

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування мікроконтролерної
системи автоматичного управління пастеризацією молока.

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КАс-41
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Деркач Н.І.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Трембач Р.Б.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Козбур В.Р.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Савків В.Б.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Корольок Р.І.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

ЗМІСТ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Аналіз способів пастеризації молока	10
1.1.1. Тривала низько температурна пастеризація (LTLT)	11
1.1.2. Короткочасна високотемпературна пастеризація (HTST)	11
1.1.3. Ультрависокотемпературна обробка (УНТ).....	12
1.1.4. Порівняльний аналіз методів пастеризації	13
1.2 Методи та засоби контролю температури при пастеризації.....	14
1.3 Постановка задачі на кваліфікаційну роботу	15
1.3.1. Актуальність теми	15
1.3.2. Аналіз недоліків існуючих рішень	16
1.3.3. Обґрунтування мікроконтролерного підходу	16
1.3.4. Мета кваліфікаційної роботи	17
1.3.5. Задачі кваліфікаційної роботи	17
1.3.6. Очікувані результати	18
1.3.7. Висновки	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Розробка структурної та функціональної схеми системи	19
2.2 Обґрунтування вибору мікроконтролерної платформи та елементної бази	21
2.2.1. Вибір мікроконтролерної платформи	21
2.2.2. Вибір датчиків температури.....	25
2.2.3. Вибір засобів індикації	27
2.2.4. Вибір виконавчих елементів системи	29
2.2.5. Вибір елементів керування нагрівом	32
2.2.6. Вибір джерела живлення та перетворювачів	34
2.3 Розробка принципової електричної схеми системи	36
2.3.1. Підключення датчиків температури.....	36
2.3.2. Підключення засобів індикації	37

2.3.3. Підключення кнопок керування	38
2.3.4. Вузол керування електромагнітними реле	39
2.3.5. Підключення виконавчих механізмів	40
2.3.6. Керування нагрівальним елементом	40
2.3.7. Система живлення.....	41
2.4 Опис роботи системи та взаємодії її елементів.....	41
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	45
3.1 Вибір середовища розробки та засобів програмування	45
3.2 Розробка алгоритму роботи системи керування.....	46
3.3 Розробка програмного забезпечення мікроконтролерної системи	48
4 РОЗДІЛ БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1 Аналіз потенційних небезпек обладнання.....	52
4.2 Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом	53
4.3 Оцінка приміщення щодо пожежної небезпеки.....	57
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	63

ВСТУП

Молоко є одним із базових продуктів харчування людини, що характеризується високою біологічною цінністю та широким спектром поживних речовин. Водночас сире молоко є добрим живильним середовищем для бактерій та інших мікроорганізмів, що може становити загрозу для здоров'я споживачів. У зв'язку з цим важливе значення має процес його термічної обробки, зокрема пастеризації, яка дозволяє забезпечити безпечність продукту при збереженні його корисних властивостей.

Ефективність процесу пастеризації значною мірою залежить від точності підтримання температурного режиму та часу витримки. Недотримання технологічних параметрів може призвести як до недостатнього знищення мікроорганізмів, так і до погіршення якості молока. Саме тому актуальним є застосування автоматизованих систем керування, які забезпечують стабільність і повторюваність технологічного процесу.

Сучасний розвиток мікроконтролерної техніки дозволяє створювати компактні та економічно доступні системи автоматизації, здатні виконувати контроль, обробку та регулювання параметрів технологічних процесів у реальному часі.

Актуальність теми зумовлена потребою у створенні простої за будовою та недорогої мікроконтролерної системи для автоматизації процесу пастеризації молока, яку можна застосовувати як у навчальних цілях, так і на невеликих виробничих об'єктах.

У цій роботі передбачено створення мікроконтролерного пристрою для автоматизації пастеризації молока, який забезпечує підтримання необхідного температурного режиму та керування основними виконавчими елементами установки.

Для виконання роботи потрібно реалізувати такі етапи:

- розглянути основні способи пастеризації молока;
- дослідити сучасні засоби автоматизації технологічних процесів;
- обґрунтувати вибір мікроконтролерної платформи та елементної бази;

- побудувати структурну та принципову електричну схеми розробленої системи;
- сформулювати алгоритм роботи системи;
- написати програму для керування установкою;
- перевірити роботу створеної системи.

Об'єктом дослідження є технологічний процес пастеризації молока.

Предмет дослідження становить мікроконтролерний пристрій, який забезпечує автоматичне керування основними етапами пастеризації молока.

Для виконання роботи було використано опрацювання науково-технічних джерел, основні положення автоматичного керування, перевірку роботи системи на практиці та розроблення програмного алгоритму для мікроконтролера.

Практична цінність роботи полягає в тому, що було створено працездатну систему для автоматизації пастеризації молока. Її можна застосовувати як навчальний стенд для перевірки принципів керування температурою, а також як основу для подальшого вдосконалення подібних технічних рішень.

Кваліфікаційна робота містить вступ, три розділи, висновки, перелік використаних джерел і додатки. У першому розділі розглянуто предметну область та способи пастеризації молока. У другому розділі описано вибір апаратних компонентів і побудову схем. У третьому розділі подано алгоритм роботи та програмну реалізацію системи.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз способів пастеризації молока

Молоко вважається цінним харчовим продуктом завдяки вмісту поживних компонентів, серед яких є білкові речовини, молочний жир, вуглеводи, вітаміни та мінеральні сполуки. Водночас свіже молоко є сприятливим середовищем для розмноження патогенних мікроорганізмів, зокрема збудників туберкульозу, бруцельозу, сальмонельозу та інших інфекційних захворювань [1-5]. Тому забезпечення мікробіологічної безпеки молока є першочерговою задачею молочної промисловості.

Пастеризація молока являє собою процес теплової обробки, під час якого продукт нагрівається до визначеної температури та витримується протягом заданого часу для зменшення кількості хвороботворних мікроорганізмів і підвищення безпечності продукту [6-9]. Основи цього методу пов'язані з дослідженнями французького хіміка Луї Пастера, які проводилися у XIX столітті, і з того часу він залишається основним способом забезпечення мікробіологічної безпеки молочних продуктів у всьому світі.

Ефективність пастеризації визначається поєднанням двох ключових параметрів: температури нагрівання та часу, протягом якого молоко витримується після нагрівання. Зі збільшенням температури скорочується необхідний час витримки, і навпаки – за нижчих температур потрібна довша експозиція для досягнення аналогічного бактерицидного ефекту [10-14]. Саме на цьому принципі ґрунтується класифікація основних методів пастеризації.

Існує три основні види пастеризації молока:

1) Тривала низькотемпературна пастеризація (Low Temperature Long Time, LTLT) полягає в тому, що молоко нагрівають приблизно до 63 °C і підтримують цю температуру близько 30 хвилин.

2) Короткочасна високотемпературна пастеризація (High Temperature Short Time, HTST) здійснюється при температурі 72-75 °C з витримкою 15-20 секунд.

3) Миттєва пастеризація (ультрависокотемпературна обробка, Ultra High Temperature, УНТ) проводиться при температурі 135-150 °С протягом 2-5 секунд [15–18].

Вибір конкретного режиму визначається типом продукції, вимогами до терміну зберігання та технологічними можливостями обладнаннями.

1.1.1. Тривала низько температурна пастеризація (LTLT)

Метод LTLT належить до найстаріших способів пастеризації. При цьому режимі молоко доводять приблизно до 63 °С і залишають при такій температурі орієнтовно на 30 хвилин. Найчастіше такий процес проводять у пастеризаційних ваннах або резервуарах із подвійними стінками, де нагрівання забезпечується циркуляцією гарячої води [19–23].

Основною перевагою LTLT є м'який вплив на молоко: за відносно низької температури зберігаються практично всі термолабільні вітаміни (зокрема вітаміни С та В12), ферменти та білкові фракції, що робить цей метод особливо придатним для виробництва сирів, кисломолочних продуктів та інших ферментованих виробів [24–27]. Крім того, обладнання для LTLT є конструктивно простим, не потребує складних систем автоматизації та має відносно невисоку вартість, що робить його доступним для малих підприємств та лабораторних досліджень.

Проте метод LTLT має суттєві недоліки. По-перше, тривалий час обробки значно обмежує продуктивність – за одну зміну можна обробити відносно невеликий об'єм молока. По-друге, протягом 30-хвилинної витримки необхідно підтримувати стабільну температуру із мінімальними відхиленнями, що вимагає надійної системи контролю температури. По-третє, подовжений контакт молока нагрітими поверхнями збільшує ризик пригорання та погіршення органолептичних властивостей продукту [28–33]. Також слід зазначити підвищене енергоспоживання через необхідність тривалого підтримання температури.

1.1.2. Короткочасна високотемпературна пастеризація (HTST)

Метод HTST є найбільш поширеним у сучасній молочній промисловості. При цьому способі молоко швидко доводять до температури приблизно 72-75 °С і

утримують у такому режимі близько 15-20 секунд. Процес здійснюється переважно у пластинчастих або трубчастих теплообмінниках безперервної дії, де молоко тонким шаром проходить між нагрівальними пластинами [34–37].

Основною перевагою цього методу є ефективне зменшення кількості мікроорганізмів без суттєвого погіршення властивостей молока. Крім того, використання теплообмінників дозволяє забезпечити швидку обробку продукту та зменшити витрати енергії [38–39].

Недоліком є складність обладнання та високі вимоги до системи автоматичного контролю температури. Обладнання для його реалізації є конструктивно складним, дорогим та потребує кваліфікованого обслуговування. Висока швидкість потоку молока вимагає прецизійної системи контролю температури з мінімальним часом відгуку, оскільки навіть короткочасне відхилення температури від заданого значення може призвести до недостатньої пастеризації або, навпаки, до зайвої термічної деструкції [39–40]. Це зумовлює високі вимоги до автоматизації процесу.

1.1.3. Ультрависокотемпературна обробка (УНТ)

Метод УНТ полягає у короткочасному нагріванні молока до 135-150 °C протягом 2-5 секунд з подальшим швидким охолодженням та асептичним розфасуванням. Розрізняють два основні способи нагрівання: прямий (інжекція пари або інфузія молока в пару) та непрямий (через стінку теплообмінника) [40–44].

Ключовою перевагою УНТ-обробки є досягнення практично повної стерильності продукту за рахунок знищення не лише вегетативних форм мікроорганізмів, а й значної частини спороутворювальних бактерій. Це дає змогу зберігати УНТ-молоко без холодильного обладнання протягом кількох місяців без додавання консервантів, що суттєво спрощує логістику та зберігання [5–9]. Завдяки надзвичайного короткому часу термічного впливу зберігається більша частина харчових властивостей молока порівняно зі стерилізацією.

До недоліків УНТ-обробки можна віднести потребу у складному технологічному обладнанні та підвищені енергетичні витрати, оскільки процес

відбувається за температур, що перевищують 135 °С. Високі температури спричиняють часткову денатурацію сироваткових білків і реакцію Маяра, що може впливати на смак і колір молока, надаючи йому специфічний «кип'ячений» присмак [8, 10–14]. Реалізація цього методу потребує надзвичайно точної системи керування температурою з часом відгуку, що вимірюється частками секунди.

1.1.4. Порівняльний аналіз методів пастеризації

Для систематизації відомостей про розглянуті способи пастеризації наведено їх порівняння за основними технологічними параметрами.

Таблиця 1.1

Порівняння основних способів пастеризації молока

Параметр	LTLT	HTST	УНТ
Температура, °C	63	72-75	135-150
Тривалість витримки	30 хв	15-20 с	2-5 с
Тип процесу	Періодичний	Безперервний	Безперервний
Термін зберігання	5-7 діб	7-21 доба	3-6 місяців
Умови зберігання	2-6 °C	2-6 °C	Кімнатна температура
Збереження якості	Високе	Добре	Задовільне
Енергоспоживання	Високе	Помірне (з рекуперацією)	Високе
Складність обладнання	Низька	Середня	Висока
Вартість обладнання	Низька	Середня-висока	Дуже висока
Сфера застосування	Малі підприємства, лабораторії	Промислові молокозаводи	Великі промислові підприємства

Як видно з таблиці 1.1, кожен із розглянутих методів пастеризації має свою сферу застосування. Метод LTLT доцільно використовувати у невеликих виробництвах або лабораторних умовах, оскільки він є простим у реалізації та забезпечує мінімальний вплив на якість молока. Метод HTST є найбільш поширеним у промисловості, оскільки дозволяє досягти хорошого співвідношення між продуктивністю, якістю продукції та витратами. Метод УНТ застосовується тоді, коли необхідно забезпечити тривале зберігання молока без використання холодильного обладнання [15–19].

У всіх режимах пастеризації велике значення має правильний контроль температурного режиму. Якщо температура є недостатньою або не витримано

потрібний час, частина мікроорганізмів може залишитися в продукті. У випадку перевищення температури можливе погіршення якості молока через руйнування його корисних компонентів [20–24]. Тому контроль і підтримання температури є важливою задачею при розробці систем пастеризації.

Проведений аналіз показує, що методи пастеризації відрізняються своїми перевагами та недоліками, тому спосіб обробки підбирають відповідно до умов виробництва і вимог до продукту. При цьому спільною умовою для всіх методів є необхідність точного дотримання температурного режиму. Для лабораторних установок і невеликих систем найбільш доцільним є використання методу LTLT через його простоту. Водночас навіть у цьому випадку важливо забезпечити стабільність температури протягом усього процесу.

1.2 Методи та засоби контролю температури при пастеризації

Контроль температури під час пастеризації молока має велике значення, оскільки від нього залежить безпечність продукту та збереження його основних властивостей. Якщо температура буде заниженою – можливе збереження шкідливих мікроорганізмів, а якщо завищеною – погіршується якість молока.

Для вимірювання температури використовуються різні типи датчиків. Найбільш поширеними є термопари, терморезистори та цифрові датчики температури.

Термопари працюють на основі різниці температур і генерують електричний сигнал. Вони мають широкий діапазон вимірювання і є досить надійними, але їх точність у межах температур пастеризації не завжди достатня.

Терморезистори (наприклад Pt100) забезпечують високу точність вимірювання і стабільність роботи. Проте вони є дорогими та потребують складнішого підключення, що ускладнює їх використання у простих системах.

Цифрові датчики температури, такі як DS18B20, є зручними у використанні, мають достатню точність і легко підключаються до мікроконтролера. Вони дозволяють підключати декілька датчиків до однієї лінії, що є важливим для реалізації багатоточкового контролю.

У процесі пастеризації доцільно вимірювати температуру не тільки молока, а й нагрівального середовища. Це дозволяє краще контролювати процес нагрівання та уникнути перегріву. Тому використання двох датчиків температури є обґрунтованим рішенням.

Для автоматизації контролю температури можуть використовуватись різні засоби. Найпростішими є терморегулятори, які підтримують задану температуру, але не дозволяють реалізувати повний процес пастеризації.

Промислові системи на базі ПЛК мають широкі можливості, але є дорогими та складними у використанні.

Оптимальним рішенням для лабораторної установки є використання мікроконтролера. Він дозволяє реалізувати необхідні алгоритми керування, підключити кілька датчиків та керувати виконавчими механізмами.

Для підтримання температури використовується PID-регулювання, яке дозволяє плавно змінювати потужність нагріву та забезпечує стабільність температури.

1.3 Постановка задачі на кваліфікаційну роботу

1.3.1. Актуальність теми

Молочна галузь є важливою частиною агропромислового комплексу України, оскільки забезпечує населення різними видами харчової продукції. Обсяги виробництва молока залишаються значними, що підкреслює його роль як важливого продукту щоденного споживання. Серед процесів обробки молока особливе місце займає пастеризація, оскільки вона допомагає підвищити безпечність продукту та зберегти його якість.

З огляду на підвищені вимоги до якості та безпечності харчових продуктів, важливим завданням є впровадження систем контролю технологічних процесів. У цьому випадку автоматизація дає змогу стабільно підтримувати необхідні параметри обробки. Температура пастеризації є основним контрольованим параметром, оскільки навіть незначні відхилення можуть впливати на якість і безпечність готового продукту.

1.3.2. Аналіз недоліків існуючих рішень

Незважаючи на суттєвий розвиток систем автоматизації процесів пастеризації, на практиці все ще існує ряд проблем, характерних як для промислових установок, так і для рішень, що використовуються у невеликих господарствах або навчальних цілях.

Автоматизовані комплекси на основі програмованих логічних контролерів і SCADA-систем дають змогу точно та стабільно керувати технологічними процесами. Водночас такі рішення потребують значних витрат на придбання, монтаж і подальше обслуговування. Через це їх не завжди доцільно використовувати на невеликих підприємствах, у фермерських господарствах або в навчальних лабораторіях. Крім того, багато промислових систем мають обмежені можливості для зміни структури та налаштування під конкретні завдання.

Більш прості пристрої, такі як автономні терморегулятори, є доступнішими за вартістю, проте їх функціональні можливості суттєво обмежені. Вони здатні підтримувати задану температуру лише в одній контрольній точці та не забезпечують реалізацію повного технологічного циклу пастеризації, який включає нагрівання, витримку та охолодження продукту. Крім того, такі пристрої не дозволяють координовано керувати допоміжними виконавчими механізмами та не підтримують багатоточкове вимірювання температури.

Існуючі мікроконтролерні рішення, представлені у відкритому доступі, часто мають спрощену реалізацію. Зокрема, вони обмежуються контролем температури в одній точці, використовують примітивні алгоритми керування без повноцінного регулювання та не мають зручного інтерфейсу користувача. У результаті такі системи не дозволяють реалізувати повноцінний автоматизований процес пастеризації.

1.3.3. Обґрунтування мікроконтролерного підходу

Використання мікроконтролера для створення системи керування пастеризацією є досить логічним рішенням. По-перше, мікроконтролери мають достатньо можливостей для реалізації алгоритмів керування температурою і логіки роботи всієї системи.

По-друге, вони мають різні інтерфейси, що дозволяє без проблем підключати датчики, дисплеї та інші пристрої. Це значно спрощує розробку системи.

Ще одна важлива перевага — відкритість. Програму можна змінювати, допрацьовувати і адаптувати під конкретні задачі. Це дуже зручно для навчання та експериментів.

Крім того, мікроконтролерні системи є дешевшими за промислові аналоги, тому їх часто застосовують у навчальних стендах та малих технічних проєктах.

Використання цифрових датчиків температури дозволяє вимірювати температуру в декількох точках одночасно. Наприклад, можна окремо контролювати температуру води і молока, що дає кращий контроль над процесом і дозволяє уникнути перегріву.

1.3.4. Мета кваліфікаційної роботи

У роботі передбачено розроблення системи на базі мікроконтролера для автоматичного керування процесом пастеризації молока, яка забезпечує контроль температури у двох точках, підтримання заданого температурного режиму, узгоджену роботу виконавчих механізмів та зручну взаємодію з користувачем.

1.3.5. Задачі кваліфікаційної роботи

Щоб виконати поставлену мету, у роботі необхідно розв'язати кілька основних завдань. Спочатку потрібно проаналізувати процес пастеризації та існуючі способи контролю температури.

Далі потрібно розробити схему системи та обрати основні компоненти, такі як мікроконтролер, датчики та виконавчі механізми.

Після цього необхідно створити електричну схему та правильно підключити всі елементи.

Також важливо реалізувати вимірювання температури у двох точках і написати програму, яка буде керувати процесом пастеризації.

Окремо потрібно зробити інтерфейс для користувача, щоб можна було бачити температуру та стан системи.

В кінці потрібно перевірити роботу системи на практиці.

1.3.6. Очікувані результати

У результаті має бути створена робоча система керування пастеризацією молока у вигляді лабораторного стенду. Її можна буде використовувати для навчання або як основу для подальших розробок.

1.3.7. Висновки

Після аналізу розглянутих рішень видно, що наявні системи або мають високу вартість, або не завжди забезпечують потрібну гнучкість. Тому доцільно розробити власну мікроконтролерну систему, яка буде дешевшою, простішою в налаштуванні та достатньо функціональною. Сформульовані мета і завдання роботи охоплюють основні етапи створення такої системи — від аналізу до практичної реалізації.

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної та функціональної схеми системи

Розробка структурної та функціональної схеми є одним із ключових етапів проектування мікроконтролерної системи керування, оскільки вона визначає склад основних елементів системи та принцип їх взаємодії. Функціональна схема підключення елементів системи, виконана у середовищі Fritzing, наведена у додатку Б (рисунок Б.1).

Структуру розробленої системи показано на рисунку 2.1. Вона відображає взаємозв'язок між вимірювальними пристроями, обчислювальним модулем та виконавчими механізмами, що забезпечують реалізацію технологічного процесу.

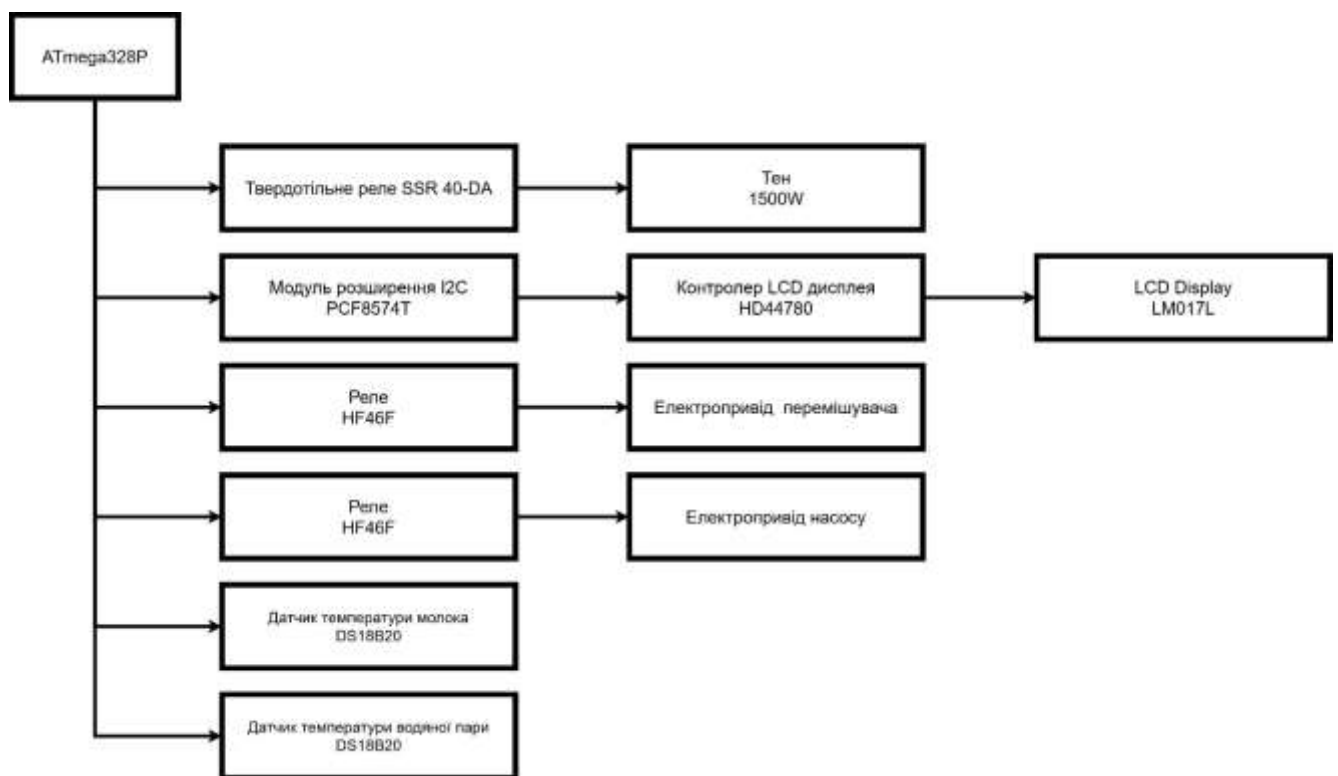


Рисунок 2.1 – Структура мікроконтролерної системи пастеризації молока

У центрі системи розміщено мікроконтролерний модуль на базі ATmega328P. Він отримує інформацію від датчиків температури, обробляє її та подає сигнали на нагрівач, насос і мішалку [25–27].

Для вимірювання температурних параметрів у системі застосовано два цифрові датчики DS18B20. Один із них контролює температуру молока, тоді як інший використовується для визначення температури водяної оболонки. Дані з датчиків надходять до мікроконтролера через інтерфейс OneWire, завдяки чому підключення кількох сенсорів виконується простіше [28–33].

Для взаємодії з користувачем у системі передбачено блок індикації, реалізований на базі символьного рідкокристалічного дисплея. Дисплей підключається до мікроконтролера через шину I2C, завдяки чому для обміну даними потрібно менше виводів Arduino, а сама схема підключення стає простішою.

Для керування нагрівальним елементом у системі використано твердотільне реле. Воно забезпечує перемикання мережевої напруги без механічних контактів, тому під час роботи менше зношується і краще підходить для багаторазових циклів увімкнення та вимкнення.

Для керування допоміжними механізмами, такими як електропривід перемішувача та насос, використовуються електромагнітні реле. Вони забезпечують подачу живлення на відповідні двигуни згідно з командами мікроконтролера.

Функціонально система працює наступним чином: після запуску мікроконтролер зчитує значення температури, аналізує їх та формує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв. У разі необхідності здійснюється вмикання або вимикання нагрівального елемента, а також керування допоміжними механізмами.

Таким чином, розроблена структурна схема відображає логіку роботи системи та забезпечує основу для подальшої розробки принципової електричної схеми та програмного забезпечення.

2.2 Обґрунтування вибору мікроконтролерної платформи та елементної бази

2.2.1. Вибір мікроконтролерної платформи

Вибір мікроконтролерної платформи є важливим етапом проектування системи автоматичного керування, оскільки саме мікроконтролер обробляє вхідні сигнали, виконує алгоритм керування та подає сигнали на виконавчі пристрої.

Для реалізації системи керування процесом пастеризації молока було розглянуто декілька сучасних мікроконтролерних платформ, зокрема Arduino UNO, STM32 та ESP32. Зазначені платформи широко застосовуються у задачах автоматизації та мають достатні обчислювальні ресурси для реалізації алгоритмів керування.

Мікроконтролери сімейства STM32 відзначаються високою продуктивністю, значною кількістю периферійних модулів та широкими можливостями конфігурації. Проте їх використання потребує більш складного налаштування, глибших знань архітектури мікроконтролерів та спеціалізованого програмного забезпечення для розробки.

Платформа ESP32, окрім високої продуктивності, має вбудовані модулі бездротового зв'язку (Wi-Fi та Bluetooth), що робить її ефективною для систем із віддаленим моніторингом. Однак у даному проєкті такі можливості не є необхідними, що робить використання ESP32 недоцільним.

З урахування поставлених задач найбільш доцільним є використання платформи Arduino UNO, яка базується на мікроконтролері ATmega328P. Дана платформа характеризується простотою використання, доступністю, наявністю великої кількості бібліотек та достатнім технічними характеристиками для реалізації системи керування [34–36].

Основні технічні характеристики обраних платформ наведено в таблиці 2.1.

За даними таблиці 2.1 можна побачити, що мікроконтролерні платформи відрізняються між собою технічними параметрами та сферою застосування. Платформи STM32 та ESP32 мають значно вищу продуктивність,

Порівняння мікроконтролерних платформ

Параметр	Arduino UNO	STM32	ESP32
Мікроконтролер	ATmega328P	ARM Cortex-M	Tensilica Xtensa
Тактова частота	16 МГц	72-168 МГц	до 240 МГц
Кількість GPIO	14	30+	30+
Аналогові входи	6	10-16	12+
Інтерфейси	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, Wi-Fi, Bluetooth
Складність роботи	Низька	Середня	Вища
Енергоспоживання	Низьке	Середнє	Вище
Вартість	Низька	Середня	Середня
Придатність	Навчальні, прості системи	Промислові системи	IoT, складні системи
Доцільність для даної задачі	Висока	Надлишкова	Надлишкова

більшу кількість периферійних інтерфейсів та розширені можливості обробки даних. Проте для задачі керування процесом пастеризації молока такі характеристики не є визначальними.

Основними вимогами до мікроконтролерної системи у даному випадку є стабільне зчитування температури, реалізація алгоритму керування нагрівом, а також керування виконавчими пристроями — нагрівачем, мішалкою та насосом. Для таких задач достатньо базових ресурсів мікроконтролера, оскільки система не виконує складних обчислень і не потребує розширеного мережевого обміну.

У зв'язку з цим використання платформ STM32 або ESP32 є технічно можливим, але економічно та функціонально недоцільним через їх надлишкові можливості та більшу складність налаштування.

Плата Arduino UNO забезпечує достатній рівень продуктивності для реалізації поставлених задач, має необхідні інтерфейси для підключення датчиків та виконавчих елементів, а також характеризується простотою програмування та широкою підтримкою бібліотек.

Тому для даної системи було обрано Arduino UNO. Її можливостей достатньо для зчитування температури, керування нагрівачем, мішалкою та насосом, а також для роботи з дисплеєм і кнопками керування.

У якості основи системи обрано мікроконтролерну платформу Arduino, зокрема плату Arduino UNO. Дане рішення зумовлене рядом технічних та експлуатаційних переваг.

Основою плати Arduino UNO є мікроконтролер ATmega328P. Його можливостей достатньо для зчитування даних із датчиків температури, обробки цих даних та керування нагрівальним елементом, мішалкою і насосом. Тактова частота 16 МГц та наявність вбудованої пам'яті дають змогу виконувати програму керування без затримок, що є важливим для стабільної роботи системи.

Зовнішній вигляд і розміщення основних елементів Arduino UNO показано на рисунку 2.2. Містить дана плата 14 цифрових та 6 аналогових входів/виходів, що забезпечує можливість підключення необхідної кількості датчиків, кнопок керування та виконавчих пристроїв без використання додаткових розширювальних модулів.

Перевагами є підтримка стандартних інтерфейсів обміну даними:

- UART – для серійного зв'язку;
- I2C – для підключення дисплея;
- OneWire – для роботи з температурними датчиками.

Однією з важливих переваг Arduino UNO є можливість роботи з середовищем Arduino IDE. Воно дає змогу зручно писати програму, завантажувати її на мікроконтролер та перевіряти роботу окремих частин системи.

Оскільки пастеризатор має працювати стабільно протягом усього циклу, важливими є просте налаштування керування та можливість швидко вносити зміни у програму. Arduino IDE підходить для цього, оскільки дозволяє оперативно редагувати код і виконувати налагодження програмного забезпечення.

Таким чином, враховуючи технічні вимоги до системи, простоту підключення компонентів і невисоку вартість, для реалізації мікроконтролерного керування було обрано Arduino UNO.

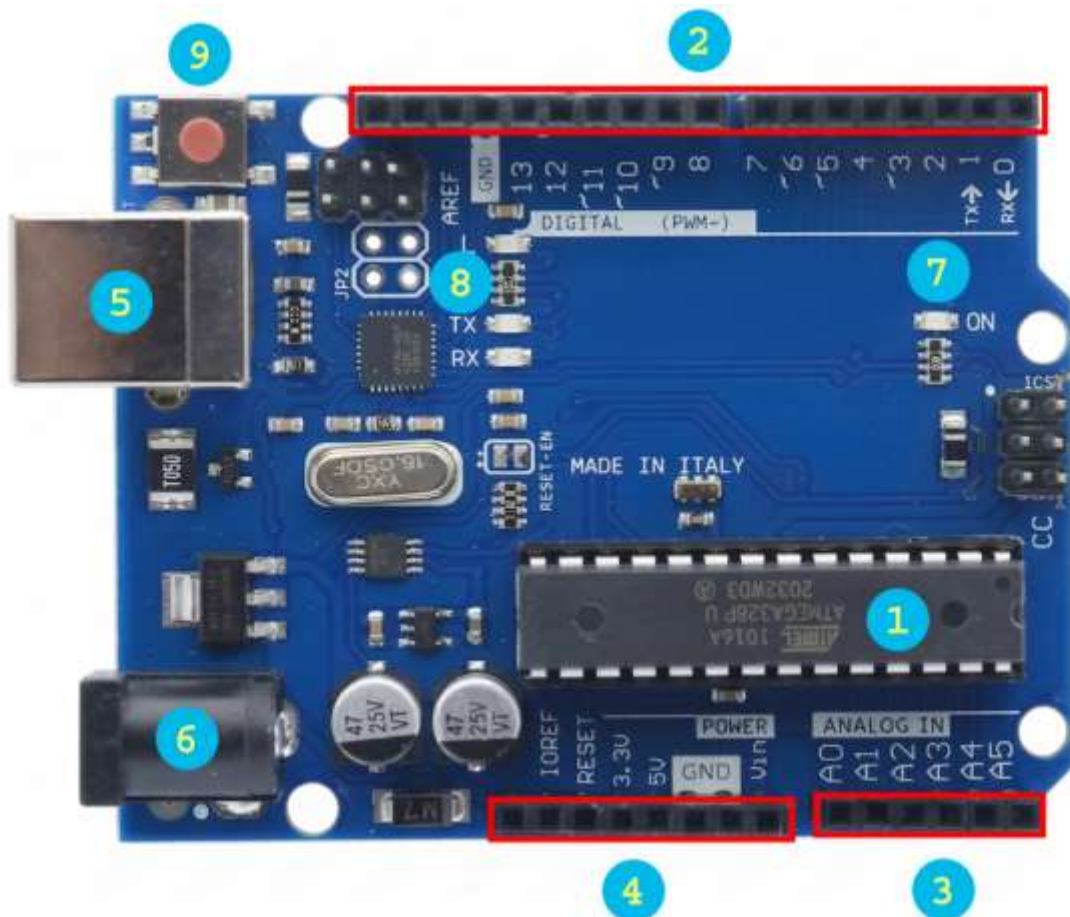


Рисунок 2.2 – Основні елементи плати Arduino UNO

Основні елементи плати Arduino UNO виконують такі функції:

1. Мікроконтролер ATmega328P – основний обчислювальний елемент плати, який виконує програму користувача, обробляє сигнали від датчиків та подає сигнали керування на виконавчі пристрої.
2. Цифрові входи/виходи – використовуються для підключення різних цифрових пристроїв, таких як реле, кнопки, світлодіоди та інші елементи.
3. Аналогові входи – призначені для зчитування аналогових сигналів, наприклад від датчиків температури або рівня.
4. Контакти живлення (Power pins) – включають виводи 5V, 3.3V, GND, VIN, AREF та IOREF призначені для живлення плати, підключення зовнішніх пристроїв та формування опорної напруги для аналого-цифрового перетворювача.
5. USB-роз'єм – забезпечує підключення плати до комп'ютера для програмування та живлення.

6. Роз'єм живлення – призначений для підключення плати до зовнішнього джерела напруги.

7. Індикатор живлення – цей індикатор світиться, коли плата знаходиться під напругою.

8. Індикатори даних – ці світлодіоди блимають, коли дані завантажуються на плату.

9. Кнопка скидання (Reset) – призначена для перезапуску мікроконтролера та повторного виконання програми.

2.2.2. Вибір датчиків температури

Контроль температури є ключовим параметром у процесі пастеризації молока, оскільки саме від точності її вимірювання залежить ефективність знищення мікроорганізмів та збереження якості продукту. Тому вибір датчика температури є важливим етапом розробки системи керування.

Для реалізації системи було розглянуто декілька типів температурних датчиків, зокрема терморезистори (NTC), термопари та цифрові датчики температури. Терморезистори характеризуються простотою та низькою вартістю, однак потребують використання аналогових входів мікроконтролера та додаткової калібровки. Термопари можна застосовувати для вимірювання високих температур, однак вони потребують спеціальних підсилювальних модулів, через що схема стає складнішою.

З урахуванням вимог до точності, простоти підключення та обробки сигналу, у даній роботі було обрано цифровий датчик температури DS18B20. Зовнішній вигляд датчика наведено на рисунку 2.3.

Даний датчик передає дані у цифровому вигляді за допомогою однопровідного інтерфейсу OneWire, що значно спрощує підключення до мікроконтролера та зменшує кількість необхідних виводів. Крім того, на одній шині може бути підключено декілька датчиків, що дозволяє одночасно контролювати температуру в різних точках системи [37–39].

У даному проєкті використовується герметичне виконання датчика, яке дозволяє безпосередньо занурювати його в рідину. Це забезпечує точне вимірювання температури та захист електронних компонентів від впливу вологи.

Таким чином, застосування датчика DS18B20 дозволяє реалізувати надійний та точний контроль температури, що є ключовою умовою ефективного процесу пастеризації.

Параметри датчика DS18B20 подано в таблиці 2.2.



Рисунок 2.3 – Датчик температури DS18B20 у герметичному корпусі

Таблиця 2.2

Характеристики датчика DS18B20

Параметр	Значення
Тип датчика	Цифровий
Інтерфейс	OneWire (1-провідний)
Діапазон вимірювання температури	від -55 °C до +125 °C
Точність вимірювання	±0,5 °C (у діапазоні -10...+85 °C)
Роздільна здатність	9-12 біт
Напруга живлення	3,0-5,5 В
Час вимірювання	до 750 мс (при 12 бітах)
Кількість датчиків на шині	необмежена (за рахунок адресації)

Унікальний ідентифікатор	64-бітний
Тип виконання	герметичний / не герметичний
Споживаний струм	≈1-1,5 мА

Зазначені характеристики повністю відповідають вимогам до контролю температури у процесі пастеризації молока, де необхідно забезпечити точне підтримання температури в діапазоні приблизно 60-90 °C.

Додатковою перевагою датчика DS18B20 є можливість використання паразитного живлення, що дозволяє зменшити кількість провідників при підключенні.

У даній системі використовується два датчики температури: один для контролю температури молока, інший – для вимірювання температури нагрівального середовища. Це дозволяє реалізувати більш точний контроль процесу нагрівання та забезпечити стабільність технологічного режиму.

Таким чином, вибір датчика DS18B20 обумовлений його достатньою точністю, простотою підключення, цифровим інтерфейсом та відповідністю вимогам до системи керування процесом пастеризації молока.

2.2.3. Вибір засобів індикації

У системах автоматичного керування важливу роль відіграє забезпечення взаємодії між користувачем і пристроєм. Для цього застосовуються засоби індикації, які дозволяють відображати поточні параметри процесу, режими роботи та службову інформацію.

Для реалізації індикації у даній системі було розглянуто декілька варіантів, зокрема світлодіодні індикатори, семисегментні дисплеї та рідкокристалічні дисплеї. Світлодіоди та семисегментні індикатори мають просту реалізацію, однак їх функціональні можливості є обмеженими, оскільки вони дозволяють відображати лише окремі значення або символи.

Для відображення текстової інформації, температурних значень, режимів роботи та службових повідомлень, у даній роботі було обрано символьний рідкокристалічний дисплей типу LCD 1602.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд LCD 1602 з модулем I2C

Даний дисплей дозволяє відображати до 16 символів у кожному з двох рядків, що є достатнім для виведення основної інформації про стан системи. LCD 1602 широко використовується у мікроконтролерних системах завдяки простоті підключення, надійності та доступності.

Для підключення дисплея до мікроконтролера використовується модуль розширення на базі мікросхеми PCF8574, який реалізує інтерфейс I2C. Застосування даного модуля дозволяє значно зменшити кількість необхідних виводів мікроконтролера – з 6-8 до двох (лінії SDA та SCL) [39–42].

На схемі показано, що дисплей підключається до мікроконтролера через дві сигнальні лінії, завдяки чому зменшується кількість з'єднань.

Основні переваги використання LCD 1602 з інтерфейсом I2C:

- зменшення кількості з'єднання;
- спрощення монтажу;

- зниження навантаження на виводи мікроконтролера;
- можливість підключення інших пристроїв до тієї ж шини.

Дисплей використовується для відображення поточної температури, вибраного режиму пастеризації, часу витримки та службових повідомлень, що забезпечує зручність експлуатації системи.

Таким чином, для даної системи обрано дисплей LCD 1602 з інтерфейсом I2C, оскільки він простий у підключенні, зручний для виведення інформації та підходить для роботи системи пастеризації молока.

2.2.4. Вибір виконавчих елементів системи

Виконавчі елементи є невід'ємною складовою системи автоматичного керування, оскільки саме вони забезпечують реалізацію керуючих впливів на технологічний процес. У даній системі такими елементами є електродвигуни та комутаційні пристрої, що забезпечують їх роботу.

У розробленій системі використовуються два виконавчі механізми: електропривід перемішувача та насос для відкачування рідини. Основні технічні характеристики виконавчих елементів наведено в таблиці 2.3. Перемішування необхідне для забезпечення рівномірного розподілу температури в молоці під час нагрівання, що підвищує ефективність процесу пастеризації. Насос призначений для відкачування молока після завершення технологічного процесу, а також може використовуватися в окремому режимі для примусового переміщення рідини.

Для реалізації перемішування використовується електродвигун постійного струму з редуктором. Зовнішній вигляд такого двигуна наведено на рисунку 2.5. Застосування редуктора дозволяє зменшити швидкість обертання до оптимального значення (приблизно 10-20 об/хв), що забезпечує ефективне перемішування без надмірного механічного впливу на продукт.



Рисунок 2.5 – Електродвигун постійного струму з редуктором

Для перекачування рідини використовується мембранний насос постійного струму, який характеризується компактністю та достатньою продуктивністю для лабораторного стенду. Зовнішній вигляд насоса наведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Мембранний насос постійного струму

Таблиця 2.3

Технічні характеристики виконавчих елементів

Параметр	Двигун перемішувача	Насос
Тип	DC двигун з редуктором	Мембранний насос
Напруга живлення	3-6 В	1.5-3 В

Струм споживання	до 200 мА	до 300 мА
Швидкість	~15 об/хв	-
Призначення	Перемішування	Перекачування рідини

Оскільки мікроконтролер не може безпосередньо керувати навантаженнями з відносно великим струмом споживання, для комутації електродвигунів застосовуються електромагнітні реле типу HF46F. Зовнішній вигляд реле наведено на рисунку 2.7. Дані реле забезпечують надійне перемикання живлення двигунів відповідно до сигналів керування.



Рисунок 2.7 – Електромагнітне реле HF46F

Основні технічні характеристики електромагнітного реле HF46F 5-HS1 наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики реле HF46F 5-HS1

Параметр	Значення
Тип реле	Електромеханічне
Напруга котушки	5 В
Максимальна напруга АС	до 250 В АС
Максимальна напруга DC	30 В

Максимальний струм	до 10 А
Опір котушки	$\approx 125 \text{ Ом}$
Потужність котушки	$\approx 200 \text{ мВт}$
Час опрацювання	$\approx 10 \text{ мс}$
Час відпускання	$\approx 10 \text{ мс}$
Робоча температура	$-40 \dots +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Тип контактів	NO (нормально відкриті)
Час опрацювання	$\sim 10 \text{ мс}$
Матеріал контактів	AgNi
Габаритні розміри	$\sim 20.5 \times 7.2 \times 15.3 \text{ мм}$

Як видно з таблиці 2.4, реле забезпечує достатні параметри для керування виконавчими механізмами системи.

Для забезпечення коректної роботи реле використовується транзисторний ключ, який дозволяє керувати обмоткою реле за допомогою малопотужного сигналу з мікроконтролера. Це обумовлено тим, що струм спрацювання реле перевищує допустиме навантаження цифрових виводів.

Застосування транзисторного ключа дозволяє забезпечити надійне керування реле та запобігти перевантаженню мікроконтролера.

Таким чином, обрані виконавчі елементи забезпечують ефективну реалізацію функцій перемішування та перекачування рідини, а також відповідають вимогам до надійності та простоти реалізації системи.

2.2.5. Вибір елементів керування нагрівом

Керування нагрівальним елементом є одним із найважливіших аспектів системи автоматичного керування процесом пастеризації молока, оскільки саме від стабільності температурного режиму залежить якість кінцевого продукту.

Для реалізації керування нагрівальним елементом було розглянуто декілька варіантів комутаційних пристроїв, зокрема електромагнітні реле та твердотільні реле. Електромагнітні реле мають просту конструкцію та часто застосовуються у схемах керування, однак їхній ресурс роботи обмежується наявністю механічних контактів, а також можуть створювати іскріння при комутації навантаження.

З огляду на необхідність частого вмикання та вимикання нагрівального елемента, а також з метою підвищення надійності системи, для керування нагрівальним елементом використано твердотільне реле SSR 40-DA.I

Твердотільні реле не містять механічних контактів, що забезпечує їх високу довговічність та безшумність роботи. Крім того, вони дозволяють здійснювати комутацію змінної напруги без утворення іскріння, що підвищує безпеку експлуатації.

Реле SSR 40-DA дозволяє керувати навантаженням змінного струму за допомогою малопотужного керуючого сигналу постійного струму, що робить його сумісним з мікроконтролерними системами. На рисунку 2.8 подано загальний вигляд твердотільного реле SSR 40-DA.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд твердотільного реле SSR 40-DA

Застосування твердотільного реле у системі керування нагрівом дозволяє забезпечити стабільне підтримання температури, підвищити надійність роботи та зменшити зношування елементів. Для забезпечення надійної роботи реле рекомендується використання радіатора охолодження. Основні технічні характеристики твердотільного реле SSR 40-DA наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Технічні характеристики твердотільного реле SSR 40-DA

Параметр	Значення
Тип реле	Твердотільне (SSR)
Модель	SSR-40DA
Вхідна напруга керування	3-32 В DC
Вихідна напруга	24-380 В AC
Максимальний струм навантаження	до 40 А
Тип комутації	Змінний струм (AC)
Тип елемента	Симістор
Спосіб керування	Zero-cross (через нуль)
Робоча температура	-30...+80 °C
Тип монтажу	На панель (з радіатором)

Як видно з таблиці 2.5, реле забезпечує необхідні параметри для керування нагрівальним елементом системи.

Тому реле SSR-40DA було обрано для керування нагрівальним елементом, оскільки воно забезпечує стабільну роботу силового кола та відповідає вимогам безпечної експлуатації пастеризатора.

2.2.6. Вибір джерела живлення та перетворювачів

Стабільне та надійне живлення є необхідною умовою коректної роботи мікроконтролерної системи керування, оскільки різні її елементи потребують різних рівнів напруги та струму.

У розробленій системі використовуються такі споживачі електроенергії:

- мікроконтролер Arduino UNO;
- датчики температури;
- дисплей;
- електродвигуни;

– реле.

Зазначені елементи працюють у різних діапазонах напруги, що потребує використання джерела живлення та додаткових перетворювачів.

Для живлення системи використовується зовнішнє джерело постійної напруги, яке забезпечує необхідний рівень енергії для всіх компонентів. Мікроконтролер Arduino UNO може живитися як через USB-інтерфейс, так і від зовнішнього джерела напруги, що підключається до відповідного роз'єму.

Оскільки деякі виконавчі елементи, зокрема електродвигуни, можуть потребувати напругу, відмінну від напруги живлення мікроконтролера, у схемі застосовується понижуючий перетворювач напруги типу XL4015.

Даний перетворювач дозволяє отримувати стабілізовану вихідну напругу з можливістю її регулювання, що дає змогу забезпечити оптимальні режими роботи для різних елементів системи. Основні технічні характеристики понижуючого перетворювача XL4015 наведено в таблиці 2.6. Крім того, використання імпульсного перетворювача забезпечує високий коефіцієнт корисної дії та зменшення теплових витрат.

Зовнішній вигляд модуля XL4015 наведено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд понижуючого перетворювача XL4015

Основні характеристики модуля XL4015E1

Параметр	Значення
Тип перетворювача	DC-DC понижуючий
Вхідна напруга	4-38 В
Вихідна напруга	1,25-36 В (регульована)
Максимальний струм	до 5 А
ККД	до 96 %
Частота перетворення	~180 кГц
Наявність регулювання	Так (потенціометр)

Застосування окремого перетворювача напруги дозволяє розділити кола живлення, підвищити стабільність роботи системи та зменшити вплив завад від насоса, мішалки й інших виконавчих елементів.

Таким чином, вибрана схема живлення створює необхідні умови для стабільної роботи розробленої мікроконтролерної установки пастеризації.

2.3 Розробка принципової електричної схеми системи

Принципова електрична схема є основою для реалізації мікроконтролерної системи керування, оскільки вона визначає склад елементів, їх електричні з'єднання та принцип взаємодії між окремими вузлами.

Розроблена схема забезпечує підключення вимірювальних пристроїв, засобів індикації, виконавчих механізмів та елементів керування до мікроконтролера. Вона враховує особливості живлення компонентів, узгодження сигналів та безпечну роботу системи.

Принципову електричну схему розробленої установки подано у додатку А.

2.3.1. Підключення датчиків температури

Вимірювання температури в системі виконується цифровими датчиками DS18B20, які підключаються до мікроконтролера через однопровідний інтерфейс.

Датчики підключаються до одного цифрового входу мікроконтролера, що дозволяє використовувати спільну лінію зв'язку для передачі даних. Для коректної роботи шини використовується підтягувальний резистор.

Схема підключення датчиків температури до мікроконтролера наведена на рисунку 2.10.

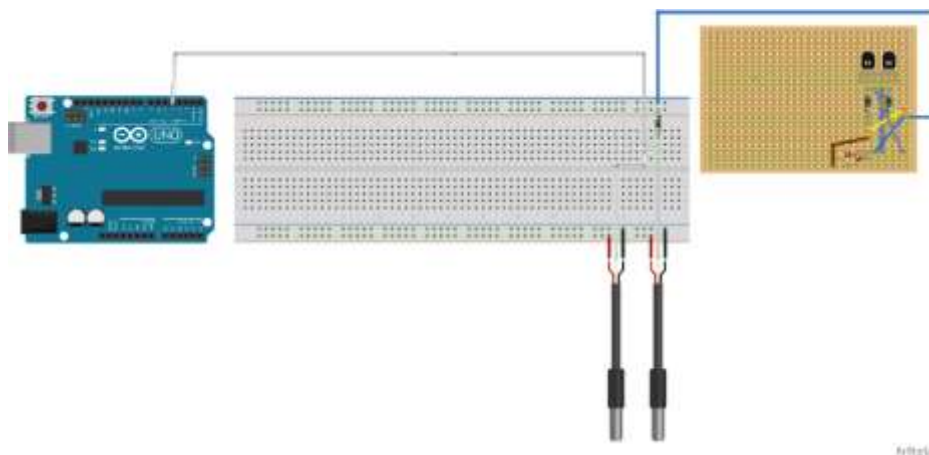


Рисунок 2.10 – Ескіз підключення датчиків DS18B20 до Arduino UNO

2.3.2. Підключення засобів індикації

Для відображення інформації у системі використовується символічний дисплей LCD 1602 з інтерфейсом I2C.

Для підключення дисплея використано дві сигнальні лінії інтерфейсу I2C, завдяки чому схема стає простішою і потребує меншої кількості виводів мікроконтролера.

Схема підключення дисплея до мікроконтролера наведена на рисунку 2.11.

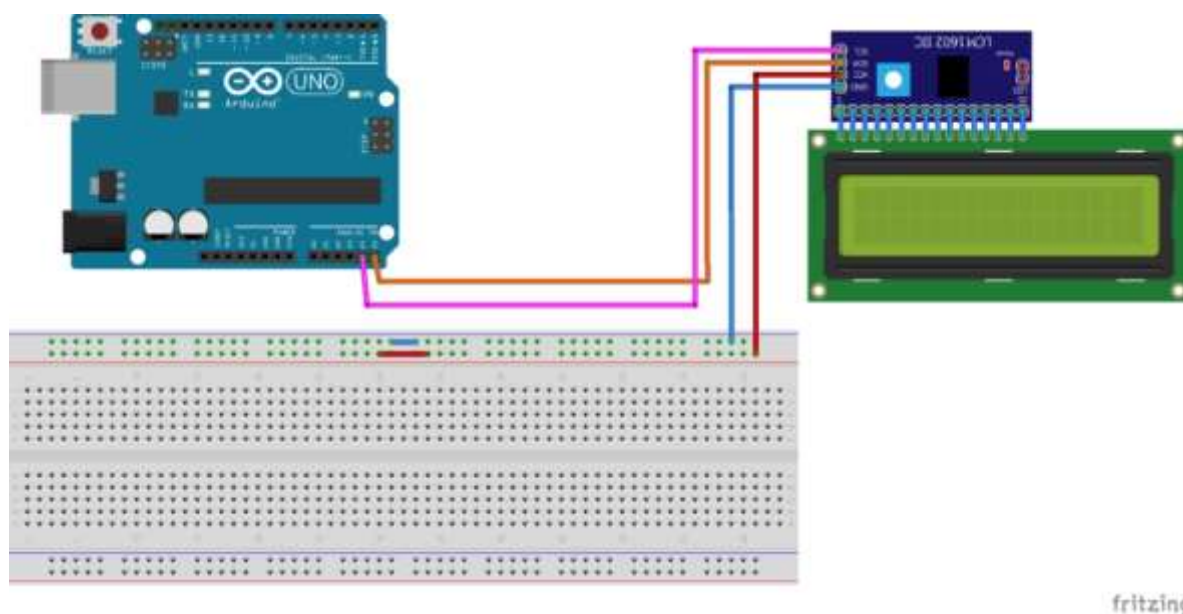


Рисунок 2.11 – Ескіз підключення LCD 1602 до Arduino UNO

2.3.3. Підключення кнопок керування

Для взаємодії користувача із системою у схемі передбачено три кнопки керування. Кнопка SW1 використовується для підтвердження вибору режиму, запуску процесу та зупинки насоса. Кнопка SW2 призначена для перемикання пунктів меню або відмови від виконання викачування рідини. Кнопка SW3 виконує функцію аварійної зупинки системи.

Кнопки підключаються до аналогових входів мікроконтролера Arduino UNO, які в даному випадку використовуються як цифрові входи. У програмному забезпеченні для них застосовано режим INPUT_PULLUP, тому при ненажатій кнопці на вході формується логічна “1”, а при натисканні кнопка замикає відповідний вхід на загальний провід GND і формується логічний “0”. Такий спосіб підключення дозволяє не використовувати зовнішні підтягувальні резистори та спрощує електричну схему.

Схема підключення кнопок керування до мікроконтролера наведена на рисунку 2.12.

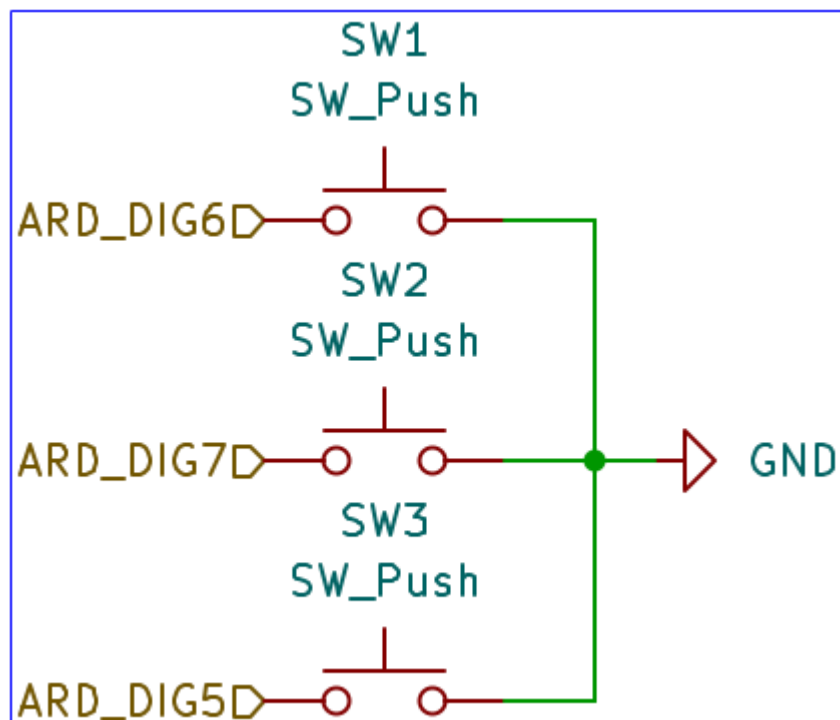


Рисунок 2.12 – Схема підключення кнопок керування до Arduino Uno

2.3.4. Вузол керування електромагнітними реле

У схемі керування електродвигунами використовується транзисторний ключ для підключення електромагнітного реле.

Цифрові виходи мікроконтролера Arduino UNO мають обмежену навантажувальну здатність і можуть забезпечувати струм у межах 20-40 мА, що є недостатнім для безпосереднього керування обмоткою реле. Струм спрацювання реле перевищує допустиме навантаження цифрових виводів.

Для вирішення цієї задачі застосовується біполярний транзистор, який виконує функцію електронного ключа. На рисунку 2.13 показано підключення транзистора, який використовується для керування реле.

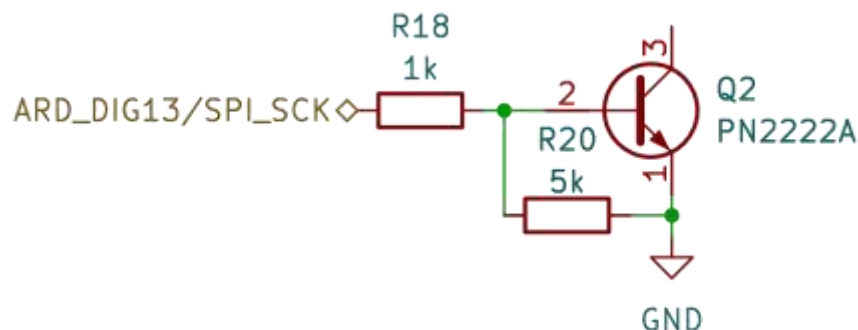


Рисунок 2.13 – Вузол керування реле на транзисторі

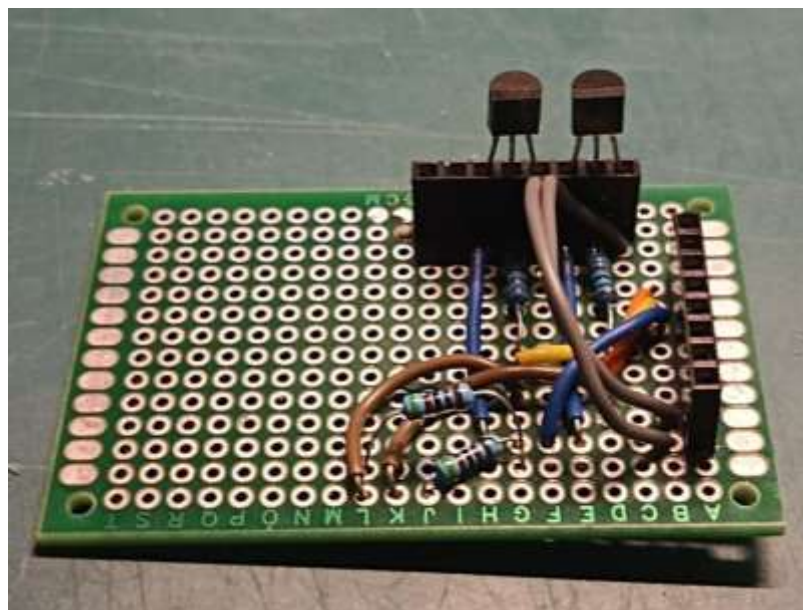


Рисунок 2.14 – Вузол керування реле на макетній платі

2.3.5. Підключення виконавчих механізмів

Виконавчі механізми системи включають електродвигун перемішувача та насос. Керування їх роботою здійснюється через електромагнітні реле.

На рисунку 2.15 показано підключення виконавчих механізмів до системи керування.

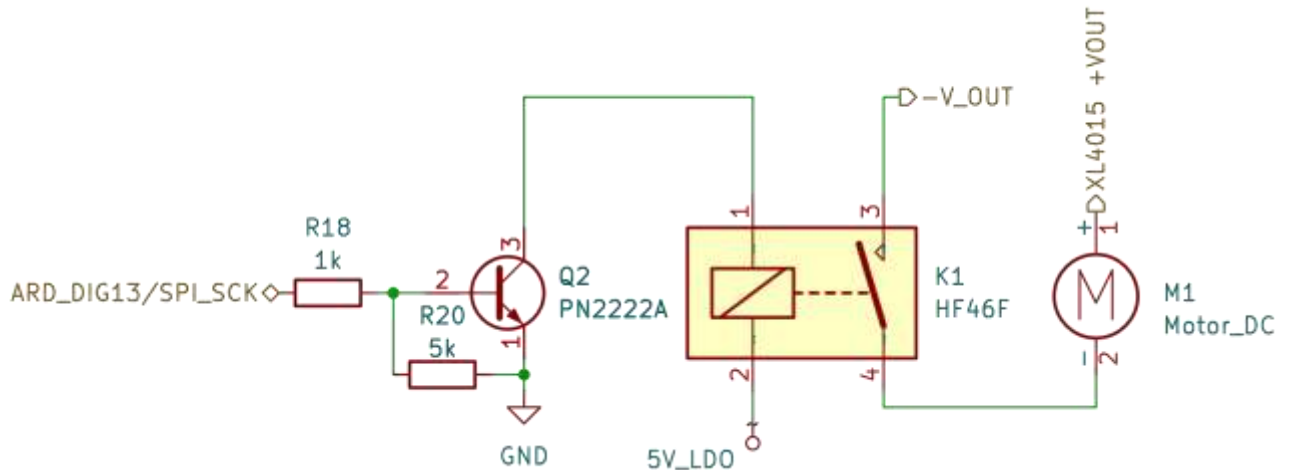


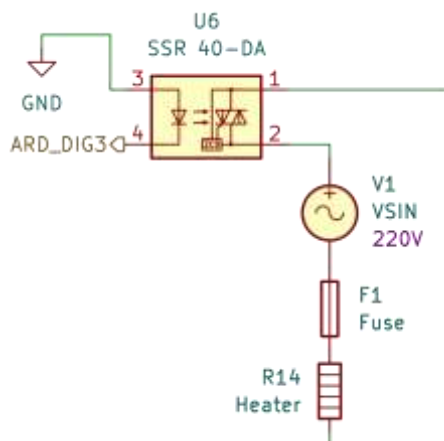
Рисунок 2.15 – Схема підключення електродвигунів через реле

2.3.6. Керування нагрівальним елементом

Для керування нагрівальним елементом використовується твердотільне реле SSR 40-DA, яке дозволяє здійснювати безконтактну комутацію змінної напруги.

Застосування такого реле забезпечує підвищену надійність та безпеку роботи системи.

Підключення твердотільного реле SSR-40DA до нагрівального елемента показано на рисунку 2.16.



2.3.7. Система живлення

Живлення елементів системи здійснюється від зовнішнього джерела з використанням понижуючого перетворювача напруги XL4015.

Завдяки цьому живлення мікроконтролера та виконавчих елементів розділяється, що позитивно впливає на стабільність роботи системи.

На рисунку 2.17 подано варіант підключення живлення системи.

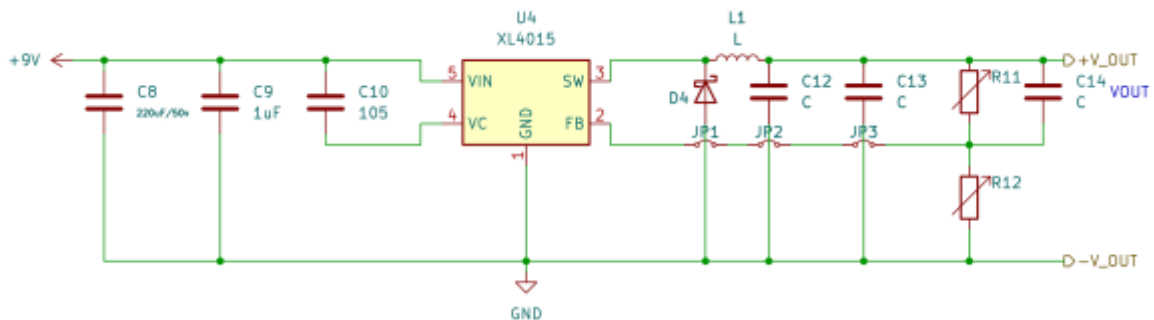


Рисунок 2.17 – Підключення живлення системи

2.4 Опис роботи системи та взаємодії її елементів

Розроблена мікроконтролерна система керування процесом пастеризації молока забезпечує автоматизований контроль температури, керування нагрівальним елементом, перемішувачем, насосом, світлодіодною індикацією та відображенням інформації на LCD-дисплеї.

Після подачі живлення система переходить у режим ініціалізації. На цьому етапі здійснюється налаштування виводів мікроконтролера, підготовка релейних виходів до безпечного стану, ініціалізація LCD-дисплея та датчиків температури DS18B20. Усі виконавчі механізми на початку роботи вимикаються, що забезпечує безпечний запуск системи.

Після завершення ініціалізації система переходить у головне меню. На дисплеї показуються поточні значення температури молока та нагрівального середовища, а також режим, який обрав користувач. Для переходу між режимами

використовується кнопка SW2, а запуск вибраного процесу виконується кнопкою SW1. Кнопка SW3 призначена для аварійного вимкнення системи.

У системі передбачено декілька режимів роботи: HTST, LTLT, інтенсивний режим та окремий режим викачування рідини. Після вибору одного з режимів пастеризації мікроконтролер встановлює відповідні параметри: цільову температуру та час витримки.

Після запуску процесу система переходить до етапу нагрівання. На цьому етапі вмикається електропривід перемішувача, що забезпечує рівномірний розподіл температури у рідині. Насос під час нагрівання залишається вимкненим.

Температура контролюється за допомогою двох цифрових датчиків DS18B20. Один датчик використовується для вимірювання температури молока, інший — для контролю температури нагрівального середовища. Отримані значення періодично зчитуються мікроконтролером і використовуються для прийняття рішення щодо вмикання або вимикання нагрівального елемента.

Керування ТЕНОм здійснюється через твердотільне реле SSR 40-DA. У системі застосовано гістерезисний принцип регулювання температури. Якщо температура нагрівального середовища нижча за встановлену межу, ТЕН вмикається. Якщо температура досягає верхнього порогу, нагрів вимикається. Для компенсації теплових втрат температура нагрівального середовища задається вищою за цільову температуру молока.

Для зменшення кількості частих перемикань нагрівального елемента в алгоритмі передбачено мінімальну затримку між змінами стану ТЕНа. Це підвищує надійність роботи силового кола та зменшує навантаження на комутаційні елементи.

Коли температура молока досягає заданого значення, система переходить у режим витримки. У цьому режимі нагрівальний елемент підтримує температуру в заданих межах, а перемішувач продовжує працювати для забезпечення рівномірного нагрівання рідини. На дисплеї відображається поточна температура та залишок часу витримки.

Після завершення витримки система вимикає нагрівальний елемент і перемішувач та переходить у стан завершення процесу. На дисплеї

відображається повідомлення про завершення пастеризації. Далі користувачу пропонується виконати викачування рідини: при натисканні SW1 система переходить до режиму підтвердження та запуску насоса, а при натисканні SW2 повертається у головне меню без викачування.

У режимі викачування вмикається насос, а нагрівальний елемент і перемішувач залишаються вимкненими. Процес викачування триває до повторного натискання кнопки SW1, після чого насос вимикається, і система повертається до режиму вибору.

У разі виникнення аварійної ситуації система переходить у безпечний режим. До таких ситуацій належать натискання аварійної кнопки SW3, відсутність сигналу від датчика температури або перевищення допустимих температурних меж. В аварійному режимі всі виконавчі механізми вимикаються, вмикається червоний світлодіод, а на LCD-дисплеї відображається повідомлення про помилку.

Отже, спільна робота всіх вузлів дає змогу автоматизувати основні етапи процесу пастеризації: вибір режиму, нагрівання, контроль температури, витримку, завершення процесу та, за потреби, відкачування рідини.

Для перевірки працездатності розробленої системи було зібрано лабораторний макет. Його загальний вигляд подано на рисунку 2.18.

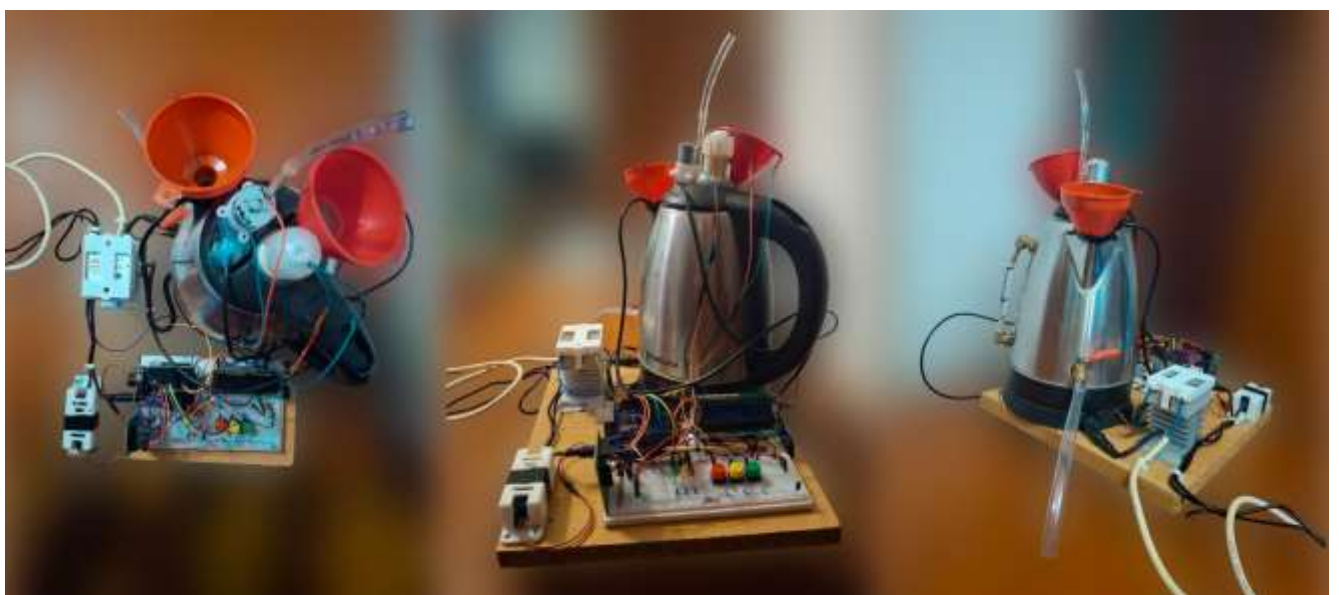


Рисунок 2.18 – Загальний вигляд лабораторного макета

Порядок роботи розробленої системи показано на рисунку 2.19.

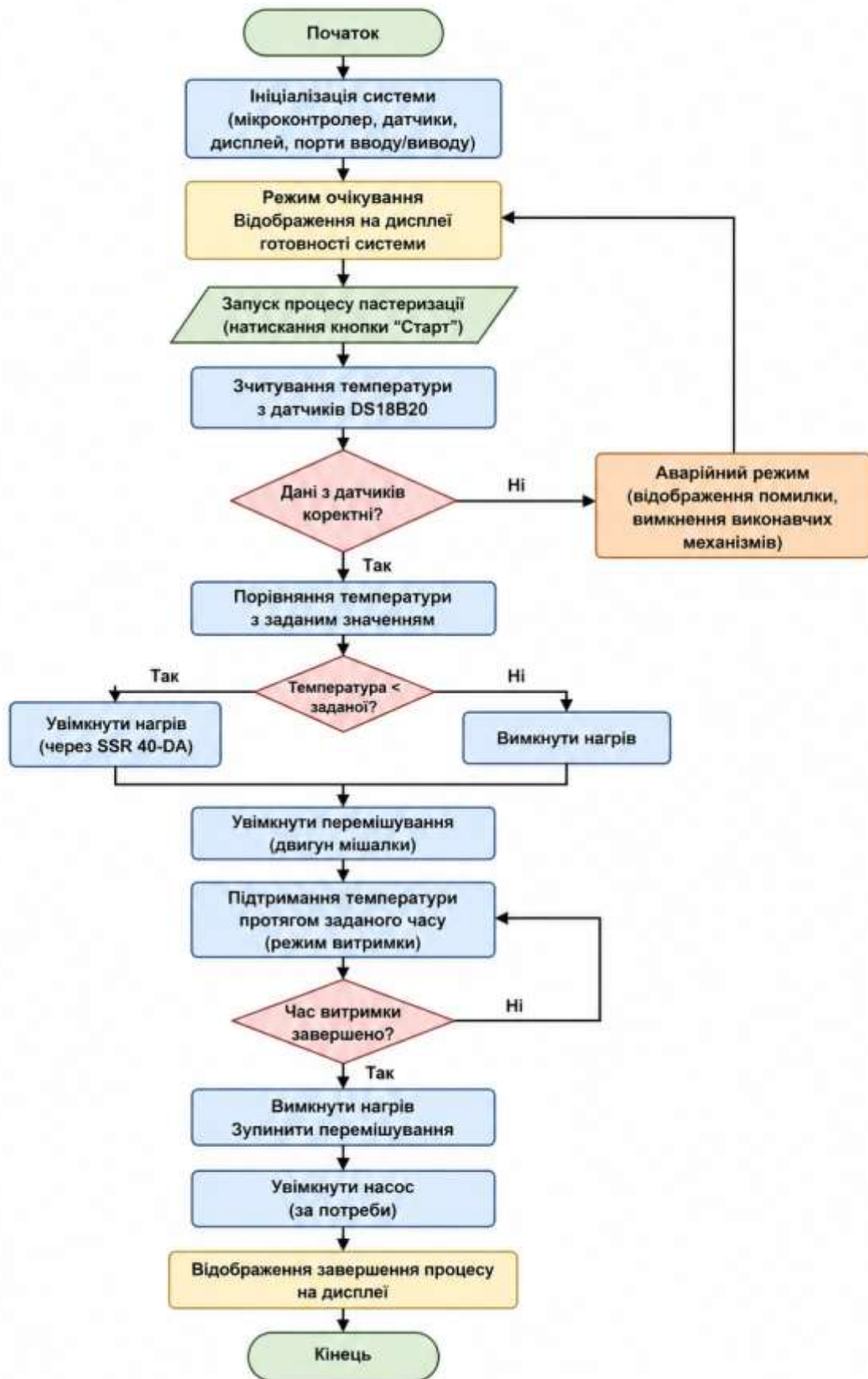


Рисунок 2.19 – Блок-схема роботи установки пастеризації

РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір середовища розробки та засобів програмування

Програмну частину для розробленої мікроконтролерної установки було створено в середовищі Arduino IDE. Дане середовище є зручним інструментом для написання, компіляції та завантаження програмного коду у мікроконтролерні плати Arduino.

Середовище Arduino IDE дає змогу писати програму мовою C/C++, зчитувати дані з датчиків, працювати з дисплеєм і кнопками, а також подавати сигнали на нагрівач, мішалку та насос. Вибір цього середовища пояснюється його простотою, доступністю, наявністю готових бібліотек і зручністю налагодження програмного забезпечення [43].

Зовнішній вигляд середовища Arduino IDE наведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Вікно програми Arduino IDE

Для роботи програми використано кілька бібліотек, потрібних для взаємодії з апаратними модулями системи. Бібліотека Wire застосовується для роботи з інтерфейсом I2C, через який здійснюється підключення LCD-дисплея. Бібліотека LiquidCrystal_I2C використовується для керування символьним дисплеєм LCD 1602. Для роботи з цифровими датчиками температури DS18B20 застосовано бібліотеки OneWire та DallasTemperature, які забезпечують зчитування температури з датчиків через однопровідний інтерфейс [1–8], [10–14].

Використання готових бібліотек дозволило спростити програмну реалізацію системи, зменшити обсяг коду та підвищити стабільність роботи окремих програмних модулів. Це особливо важливо для лабораторного стенду, де

необхідно забезпечити одночасну роботу датчиків температури, дисплея, кнопок керування, світлодіодної індикації та виконавчих механізмів.

Таким чином, Arduino IDE є доцільним середовищем розробки для даної системи, оскільки забезпечує необхідні інструменти для створення, перевірки та завантаження програмного забезпечення у мікроконтролер Arduino UNO.

3.2 Розробка алгоритму роботи системи керування

Алгоритм описує порядок роботи розробленої мікроконтролерної системи від моменту подачі живлення до завершення процесу пастеризації. Основним його завданням є автоматичний контроль температури, керування нагрівальним елементом, перемішувачем, насосом та обробка аварійних ситуацій.

Після подачі живлення система спочатку виконує ініціалізацію. У цей момент мікроконтролер налаштовує виводи для керування нагрівальним елементом, міксером, насосом, світлодіодною індикацією та кнопками керування. Також виконується ініціалізація LCD-дисплея і датчиків температури DS18B20. Після запуску всі виконавчі елементи переводяться у вимкнений стан, що забезпечує безпечний початок роботи системи.

Після завершення ініціалізації система переходить у режим меню. У цьому режимі на дисплеї відображаються поточні значення температури молока та нагрівального середовища, а також назва вибраного режиму роботи. Користувач може перемикати режими за допомогою кнопки SW2 та підтверджувати вибір кнопкою SW1. Кнопка SW3 використовується для аварійного переходу системи у безпечний стан.

У програмі передбачено декілька режимів роботи: HTST, LTLT, інтенсивний режим та режим викачування рідини. Режим HTST у демонстраційній версії стенду має температуру 30 °C, що дозволяє швидко продемонструвати роботу алгоритму під час захисту або налагодження. У реальних умовах експлуатації це значення може бути змінено відповідно до технологічного режиму пастеризації, наприклад до 75 °C.

Після вибору режиму пастеризації система переходить до нагрівання. У цей момент запускається перемішувач, який сприяє рівномірному розподілу температури в рідині. Насос при цьому залишається вимкненим. Нагрівальний елемент працює залежно від температури нагрівального середовища та температури молока.

Для підвищення ефективності нагрівання температура нагрівального середовища задається вищою за цільову температуру молока. У програмі це реалізовано за допомогою параметра WATER_HEAT_OFFSET, який додає 10 °C до заданої температури продукту. Такий підхід дає змогу компенсувати частину втрат тепла і швидше довести молоко до потрібного значення.

Керування ТЕНом здійснюється за принципом гістерезисного регулювання. Якщо температура нагрівального середовища нижча за нижню межу, нагрівальний елемент вмикається. Якщо температура перевищує верхню межу, ТЕН вимикається. Для зменшення кількості частих перемикань у програмі передбачено мінімальний час між змінами стану нагрівального елемента. Це дозволяє зменшити навантаження на силове коло та підвищити надійність роботи системи.

Коли температура молока доходить до встановленого рівня, система переходить до етапу витримки. У цьому режимі температура підтримується в заданих межах протягом встановленого часу. На LCD-дисплеї відображається поточна температура та час, що залишився до завершення етапу витримки.

Після завершення витримки система вимикає нагрівальний елемент і перемішувач та переходить у стан завершення процесу. На дисплеї відображається повідомлення про завершення пастеризації. Далі користувачу пропонується виконати викачування рідини. Якщо користувач натискає SW1, система переходить у режим підтвердження та запуску насоса. Якщо натискається SW2, система повертається у головне меню без викачування.

У режимі викачування вмикається насос, а нагрівальний елемент і міксер залишаються вимкненими. Процес викачування триває до натискання кнопки SW1, після чого насос вимикається, а система повертається до меню вибору режиму.

В алгоритмі також передбачено аварійний режим. Він активується при натисканні кнопки SW3 або у випадку некоректної роботи датчиків температури. В аварійному режимі всі виконавчі елементи вимикаються, вмикається червоний світлодіод, а на дисплеї відображається повідомлення про помилку. Повернення до основного меню можливе після усунення причини помилки та натискання кнопки SW1.

Для запобігання помилковим спрацюванням кнопок у програмі реалізовано програмне усунення дребезгу контактів. Крім того, кнопки обробляються за фактом натискання, а не за фактом утримання, що забезпечує стабільнішу роботу меню та режимів керування.

На рисунку 3.2 показано детальну послідовність виконання програми керування пастеризатором.

3.3 Розробка програмного забезпечення мікроконтролерної системи

Програма для керування розробленою установкою пастеризації створена в середовищі Arduino IDE мовою C/C++. Вона забезпечує зчитування температури з датчиків, керування нагрівальним елементом, перемішувачем, насосом, світлодіодною індикацією та виведення інформації на LCD-дисплей.

Основна логіка роботи програми побудована за принципом скінченного автомата станів. Такий підхід дозволяє розділити роботу системи на окремі етапи та спростити керування технологічним процесом. У програмі передбачено такі основні стани: режим меню, нагрівання, витримка температури, завершення процесу, підтвердження викачування, режим роботи насоса та аварійний режим.

У головному меню користувач вибирає режим, за яким має працювати система. Для цього використовуються три кнопки керування: перша кнопка призначена для підтвердження вибору та запуску процесу, друга — для перемикання пунктів меню, третя — для аварійної зупинки системи. На дисплеї відображається поточна температура молока, температура нагрівального середовища та назва вибраного режиму.

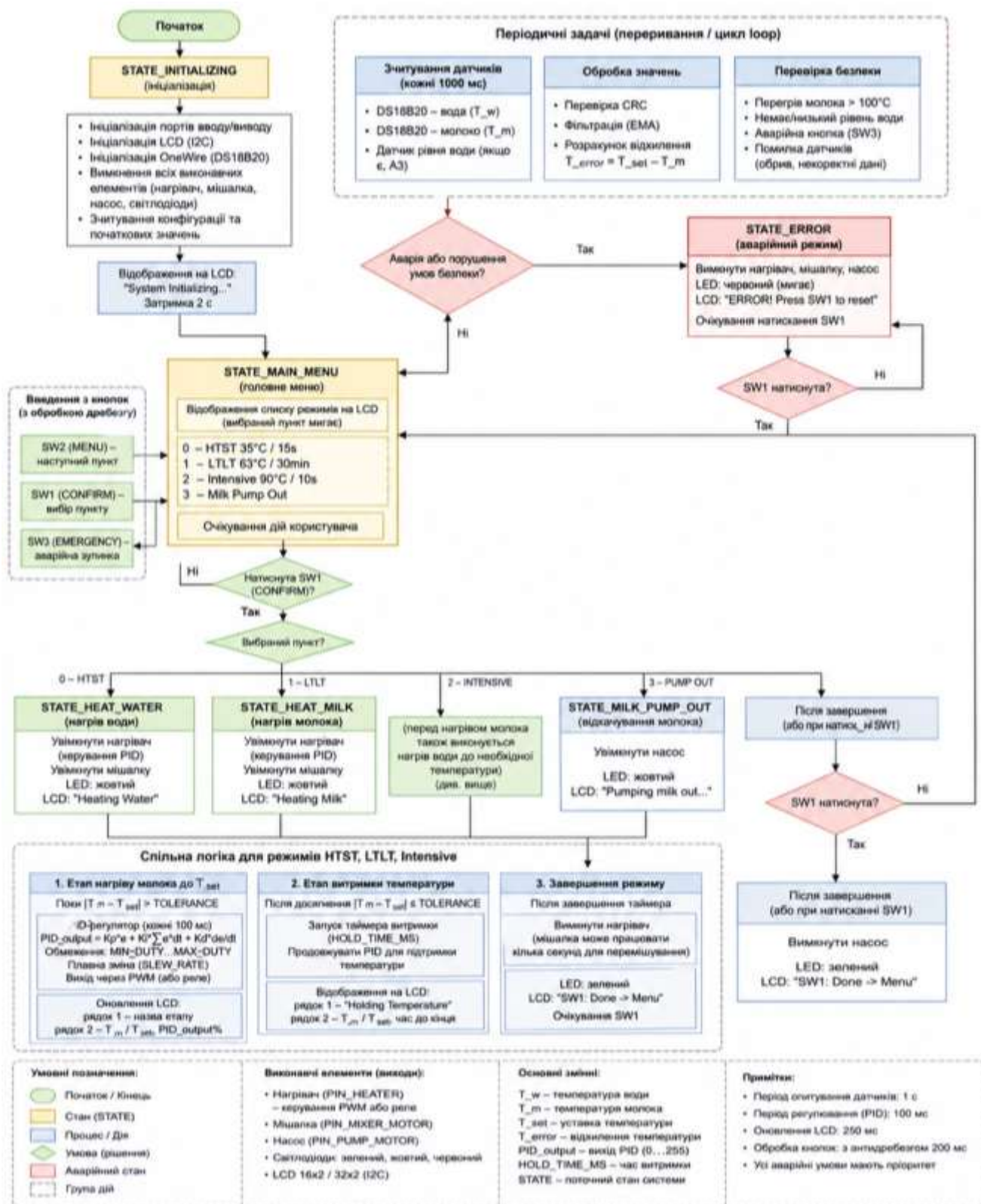


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму керування системою пастеризації молока

У програмі реалізовано декілька режимів роботи: HTST, LTLT, інтенсивний режим та окремий режим викачування рідини. Для демонстрації роботи лабораторного стенду значення температури в режимі HTST було тимчасово зменшено до 30°C . Це зроблено з метою скорочення часу демонстрації роботи

системи. У реальних умовах експлуатації значення температури може бути встановлено відповідно до технологічного режиму пастеризації, наприклад 75 °C для режиму HTST.

Після вибору режиму та натискання кнопки підтвердження система переходить до етапу нагрівання. У цей момент запускається перемішувач, а нагрівальний елемент керується залежно від показів датчиків температури. Для підвищення ефективності теплопередачі температура нагрівального середовища задається вищою за цільову температуру молока. У програмі це реалізовано за допомогою параметра WATER_HEAT_OFFSET, який додає 10 °C до заданої температури продукту.

Керування нагрівальним елементом здійснюється за принципом гістерезисного регулювання. Якщо температура нагрівального середовища нижча за заданий рівень, ТЕН вмикається. Якщо температура досягає верхньої межі, нагрів вимикається. Такий підхід дозволяє уникнути надто частого перемикавання реле та забезпечити стабільніший процес нагрівання.

Додатково у програмі передбачено мінімальний час між перемиканнями нагрівального елемента. Це реалізовано за допомогою змінної MIN_HEATER_SWITCH_TIME, яка запобігає швидкому вмиканню та вимиканню ТЕНа. Такий захід підвищує надійність роботи силового кола та зменшує навантаження на комутаційні елементи.

Після досягнення молоком заданої температури система переходить у режим витримки. У цьому режимі температура підтримується в заданих межах протягом установленого часу. На дисплеї відображається поточна температура та залишок часу до завершення процесу.

Після завершення витримки нагрівальний елемент і перемішувач вимикаються, а система переходить у стан завершення процесу. Після цього користувачу пропонується виконати викачування рідини. Якщо користувач підтверджує дію, система переходить у режим роботи насоса. Якщо викачування не потрібне, система повертається в головне меню.

У програмі також передбачено аварійний режим. Він активується при натисканні аварійної кнопки або у випадку некоректної роботи датчиків

температури. В аварійному режимі всі виконавчі механізми вимикаються, вмикається червоний світлодіод, а на дисплеї відображається повідомлення про помилку.

Для підвищення надійності роботи кнопок у програмі реалізовано програмне усунення дребезгу контактів. Крім того, кнопки обробляються за фактом натискання, що запобігає багаторазовому спрацюванню при утриманні кнопки.

Частину програми, у якій реалізовано вибір режиму та запуск процесу пастеризації, подано на рисунку 3.3.

```
if (sw1()) {  
    if (currentMode == MODE_PUMP_ONLY) {  
        state = CONFIRM_PUMP;  
        forceLCD();  
    } else {  
        setModeParams();  
  
        heaterState = false;  
        lastHeaterSwitch = millis() - MIN_HEATER_SWITCH_TIME;  
  
        state = HEATING;  
        forceLCD();  
    }  
}
```

Рисунок 3.3 – Частина програми вибору режиму та запуску процесу

Наведений фрагмент демонструє логіку переходу системи з меню до режиму нагрівання або до підтвердження викачування рідини. Повний лістинг програми наведено у додатку В.

4 РОЗДІЛ БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпек обладнання

В процесі життєдіяльності людину постійно супроводжують ті чи інші небезпеки, тому вивчення їх особливостей, умов прояву, наслідки впливу – одне з основних завдань БЖД. Життєвий досвід людини показує, що шкоду людині може нанести будь-яка діяльність: робота на виробництві (трудова діяльність), різні види відпочинку, розваги та навіть діяльність, пов'язана з навчанням [16].

Небезпека (згідно з ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення понять») – джерело чи ситуація, що потенційно може призвести до травмування, погіршення здоров'я чи смерті людини, завдавати шкоду майну, довкіллю, чи їх комбінація. Небезпека властива всім системам, які мають енергію, хімічні або біологічні активні компоненти, а також характеристики, які не відповідають умовам життєдіяльності людини [18–21].

Виходячи з цього розрізняють техногенно-виробничі небезпеки, які обумовлені господарською діяльністю людини, техногенно-виробничі небезпеки також називають антропогенними небезпеками. Природно-екологічні небезпеки, які обумовлені причинами природного характеру. Соціально-економічні небезпеки, які обумовлені причинами соціального, економічного і психологічного характеру. В окрему групу можна виділити військові небезпеки, які обумовлені військовими діями, роботою військово-промислового комплексу, терористичними актами [22].

Чинник небезпеки – це складова якого-небудь процесу або явища, викликана джерелом небезпеки, що характеризується фізичними, хімічними або біологічними діями з небажаними наслідками для людини [16, 24].

До фізичних чинників небезпеки належать чинники, взаємодія яких з людиною і навколишнім середовищем заснована на перетворенні енергії. До них належать такі:

- механічні (характеризуються потенційною або кінетичною енергією),
- термічні (характеризуються тепловою енергією),

- електричні (характеризуються електричною енергією),
- електромагнітні (характеризуються енергією електромагнітних коливань).

До фізичних факторів належать:

- підвищені або понижені: температура, вологість, атмосферний тиск; підвищена швидкість руху повітря;
- недостатня освітленість;
- машини, механізми або їх елементи, що рухаються або обертаються;
- конструкції, що руйнуються;
- елементи середовища, нагріті до високих температур;
- устаткування, що має підвищений тиск або розрідження;
- підвищені рівні електромагнітного, іонізуючого та акустичного випромінювання;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електричної напруги;
- перебування на висоті; невагомість і ряд інших [16, 23–26].

Таким чином, життєдіяльність людства не може бути безкомпромісною, спокійною. На життєдіяльність людини завжди впливають різні негативні чинники, які виникають як унаслідок діяльності людей, так і природного середовища. Захист у цих випадках людей і природного середовища є специфічним видом діяльності, що й вивчається дисципліною БЖД, й нам необхідно розглянути основні принципи, методи, заходи, засоби попередження небезпек або захисту від небезпек, які вже сталися [27].

4.2 Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом

Аналіз нещасних випадків в промисловості, свідчить про те, що кількість травм, викликаних дією електрики, порівняно невелика і складає 0,5-1% від загальної кількості нещасних випадків. Проте з загальної кількості нещасних випадків зі смертельним наслідком на виробництві 20-40% трапляється внаслідок ураженням електрострумом, що більше, ніж внаслідок дії інших причин, причому

близько 80% смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В [29].

Проходячи через тіло людини, електричний струм справляє термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію.

Електролітична дія струму характеризується розкладом органічної рідини, в тому числі і крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізично-хімічного складу [30–31].

Механічна (динамічна) дія – це розшарування, розриви та інші подібні ушкодження тканин організму, в тому числі м'язової тканини, стінок кровоносних судин, судин легеневої тканини внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перегрітої струмом тканинної рідини та крові [32].

Біологічна дія струму проявляється через подразнення та збудження живих тканин організму, а також через порушення внутрішніх біологічних процесів, що відбуваються в організмі і котрі тісно пов'язані з його життєвими функціями [33–36].

Приблизно 75% випадків ушкодження людей струмом супроводжується виникненням місцевих електротравм:

- електричні опіки; електричні знаки; металізація шкіри; механічні пошкодження; електроофтальмія; змішані травми.

Причини електротравм:

- дотик до струмоведучих частин під напругою внаслідок недотримання правил безпеки, дефектів конструкції та монтажу електрообладнання;
- дотик до неструмоведучих частин, котрі опинились під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, перехреснування проводів;
- помилкове попадання напруги в установку, де працюють люди; відсутність надійних захисних пристроїв [17, 29–31].

Класифікація методів безпечної експлуатації електроустановок:

- 1 – Застосуванням захисних мір.

Це схемні або конструктивні рішення які знижують небезпеку поразки людини електричним струмом. Умовно поділяються на захисні міри нормального режиму, аварійного режиму (у випадку появи напруги на корпусах електроустановок), комбінованої дії [33].

2 – Використанням електрозахисних засобів.

Електрозахисні засоби – це вироби, що переносять або перевозять, які служать для захисту персоналу від поразки електричним струмом під час виконання робіт. До них відносяться: інструменти, спецодяг і захисні засоби [33].

3 – Дотримання захисних заходів.

Захисні заходи – це сукупність вимог до працюючих і порядку виконання робіт. Захисні міри при нормальному режимі роботи електричних установок [33].

До захисних мір при нормальному режимі роботи електричних установок відносяться:

- ізоляція струмопровідних частин;
- недоступність струмопровідних частин блоківки безпеки;
- орієнтування в електроустановках ізоляційні площадки;
- захисне замикання (шунтування фази) [33].

Ізоляція струмопровідних частин – шар діелектрика або конструкція, виконана із діелектрика, при допомозі яких струмопровідні частини відокремлюються одна від одної або від інших конструктивних частин обладнання. Електроустановки в першу чергу мають робочу ізоляцію [33].

Недоступність струмопровідних частин забезпечується наступними методами:

- огорожами (суцільні з напругою до 1кВ, сітчасті до і вище 1кВ); розташуванням струмопровідних частин на недосяжній висоті;
- розташуванням струмопровідних частин в недосяжному місці; спеціальними заходами [33].

Робоча ізоляція – це така ізоляція, яка забезпечує протікання струму по потрібному шляху і безпечну експлуатацію обладнання. Ізоляція забезпечує безпеку дякуючи тому, що діелектрик має великий опір електричному струму, який обмежує величину струму, протікаючого через ізоляцію [33].

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею або з її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, котрі можуть опинитись під напругою [33].

Призначення захисного заземлення: захист від напруги дотику, тобто від напруги на корпусі електроустановки (при пошкодженні робочої ізоляції і переході напруги металевому корпусі) відносно землі [33].

Заземлювач – це металоконструкція, яка розміщена в ґрунті і має з ним хороший електроконтакт. Заземлюючий провідник – це провідник, що з'єднує корпус електро-приймача з заземлювачем [33].

Під час обслуговування електрообладнання системи пастеризації необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, справний ізольований інструмент, діелектричні рукавички та засоби перевірки відсутності напруги. Усі роботи з ремонту або обслуговування повинні виконуватися тільки після відключення обладнання від джерела живлення [33].

ЕЗЗ підрозділяються на ізолювальні та спеціальні для ВРПН. Ізолювальні ЕЗЗ підрозділяються на основні та додаткові [33].

Основний ЕЗЗ – електроізолювальний засіб, ізоляція якого тривалий час витримує робочу напругу ЕУ і який дозволяє працювати на струмопровідних частинах, що перебувають під напругою [33].

Додатковий ЕЗЗ – електроізолювальний засіб, який сам по собі не може за даної напруги забезпечити захист від ураження електричним струмом; він доповнює основний ЕЗЗ, також може захищати від напруг дотику і кроку [33].

Наряд-допуск – складене на спеціальному бланку розпорядження на безпечне проведення роботи, що визначає її зміст, місце, час початку і закінчення, необхідні заходи безпеки, склад бригади і осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи [33].

Розпорядження – завдання на безпечне виконання роботи, що реєструється в журналі і визначає її зміст, місце, час, заходи безпеки (якщо вони вимагаються) і осіб, яким доручено її виконання. Має одноразовий характер і строк дії його обмежений тривалістю робочого дня [33].

4.3 Оцінка приміщення щодо пожежної безпеки

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується у часі і просторі.

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за якого з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей [33].

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Об'єкти повинні мати системи пожежної безпеки, спрямовані на запобігання пожежі дії на людей та матеріальні цінності небезпечних факторів пожежі, в тому числі їх вторинних проявів. До таких факторів належать:

- полум'я та іскри;
- підвищена температура навколишнього середовища;
- токсичні продукти горіння й термічного розкладу;
- дим;
- знижена концентрація кисню.

Забезпечення пожежної безпеки – невід'ємна частина державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і навколишнього природного середовища [33].

Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція, Кодекс цивільного захисту України та інші закони України, постанови Верховної Ради України, укази та розпорядження Президента України, декрети, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті в межах їх компетенції. Забезпечуючи пожежну безпеку слід також керуватись Правилами пожежної безпеки в Україні, стандартами, будівельними нормами, Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), нормами технологічного проектування та іншими нормативними актами, виходячи із сфери їх дії, які регламентують вимоги пожежної безпеки [33].

Основними причинами виникнення пожеж є:

1. Порушення правил техніки безпеки і технічної експлуатації електроустановок і мереж (до 33%).
2. Необережність поводження з вогнем (до 25%); (1216 випадків).
3. Несправність або відсутність систем блискавки захисту.
4. Порушення правил експлуатації та технічного обслуговування вентиляційних установок.
5. Порушення правил при проведенні зварювальних робіт та ін.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення, будинки та зовнішні установки поділяють на категорії А, Б, В, Г та Д відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Система пожежного захисту складається із:

- автоматичних систем пожежогасіння (АСПГ);
- систем пожежної сигналізації (СПС);
- систем оповіщення про пожежу та управління евакуюванням людей
- (СО);
- систем димота тепловидалення та підпору повітря (СДТ);
- систем централізованого пожежного спостереження (СЦПС);
- диспетчеризації (СПЗ).

Сучасна пожежна сигналізація покликана виявляти загоряння та передавати сигнал тривоги черговому персоналу і на пульт спостереження для швидкої локалізації пожежі [33].

Для ефективної роботи пожежна сигналізація повинна бути правильно спроектована із врахуванням вимог чинних нормативних документів з правил пожежної безпеки щодо характеристики об'єкта і побажань замовника з огляду на архітектурні рішення і дизайн приміщення. Кожен такий проект проходить експертизу в органах державного пожежного нагляду на предмет надійності та безпеки. Потім його втілюють у життя [33].

Виявляють осередок загоряння і передають сигнал про нього на пульт управління сповіщувачі. Залежно від характеру приміщення і його завдань встановлюють сповіщувачі димові, теплові, комбіновані та полум'я [33].

Для запобігання пожежам у с. г. розробляють організаційні, експлуатаційні, технічні, режимного характеру, пожежно-евакуаційні, тактико-профілактичні, будівельно-конструктивні та ін. заходи [33].

До організаційних заходів відносять правильне технологічне розміщення машин, обладнання і недопущення захаращення приміщень, проходів, під'їздів; своєчасне видалення відходів, тари, допоміжних матеріалів; організацію пожежних служб на підприємствах; навчання працівників правил пожежної безпеки; спеціальне розміщення матеріалів на складах і техніки в гаражах та ремонтних майстернях [33].

Експлуатаційні заходи передбачають такі режими експлуатації машин і обладнання, у результаті яких повністю виключається можливість виникнення іскор і полум'я при роботі машин, контакт нагрітих деталей обладнання з горючими матеріалами [33].

До технічних належать заходи, що стосуються правильного монтажу та експлуатації печей, електрообладнання [33].

До заходів режимного характеру відносять заборону куріння, запалювання вогню, сірників, правильне зберігання промислових ганчірок, постійний контроль за зберіганням запасів вугілля, матеріалів, що можуть самозагорятися [33].

Тактико-профілактичні заходи передбачають швидку дію пожежних команд, своєчасне встановлення на об'єктах первинних засобів вогнегасіння, а також підтримання в постійному стані водопровідної системи з усіма гідрантами [33].

Пожежна профілактика – це комплекс організаційних і технічних засобів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежам, обмеження їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

До основних заходів пожежної профілактики належать:

- обстеження господарств, відділень, діляниць на дотримання в них правил пожежної безпеки;
- забезпеченість об'єктів і робочих місць первинними засобами гасіння пожеж, інструкціями з пожежної безпеки, плакатами, літературою;
- пропаганда пожежної безпеки (лекції, семінари, кінофільми тощо).

При обстеженні перевіряють:

- наявність осіб, відповідальних за пожежну безпеку;
- виконання зобов'язань, внесених органами пожежного нагляду;
- стан пожежної безпеки територій;
- боєздатність пожежних формувань (ДПД, ПВО);
- забезпеченість засобами пожежогасіння;
- стан готовності пожежної техніки і засобів пожежогасіння;
- стан пожежного водопостачання, пожежної автоматики і сигналізації;
- організацію чергування на пожежному депо та його обладнання;
- дотримання правил протипожежного режиму на об'єктах.

Недоліки, виявлені в процесі обстеження, зводять, аналізують і складають акт, у якому зазначають строки усунення [33].

Безпосередньо на об'єктах повинні бути розроблені інструкції з пожежної безпеки, які після відповідного узгодження і затвердження вивішують на видних місцях [33].

У кожного об'єкта повинен бути план евакуації (тварин, людей тощо). У графічній частині плану евакуації накреслюють схему приміщень (об'єкта), на якій позначають маршрути руху (тварин, людей, виносу цінностей тощо), основні й запасні шляхи виходу, а також розміщення вогнегасників, пожежних сигналізаторів і кранів. План евакуації не менш як 2 рази на рік відпрацьовується з усіма працівниками об'єкта [33].

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено мікроконтролерну систему автоматичного управління процесом пастеризації молока.

У першому розділі розглянуто технологічний процес пастеризації молока, його призначення та основні температурні режими. Також було проаналізовано особливості автоматизації даного процесу та визначено основні вимоги до системи керування.

У другому розділі виконано вибір основних апаратних компонентів системи. Як керуючий пристрій обрано мікроконтролерну платформу Arduino UNO. Для контролю температури використано цифрові датчики DS18B20, для відображення інформації — LCD-дисплей 1602 з інтерфейсом I2C. Керування нагрівальним елементом реалізовано за допомогою твердотільного реле, а для керування насосом і мішалкою використано електромагнітні реле та транзисторні ключі. Також було розроблено структурну, функціональну та принципову електричну схеми системи.

У третьому розділі розроблено алгоритм роботи системи та програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino мовою C++ у середовищі Arduino IDE. Програма забезпечує вибір режиму роботи, зчитування температури з датчиків, керування нагрівальним елементом, мішалкою та насосом, а також перехід у аварійний режим у випадку несправності або перевищення допустимих параметрів. Для підтримання температурного режиму використано релейне керування з гістерезисом.

У четвертому розділі розглянуто питання безпеки життєдіяльності, охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації системи пастеризації молока. Проаналізовано основні небезпечні фактори, пов'язані з використанням електрообладнання, нагрівальних елементів і рухомих механізмів. Запропоновано заходи щодо зниження ризику ураження електричним струмом, термічних травм та виникнення пожежі.

У результаті виконання роботи було створено працездатну мікроконтролерну систему автоматичного управління процесом пастеризації

молока, яка дозволяє автоматизувати контроль температури, керування нагрівом, перемішуванням та відкачуванням молока. Розроблена система може бути використана як навчальний лабораторний стенд або як основа для подальшого вдосконалення систем автоматизації технологічних процесів на молокопереробних підприємствах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки по оформленню технічного завдання в курсовому і дипломному проектуванні. Для студентів спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Склад: доц. Шкодзінський О.К. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. 14 с.
2. Основні вимоги до оформлення текстової і графічної частин дипломних та курсових проектів. Склад: доц. Куцевич А.В. Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя, 2005. 28 с.
3. Новак В.П., Деркач І.В. Мікропроцесорні пристрої в радіотехніці та автоматизації: апаратне забезпечення та основи програмування : навч. посіб. Тернопіль : Тернове поле, 2025. 228 с.
4. FAO. Milk and dairy products in human nutrition. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. – 376 p.
5. Fellows P. J. Food Processing Technology: Principles and Practice. – 4th ed. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. – 1040 p.
6. Walstra P., Wouters J.T.M., Geurts T.J. Dairy Science and Technology. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2006. – 782 p.
7. Codex Alimentarius Commission. Milk and Milk Products. – 2nd ed. – Rome: FAO/WHO, 2011. – 292 p.
8. Atmega328P Datasheet. Atmel Corporation. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html> (дата звернення: 02.02.2026).
9. Датчик температури DS18B20. ITMaster. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/sensors/ds18s20.html> (дата звернення: 02.02.2026).
10. Arduino. Arduino Uno Rev3 – Technical Specifications. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/#tech-specs> (дата звернення: 02.02.2026).
11. I2C LCD1602 Module. SunFounder. URL: <https://docs.sunfounder.com/projects/ultimate-sensor->

- kit/en/latest/components_basic/21-component_i2c_lcd1602.html (дата звернення 02.02.2026).
12. Hongfa. HF46F Electromagnetic Relay Datasheet. URL: <https://www.lcsc.com/datasheet/C27167.pdf> (дата звернення: 02.02.2026).
 13. SSR-40DA Solid State Relay 40A~380V ac datasheet. URL: <https://handsontec.com/dataspecs/discrete/SSR-40DA.pdf> (дата звернення: 02.02.2026).
 14. 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>
 15. 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>
 16. 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>
 17. 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.
 18. 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>
 19. 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>
20. 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>
 21. 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. - 21с.
 22. 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>
 23. 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>
 24. 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>
 25. 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>
26. 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>
 27. 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>
 28. 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>
 29. 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.
 30. 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.
 31. 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
 32. 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.
33. 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>
 34. 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.
 35. 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.
 36. 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.
 37. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
 38. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
 39. 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>
 40. 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>

41. 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>
42. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.
43. 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>