для зменшення напруженості електромагнітного поля на робочих місцях рекомендується два типи захисту:

- 1) окреме екранування джерел електромагнітних полів.
- 2) повне екранування джерел електромагнітних полів.

Екранування високочастотних частин сепаратора здійснюється листами алюмінію, або заліза товщиною не менше 0,5 мм.

Високочастотний пристрій в загальному приміщенні, екранується разом з усіма огороженнями загальним кожухом. Якщо пристрій розміщений в окремому приміщенні, можна екранувати все приміщення. В цьому випадку панель керування пристрою повинна бути винесена за межі екранування. Кожний екран повинен заземлюватись.

Для запобігання опромінення працюючих потрібно забезпечити індивідуальні засоби захисту: халати, або комбінезони з тканини, відбиваючих електромагнітних хвиль, спеціальними захисними окулярами.

Для зменшення відбивання електромагнітних хвиль в приміщенні стіни і стелю покривають крейдовою фарбою, або спеціальними поглинаючими матеріалами (резиновими ковриками, магнітодіелектричними пластинами).

Для стійкості роботи об'єкту при дії електромагнітного поля потрібно належним чином забезпечити захисні елементи. Покращити стійкість будівель до опромінення згаданими вище методами. Дотримуватись всіх правил і норм встановлених законодавством по дотриманню техніки безпеки, охорони праці і індивідуального захисту, а також підтримування сил цивільної оборони в постійній готовності.

Висновки

У роботі детально розкрито конструктивні особливості модернізованої установки для теплової обробки молочних продуктів. До складу комплексу включено трубчастий теплообмінник, вирівнювальний бачок для забезпечення рівномірної подачі сировини, регулятор рівномірності потоку, автоматичний перепускний клапан, витримувач, а також сучасні контрольно-вимірювальні прилади температури й тиску. Окрему увагу приділено конструктивному вдосконаленню ключових вузлів: трубчатого теплообмінника із ефективною теплоізоляцією, витримувача, а також вирівнювального бака з поплавковим регулятором для стабілізації вхідного потоку сировини.

Технічна новизна проєкту полягає у впровадженні високонадійної системи автоматичного керування на базі мікропроцесорного комплекту. Розроблена система забезпечує прецизійне регулювання температури молока шляхом динамічного керування потоками пари в теплообмінниках та молочної сировини в трубах пастеризатора. Алгоритм керування враховує порівняльний аналіз температур сировини та обшивки пастеризатора для адаптації до змін умов теплообміну.

Результати роботи мають безпосереднє практичне значення для підприємств молочної промисловості, оскільки дозволяють інтенсифікувати виробництво, забезпечити стабільну якість пастеризації та зменшити енергоємність технологічного процесу.

Перелік посилань

1. Єресько Г. О., Шинкарик М. М., Ворошук В. Я. Технологічне обладнання молочних виробництв: навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. Київ : Фірма «ІНКОС», Центр навчальної літератури, 2007. 344 с.
2. Кочубей-Литвиненко О. В., Ющенко Н. М. Технологія отримання та первинного оброблення молока: підручник. Київ : НУХТ, 2013. 211
3. Севостьянов І. В., Зозуляк І. А. Технологічне обладнання цехів переробки продукції тваринництва: навч. посібник. Вінниця : ВНАУ, 2020. 127 с.
4. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с.
<http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
5. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
6. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
7. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Конструкторсько-технологічна практика. Методичні вказівки для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 22 с.
8. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу

- спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
9. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
10. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>
11. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
12. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>
13. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ,

2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>

14. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>
15. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>
16. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
17. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>
18. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
19. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.
20. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» –

Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.

21. Аналіз стійкості і якості електромеханічної слідкуючої системи. : Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Теорія автоматичного управління», для здобувачів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньо-професійних програм «Комп'ютерно-інтегровані системи автоматики та робототехніки», «Комп'ютеризовані системи управління та прикладне програмування». / укл. І.Р. Козбур, В.П. Пісьціо, В.Б. Савків, П.С. Федорів. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 67 с
22. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
23. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня бакалавр усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
24. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
25. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
26. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів :

- "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
27. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
28. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
29. I. Strutynska, H. Kozbur, L. Dmytrotsa, O. Sorokivska, L. Melnyk and R. Grytseliak, "Regarding to the Concept of Small and Medium-Sized Enterprises Digitalization in Ukraine: Problems and Solutions," 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2021, pp. 276-279, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548382.
30. Валяшек В.Б. Навчальний посібник з курсу: “ Оптимізаційні методи та моделі “ для спеціальностей “Облік і аудит, Фінанси і кредит, Маркетинг, Економічна кібернетика” / Кривень В.А., Валяшек В.Б., Цимбалюк Л.І., Козбур Г.В. – Тернопіль : видавництво ТНТУ, 2015. – 83 с.
31. Ковтко А.М., Козбур І.Р., Савків В.Б., Козбур Г.В. Архітектура автоматизованої системи для генерації модульних тестів на основі штучного інтелекту та мутаційного тестування // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025 – с. 278–280.
32. Kovtko A., Savkiv V., Kozbur H., Kozbur I., Trembach R. Integration of mutation testing into unit test generation using large language models // Proceedings of the 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI'2025). Ternopil, Ukraine, June 11–12, 2025. Vol. 4057. CEUR Workshop Proceedings, 2025. <https://ceur-ws.org/Vol-4057/paper4.pdf>

33. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>
34. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерні системи штучного інтелекту» для студентів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форми здобуття освіти / уклад. І. С. Дідич. // ТНТУ. – 2025. – С. 92. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50293>
35. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>
36. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.
37. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>