

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Автоматизована система керування електрокотельною

Назва теми

КВРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент IV курсу, група АКІТ-21-1


Підпис

Іван ПИСАРСВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник



Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«18» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

07 лютого 2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Писареву Івану Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система керування електрокотельною

Керівник роботи канд.техн.наук., доцент Людмила КОРЕЦЬКА

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. №23

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.





3 Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Огляд методів розв'язання поставленої задачі. Розробка схемотехнічних рішень. Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення. Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вибір та затвердження теми кваліфікаційної роботи; розробка завдання на кваліфікаційну роботу; складання календарного графіка виконання кваліфікаційної роботи	01.03.2025	Виконано
2 Вивчення предметної області, в якій планується використання системи автоматизації; аналіз вимог до системи автоматизації	15.03.2025	Виконано
3 Проектування та розробка загальної архітектури і структури системи автоматизації, інтерфейсу користувача; вибір засобів реалізації системи автоматизації	29.03.2025	Виконано
4 Програмна реалізація та тестування системи автоматизації	12.04.2025	Виконано
5 Написання тексту пояснювальної записки та розробка графічних матеріалів	19.04.2025	Виконано
6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог	11.04.2025	Виконано
7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль	30.05.2025	Виконано
8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	03.06.2025	Виконано

Студент


 Підпис

Іван ПИСАРСВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


 Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування електростанцією».

Автор роботи: Іван ПИСАРЄВ

Керівник роботи: Людмила КОРЕЦЬКА

Пояснювальна записка: 61 с., 15 рис., 1 табл., _ дод., 40 джерел.

Графічна частина: 8 презентаційних слайдів.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНЯ, МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування електростанцією.

У роботі було спроектовано автоматизовану систему керування електростанцією, що дозволяє автоматизувати роботу регулювання параметрами електростанції. Було розглянуто декілька випадків реалізації аналогічних пристроїв, таким чином можна говорити про певну універсальність спроектованого приладу.

Використання в роботі мікроконтролера та сучасної елементної бази дає підстави вважати, що спроектований прилад знайде широке застосування.

Наведено розробку схем електричної структурної та електричної принципової. Обґрунтовано вибір елементів схеми. Розроблено алгоритм роботи пристрою що реалізує логіку роботи поворотного столу.


Підпис студента

18.06.2025
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОТЕЛЕН ТА ІСНУЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....	6
1.1 Загальні поняття електричного нагріву води	6
1.2 Існуючі електричні котли	7
1.2.1 WILLER Volt	7
1.2.2 Thermona ELS (Чехія)	10
1.2.3 Stiebel Eltron CNS / ELECTRONIC/E (Німеччина)	12
1.2.4 Порівняльний аналіз	14
1.3 Постановка задачі побудови електричної котельної	16
1.3.1 Вихідні умови та цілі проекту	16
1.3.2 Обґрунтування типу нагрівання.....	17
1.3.3 Технічні умови та вихідні дані.....	18
1.4 Висновки до першого розділу	20
2 РОЗРОБКА СХЕМ СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	22
2.1. Структурна схема системи керування	22
2.2. Розробка схеми електричної принципової	23
2.3. Рекомендації по збиранню та налагодженню пристрою	41
2.3 Висновки до другого розділу	45
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ	47
3.1. Блок-схема алгоритму роботи.....	47
3.2. Опис етапів алгоритму	49

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування електрокотельною Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Писарев І.С.	<i>[Підпис]</i>	18.06			2	
Перевір.		Корецька Л.О.	<i>[Підпис]</i>	18.06				
Н. Контр.		Корецька Л.О.	<i>[Підпис]</i>	18.06				
Затв.		Мартинюк В.В.	<i>[Підпис]</i>	18.06				ХНУ, АКІТ-21-1

3.3. Практична реалізація прототипу	52
3.4. Висновки до третього розділу	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	59

ВСТУП

Автоматизація систем опалення сьогодні є важливим напрямком підвищення енергоефективності, безпеки та зручності експлуатації опалювального обладнання. Серед різних типів електродних котлів особливе місце займають електродні (електролітичні) котли, що працюють за принципом проходження електричного струму крізь воду та утворення тепла за законами електролізу й джоуля–ленцового нагріву. Однофазні електродні котли мають просту конструкцію, відносно низьку вартість компонентів та можливість швидкого монтажу, що робить їх привабливими для побутових і невеликих промислових об'єктів. Однак ефективне, стабільне й безпечне використання такого обладнання потребує розробки надійної системи керування, яка забезпечила б регулювання температури, захист від аварійних режимів, оптимальне споживання електроенергії та комфорт користувача. У вступі розглянуто актуальність теми, мету і завдання роботи.

Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи керування однофазним електродним опалювальним котлом з обґрунтуванням вибору апаратних і програмних засобів, розробкою схем, алгоритму роботи і практичною реалізацією прототипу.

Завдання роботи:

1. Аналіз літературних джерел і існуючих технічних рішень у сфері електродних котлів та систем керування ними.
2. Опис принципу дії електродного нагріву, вимог до безпеки й експлуатації, а також нормативно-технічних стандартів.
3. Розробку структурної та принципової електричних схем системи керування з обґрунтуванням компонентів: контролера, датчиків, виконавчих елементів, захисних пристроїв тощо.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	4
		№ докум.	Підпис			

4. Створення алгоритму роботи пристрою з детальним описом етапів: ініціалізації, пуску, регулювання потужності, захисту, аварійного зупинення, інтерфейсу з користувачем.

5. Практичну реалізацію прототипу, випробування його на макеті або реальному котлі, аналіз результатів роботи.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			5

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОТЕЛЕН ТА ІСНУЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

1.1 Загальні поняття електричного нагріву води

Електричний нагрів води реалізується шляхом перетворення електричної енергії в тепло внаслідок джоулевого ефекту. При проходженні струму через нагрівальний елемент (трубчасті електронагрівачі, електродні котли тощо) відбувається виділення тепла та підвищення температури теплоносія. Існують чотири основні методи електричного нагріву: занурені ТЕНи із спіраллю всередині металевої трубки, електродні котли з безпосереднім пропусканням струму через воду, індукційні нагрівачі з вихровими струмами у металевих елементах та дифузійно-резистивні нагрівачі у вигляді сіток чи стрічок.

Електродні котли відзначаються компактністю, відсутністю схильних до накипу ТЕНів і регулюванням потужності шляхом перемикання електродів. Водночас необхідним є контроль електропровідності та хімічного складу води, наявність систем заземлення, захисту від корозії та витоку струму, а також обмеження мінімального об'єму води для запобігання перегріву або утворення бульбашок. Теоретичний ККД електродів досягає 98–99 %, проте практична ефективність залежить від правильного підбору потужності, мінімізації мережевих втрат і якості автоматики керування.

Проектування системи з електричним нагрівом передбачає визначення теплової потужності за тепловтратами будівлі, вибір типу опалювальних приладів і температурного графіку, оптимізацію параметрів подачі та зворотного трубопроводів, а також налаштування циркуляційних насосів і розширювальних баків. Крім того, передбачаються заходи захисту від

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	6
		№ докум.	Підпис			

замерзання та враховується інерційність системи, що забезпечує швидке реагування котла на зміну навантаження.

Черговим фактором є вартість електроенергії, яка зазвичай перевищує ціну газу чи рідкого палива, тому електрокотли доцільно застосовувати в регіонах із дешевою «зеленою» електроенергією або за наявності нічних тарифів. У містах без централізованого газопостачання відсутність викидів безпосередньо при експлуатації становить важливу екологічну перевагу.

У складних проєктах електрокотли використовуються як основні, пікові або резервні джерела в поєднанні з тепловими насосами та сонячними колекторами. У гібридних схемах вони підтримують заданий температурний режим під час похмурих періодів або при перевищенні теплового навантаження. Такий підхід забезпечує високу гнучкість керування, спрощує монтаж і технічне обслуговування, проте вимагає суворого дотримання нормативних вимог щодо безпеки, сертифікації та періодичного техогляду [1-5].

1.2 Існуючі електричні котли

1.2.1 WILLER Volt

WILLER Volt: настінні котли потужністю від 4,5 до 36 кВт. (рисунок 1.1):

- особливості: погодозалежна автоматика, можливість дистанційного керування через GSM-модуль, плавне регулювання потужності по ступенях, захист від перегріву, вбудований циркуляційний насос, група безпеки (манометр, запобіжний клапан). Забезпечують підтримку заданої температури теплоносія й автоматичне переключення ступенів;

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	7
		№ докум.	Підпис			

- сфера застосування: котеджі, квартири, невеликі приватні будинки до $\sim 300\text{--}350\text{ м}^2$ (залежить від потужності);

- важливі моменти: можливість роботи як у мережі 1-фазній (до певної потужності) або 3-фазній (для моделей вище, наприклад 12 кВт у WILLER Volt), сучасна електроніка, захист від замерзання.

WILLER Volt: котли потужністю, наприклад, 7,5; 9; 12 кВт [6-8].

Особливості: автоматичне регулювання потужності, погодозалежний контроль, система самодіагностики, можливість підключення кімнатного термостата або зовнішніх датчиків, індикація стану на дисплеї.

Режим роботи: у моделях до 9 кВт — однофазне підключення, 12 кВт — трифазне. Захист від сухого ходу, від перегріву, захист водяного вузла.

Переваги: компактний настінний форм-фактор, відносно низька вартість, інтелектуальне керування, опція GSM-контролю.



Рисунок 1.1 – Типові настінні котли WILLER Volt

ZOTA MK-S: модульні рішення (міні-котельня), куди входить ТЕНовий котел, розширювальний бак, циркуляційний насос, блок автоматики, група безпеки — готовий комплексний комплект для встановлення. Потужність від 6 до 36 кВт [9].

Переваги: швидка установка (мінімум додаткових комплектуючих), вбудований насос і бак, знижена вартість монтажу.

Характеристики: погодозалежне чи програмоване керування, багато ступенів потужності, циркуляційний насос з частотним регулюванням у деяких моделях, можлива інтеграція з сонячними колекторами.

Параметри для котла:

1. Потужність: 4,5–36 кВт.
2. Тип підключення: однофазне до ~ 9 кВт, трифазне понад.
3. Автоматика: погодозалежне керування, вбудовані таймери, можливість підключення зовнішніх термостатів, GSM/далеке керування.
4. Комплектація: в моделях MK-S — насос, бак, блок безпеки; самостійні настінні модулі — потребують монтажу розширювального бака й насоса окремо (але багато моделей вже включають насос).
5. Захисти: від перегріву, сухого ходу, витоку струму (УЗО), контроль тиску, блокування при аваріях.
6. Ефективність: ККД близько 98–99 %.
7. Монтаж: настінний для Smart/Lux, підлоговий (міні-котельня) для MK-S.
8. Вартість: середній сегмент — доступніша за багатьох європейських виробників з огляду на локальне виробництво та менші логістичні витрати.
9. Сервіс і гарантія: гарантійний термін 1–2 роки (залежить від виробника), наявність сервісних центрів.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	9
		№ докум.	Підпис			

1.2.2 Thermona ELS (Чехія)

Thermona — відомий чеський виробник опалювальної техніки. Серія ELS (Electric Heating System) включає електричні котли, що працюють на ТЕНах або електродах [10] (рисунок 1.2).

Serijs ELS-EL: ТЕНові котли електричного нагріву потужністю від 6 до 30 кВт. Можуть мати одну або більше секцій нагрівачів.

Serijs ELS-EL Electric: обладнані електронними блоками керування, датчиками температури, можливістю погодозалежного керування, підключення кімнатних термостатів.

Основні характеристики:

- настінний або підлоговий монтаж залежно від потужності;
- потужність секцій: зазвичай ТЕНи з нержавіючої сталі, ступені потужності (наприклад, 3–6 ступенів), можливість плавного регулювання в деяких моделях;
- автоматика: чеські контролери з підтримкою PID-регулювання, погодозалежні алгоритми, вбудована діагностика та самодіагностика, індикація через дисплей;
- захисти: захист від замерзання, від перегріву, контроль на накип (якщо ТЕНові), захист циркуляції (контроль роботи насоса), захист електродвигуна насоса;
- інтеграція: можливість інтегрувати з сонячними колекторами, тепловими насосами, системами «тепла підлога»;
- водяний контур: сталевий теплообмінник, розширювальний мембранний бак окремо або вбудований залежно від моделі;
- сертифікація: котли відповідають європейським стандартам (CE), мають національні сертифікати.

Параметри котла:

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	10
		№ докум.	Підпис			

- потужність: від 6 до 30 кВт (для побутового сегмента);
- монтаж: настінний до ~12–15 кВт, підлоговий для потужностей понад;
- автоматика: розвинена, PID-регулювання, погодозалежне регулювання, інтеграція з кімнатним термостатом;
- нагрівальні елементи: нержавіючі ТЕНи, ступенева схема включення, захист від накипу;
- комплектність: зазвичай потребує підключення зовнішнього насоса й бака, але деякі пакети включають мінімальний набір;
- вартість: європейський преміум-сегмент (вища ціна за рахунок якості виготовлення, надійності, підтримки виробника);
- сервіс: широка мережа сервісних центрів у Чехії та країнах ЄС.



Рисунок 1.2 – Електрокотел Thermona ELS-EL

Переваги:

- надійність європейського виробника, висока якість компонентів;

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	11
		№ докум.	Підпис			

- розвинена автоматика з гнучким налаштуванням, можливість адаптації під різні системи опалення.

Недоліки:

- вища початкова вартість;
- потреба у монтажі додаткових компонентів (насос, бак), що збільшує капітальні витрати і складність монтажу;
- імпортна техніка, можливо дорожче обслуговування поза межами Чехії.

1.2.3 Stiebel Eltron CNS / ELECTRONIC/E (Німеччина)

Stiebel Eltron — провідний німецький виробник опалювальних систем; серія електрокотлів CNS/ELECTRONIC/E використовує ТЕНи. Stiebel Eltron CNS: ТЕНові котли класу «comfort», потужністю від ~ 3 до 18 кВт для квартир та невеликих будинків. Stiebel Eltron ELECTRONIC/E: оснащені електронним модулем керування з індикатором, PID-регулюванням, можливістю підключення кімнатного датчика, погодозалежна автоматика через зовнішній датчик [11] (рисунок 1.3).

Характеристики:

- потужність: невисока до середньої (3–18 кВт), призначена для регіонального використання;
- автоматика: розвинена електроніка німецького виробництва, дисплей, самодіагностика помилок, можливість інтеграції в «розумний дім»;
- конструкція: компактний настінний корпус, ТЕНи з нержавіючої сталі або сплаву з підвищеною стійкістю до накипу;
- захисти: від перегріву, контроль циркуляції, захист від сухого ходу, захист від низької провідності води, УЗО;

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	12
		№ докум.	Підпис			

- сумісність: можна підключити до різних систем опалення, у тому числі теплих підлог;

- сертифікація: відповідно до європейських норм (CE, DIN).

Параметри котла:

- потужність: 18 кВт (обмежена сегментація для невеликих об'єктів);

- монтаж: настінний;

- автоматика: високоякісна, гнучка інтеграція з іншими системами, підтримка «розумного дому»;

- комплектність: потребує підключення зовнішнього бака і насоса;

- ціна: преміум-сегмент (вища ціна за рахунок німецької якості, гарантії, надійності);

- сервіс: широка мережа офіційних представництв у Європі.



Рисунок 1.3 – Електрокотел Stiebel Eltron CNS/ELECTRONIC/E

Переваги:

- якість, надійність, довга гарантія;

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	13
		№ докум.	Підпис			

Кінець таблиці 1.1 – Порівняння електричних котлів

Комплектація	У МК-S: насос, бак; в настінних — насос/бак (опціонально)	Потрібні зовнішні насос, бак	Зовнішні насос, бак
Захист від накипу/корозії	Наявний (якість ТЕНів)	Системи захисту ТЕНів	Системи захисту ТЕНів
Бездротове керування	GSM (опціонально)	Зазвичай ні (можливо через додаткові модулі)	Можлива інтеграція через «розумний дім»
Вартість обладнання + монтаж	Середній сегмент, доступніша за європейські	Вища середнього, преміум ЄС	Висока, преміум
Надійність та гарантія	Добра локальна підтримка, гарантія 1–2 роки	Європейська якість, гарантія 2–3 роки	Німецька якість, гарантія 2–3 роки
Регіон застосування	Котеджі, дачі, квартири, невеликі будинки	Котеджі, будинки середніх розмірів	Котеджі, квартири, невеликі будинки
Резервне/піковане використання	Так, в гібридних системах	Так	Так

WILLER Volt: оптимальний вибір за співвідношенням ціна/якість, легке обслуговування, готові комплекти (МК-S). Добре підходить для бюджетних проєктів, де важлива швидка інсталяція.

Thermona: оптимальна якість і розвинена автоматика для користувачів, які цінують гнучкість налаштувань, але готові інвестувати більше. Відмінно підходить там, де важлива довготривала надійність європейського виробника.

Stiebel Eltron: преміум-рішення з високою автоматикою та інтеграцією в «smart home». Підійде клієнтам з більшим бюджетом і високими вимогами до стабільності та ергономіки керування.

1.3 Постановка задачі побудови електричної котельної

1.3.1 Вихідні умови та цілі проєкту

Загальним завданням проєкту є розробка електричної котельної для опалення житлового будинку площею до 150–200 м² у кліматі з середньою зимовою температурою до –20 °С.

Основні цілі:

- забезпечити теплову потужність, достатню для покриття тепловтрат (прикладно 18–20 кВт);
- інтегрувати систему керування для підтримки комфортного температурного режиму з урахуванням погодозалежного регулювання та можливості програмування (таймери);
- мінімізувати енергозатрати за рахунок оптимізації роботи (частотні насоси, плавне регулювання потужності, інтеграція з системою накопичення або відновлюваними джерелами);
- забезпечити високу надійність і безпеку експлуатації (захисти від перегріву, витоку струму, корозії електродів чи накипу ТЕНів, заземлення, захисні пристрої);
- виконати розробку з урахуванням нормативних вимог (ДСТУ, ДБН), сертифікації обладнання;

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	16
		№ докум.	Підпис			

- забезпечити простоту монтажу та обслуговування: модульність або уніфікація вузлів, зручність доступу для заміни елементів;
- розробити рішення, яке може бути виготовлене локально (якщо можливо), або з використанням доступних на ринку компонентів;
- передбачити бюджет виробництва та монтажу, оптимізуючи вартість без суттєвих втрат надійності.

1.3.2 Обґрунтування типу нагрівання

ТЕНовий котел:

- принцип: нагрівання через трубчасті електронагрівачі, занурені в теплоносії;
- переваги: простий контроль якості нагрівальних елементів, менша чутливість до параметрів води (при встановленні пом'якшуючих фільтрів);
- недоліки: накип на ТЕНах, необхідність очищення; більш тривалий час нагріву великого об'єму; потреба в просторі для монтажу секцій ТЕНів; можлива гучність при увімкненні/виключенні ступенів.

Електродний котел:

- принцип: пропускання струму через воду як через опір. Використовуються електроди з відповідних матеріалів (сталь, нержавійка, титанові сплави);
- переваги: відсутність ТЕНів й накипу, швидше нагрівання усього об'єму; компактна конструкція, менший інерційний час; прямий нагрів через опір;
- недоліки: чутливість до електропровідності води; потреба у контролі хімічного складу води, можлива корозія електродів; необхідність складніших захисних систем (контроль витоку струму); суворі вимоги до якості монтажу і

заземлення; обмеження на мінімальний об'єм води; складніша система автоматики захисту.

Обґрунтування вибору:

- якщо в регіоні доступна вода з стабільним хімічним складом або можлива система кондиціонування/очищення води, застосовують електродний котел через компактність і швидке нагрівання;

- якщо вода жорстка або складно підтримувати параметри води, доцільніше ТЕНовий котел з фільтрами;

- для побутового застосування частіше використовується ТЕНовий, оскільки простіше експлуатувати у приватних умовах. Електродні котли частіше у промислових чи спеціалізованих об'єктах, але дедалі частіше з'являються й побутові електродні моделі.

1.3.3 Технічні умови та вихідні дані

Сформулюємо технічні умови на проектування систему управління електрокотельною із використанням електродного котла:

1. Потужність: 18–20 кВт (з можливістю гнучкого зниження або збільшення залежно від потреби, ступені підключення електродів або ТЕНів).

2. Напруга живлення: трифазна, 380 В, 50 Гц (можлива однофазна для частини навантажень, але основний нагрів — трифазна).

3. Максимальний струм одного електрода/ТЕН: залежить від матеріалу і розрахунку; потребує визначення: $I = P/U$. Наприклад, при 18 кВт і 380 В: I загальний ≈ 30 А на фазу. Струм кожного елемента – 10–15 А.

4. Матеріали електродів: стійкі до корозії (нержавіюча сталь AISI 316, титанові сплави) або покриття, що забезпечують тривалий ресурс.

5. Контур нагріву: мінімальний об'єм теплоносія, щоб уникати перегріву; мінімальний об'єм, рекомендований виробником, наприклад ≥ 50 л.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	18
		№ докум.	Підпис			

6. Циркуляційна система: вибір циркуляційного насоса з частотним регулюванням (залежно від гідравлічного опору), контур розширювального бака (мембранний), запобіжний та зливний клапани, манометр, клапан захисту від перевищення тиску (6 атм або відповідно до проєкту).

7. Система управління: мікроконтролер або програмований логічний контролер (PLC) із вбудованими I/O для датчиків температури, тиску, рівня води (для електродного варіанта), датчиків витоку струму (RCD), захистом від сухого ходу, індикатором стану, звуковою/світловою сигналізацією аварій.

8. Автоматизація: погодозалежне регулювання (датчик зовнішньої температури), програмований термостат (таймери), режим економії, можливість дистанційного доступу (GSM/Wi-Fi).

9. Захисти: УЗО (діфавтомат), автоматичний вимикач (з відповідним струмовим калібруванням і характеристиками В або С), запобіжники, реле контролю напруги, захист від перенапруги, м'який старт (якщо потрібно захистити мережу від пускових струмів).

10. Інформаційне забезпечення: дисплей (LCD або LED) для індикації поточного стану: температура теплоносія, режими роботи, коди помилок; можливість виведення даних на зовнішні інтерфейси (RS485, Modbus, CAN).

11. Монтаж: передбачити місце встановлення (окрема кімната котельні чи вбудований у стіну простір), достатню вентиляцію приміщення, простір для обслуговування та заміни елементів.

12. Охорона від замерзання: у разі відключення електрики — необхідний байпасний контур або автономне джерело живлення для насоса, якщо є ризик замерзання.

13. Безпека електродного варіанта: система контролю провідності води, захист від роботи без достатнього об'єму води, датчики рівня (для перевірки наявності води перед увімкненням електродів), зворотний клапан для запобігання витоку струму у побутову мережу.

1.4 Висновки до першого розділу

Електричний нагрів води є ефективним методом опалення та гарячого водопостачання з високим ККД (98–99 %), простотою монтажу та відсутністю локальних викидів, що робить його привабливим для регіонів без газопостачання.

Серед методів електричного нагріву виділяються ТЕНові та електродні котли; вибір залежить від якості води, умов експлуатації та вимог до швидкості нагрівання.

Автоматизовані системи керування (погодозалежне регулювання, таймери, дистанційне управління, інверторні насоси) суттєво підвищують економічність і комфорт використання електродних котлів.

Безпека експлуатації – ключовий аспект: заземлення, УЗО, автоматичні вимикачі, захист від перегріву й витоку струму, контроль складу води для електродних котлів.

На ринку існує низка серійно випускаємих котлів: від локальних бюджетних рішень до європейських преміум-марок, що дає змогу вибирати обладнання відповідно до бюджету, технічних вимог та побажань щодо автоматизації.

Порівняльний аналіз серій ZOTA (СНД), Thermona (Чехія), Stiebel Eltron (Німеччина) показав різні рівні автоматизації, надійності та вартості; вибір залежить від теплового навантаження, інфраструктури сервісу та бюджету.

Постановка задачі проектування електричного котла потребує чіткого визначення потужності, виду нагріву (ТЕН/електрод), підбору компонентів (насос, бак, матеріали ТЕН/електродів), розробки автоматизації, забезпечення безпеки й відповідності нормативам.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	20
		№ докум.	Підпис			

Електрокотли доцільно використовувати в комбінованих (гібридних) системах із тепловими насосами або сонячними колекторами для оптимізації енергоспоживання й зниження витрат.

Економічна доцільність електроопалення залежить від тарифів на електроенергію, можливості використання дешевої “зеленої” енергії, інтеграції накопичувачів тепла.

Загалом, електричне опалення з правильно спроектованою системою керування та безпеки є конкурентоспроможним рішенням у низці регіонів, забезпечуючи комфорт, гнучкість експлуатації та екологічність на місці споживання.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			21

2 РОЗРОБКА СХЕМ СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1. Структурна схема системи керування

Загальна блок-схема (рисунок 2.1) передбачає те що користувач задає параметри через інтерфейс (дисплей + кнопки або веб/мобільний додаток).

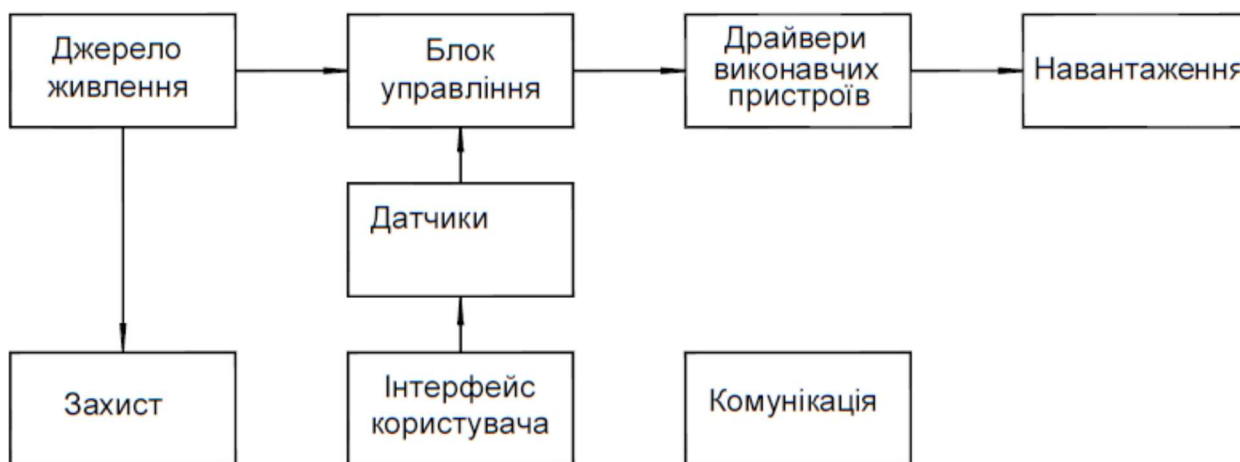


Рисунок 2.1 - Схема структурна

Контролер отримує сигнали від датчиків: температури (Т1 – вхід води, Т2 – вихід води), датчик рівня води.

Контролер керує виконавчими ланками: силовими контактами (SSR або контактори) для включення/відключення електродної секції, циркуляційним насосом (якщо є), вентилятором (при повітряному теплообміннику), індикацією стану та аварійних сигналів.

Усі силові кола мають захисні пристрої: автоматичний вимикач, УЗО, тепловий реле (якщо застосовуються ТЕНи в допоміжних контурах), запобіжники швидкої дії для захисту від перевантажень.

Комунікаційний модуль (RS-485 / Ethernet / Wi-Fi / GSM) зв'язується з вищестоячою системою моніторингу/SCADA або мобільним додатком.

Живлення контролера та периферії забезпечено стабільним джерелом 5 В/3.3 В (з перетворювача з мережі 220 В), відокремленим від силової частини для зменшення перешкод.

Загальний захисний корпус із необхідним ступенем захисту (IPxx) та вентиляцією [16].

2.2. Розробка схеми електричної принципової

Нижче наведено покроковий опис кожного функціонального блоку принципової схеми (рисунок 2.2) з конкретними посиланнями на елементи:

1. Вхід живлення 230 В АС — високовольтне коло починається з основного запобіжника F1 і варистора RV1 для захисту від стрибків напруги.

2. Понижувальний трансформатор TR1 — з трансформатора зі співвідношенням обмоток 230:12 В отримується низьковольтна напруга для вторинного кола.

3. Випрямний міст VD4 (КВР 305) — чотири діоди зібрані у міст для перетворення змінного струму в пульсуючий постійний.

4. Фільтрація (C2 = 1000 μ F, C3 = 100 μ F) — електролітичні конденсатори згладжують пульсації випрямленої напруги.

5. Стабілізатор напруги DA2 (LM7805) — лінійний стабілізатор формує +5 В для мікроконтролера DD1 та периферії.

6. Контроль живлення — світлодіод HL1 із обмежувальним резистором R8 індикує наявність вторинної напруги.

7. Мікроконтролер DD1 (ATmega328P) — використовується 28-вивідний корпус TQFP; живлення подається на VCC (pin 7) і AVCC (pin 20), земля — на GND (pin 8, 22).

12. Дисплейний інтерфейс (XS1) — роз'єм з пінами CLK, DATA, LATCH підключає 4-розрядний семисегментний індикатор. Лінії RG_DATA (PD5), RG_CLOCK (PD6) і SEG1–SEG7 (PC0–PC6) зібрані в роз'єм XS1.

13. Програмування та налагодження (XS7) — конектор ISP (MOSI, MISO, SCK, RESET) забезпечує прошивку мікроконтролера через програматор.

14. Захисні елементи й фільтри. На кожному сигнальному вході розміщені захисні резистори (R5, R6) та діоди TVS для запобігання перенапругам.

Таким чином, кожен підсистема схеми чітко відокремлена: блоки живлення забезпечують стабільну напругу, мікроконтролер із периферією обробляє сигнали та керує виконавчими елементами, а інтерфейси кнопок, сенсорів і індикації виконані за допомогою стандартних RC-фільтрів, транзисторних ключів та багаторозрядних LED-модулів. Така модульна організація полегшує налагодження, заміну компонентів і масштабування системи [17]:

– для керування чотирма семисегментними індикаторами застосовано драйвер MAX7219, що послідовно передає дані через лінії DIN, CS і CLK, забезпечуючи оновлення одного дисплея за іншим;

– ISP-роз'єм із 6 контактами (MOSI, MISO, SCK, RESET, VCC, GND) призначений для прямого підключення програматора USBasp до ATmega328P;

– послідовний інтерфейс UART реалізовано на виводах PD0 (RXD) і PD1 (TXD) для обміну даними з GSM-модулем, а I²C — на PC4 (SDA) та PC5 (SCL) для підключення датчика температури DS18B20;

– на вході мережі 230 V AC встановлено автоматичний вимикач 2 A та варистор MOV-14D471K для гасіння імпульсних перенапруг від грозових розрядів;

– захисні діоди 1N4148 розташовано на цифрових входах для запобігання зворотному струму у випадку високовольтних завад;

– у ланцюзі аварійного відключення змонтовано реле SRD-05VDC-SL-C із нормально-замкненими контактами, яке розмикає живлення ключових вузлів при спрацьовуванні вбудованого датчика протікання;

– на шинах +12 V і +5 V встановлено електролітичні конденсатори 100 μ F і керамічні конденсатори 0,1 μ F для згладжування пульсацій і підвищення стабільності напруги;

– модульні клемники Phoenix Contact, пронумеровані XS1...XS8, використовуються для підключення зовнішніх пристроїв та полегшення сервісного обслуговування.

Всі роз'єми пронумеровано відповідно до функціональних груп, що значно пришвидшує монтаж і налагодження системи. Через оптопари PC817 і транзисторні ключі 2N2222 відбувається керування силовими навантаженнями, такими як насоси та нагрівачі, при цьому захищаючи мікроконтролер від високовольтних імпульсів. Інтеграція цих підсистем у єдину схему формує комплексну автоматизовану архітектуру з чітким розподілом відповідальностей. Далі буде наведено докладний розбір кожного функціонального блоку та аргументацію вибору конкретних компонентів.

Блок живлення

Для живлення застосовано однофазну мережу змінного струму 230 V AC, 50 Hz. На вході встановлено автоматичний вимикач Schneider iC60N C2 (2 A), що захищає від короткого замикання та перевантаження, а для котушки контактора передбачено окремий автоматний вимикач на 10 A.

Параметри автоматів визначаються сумарним струмом споживання: до 2 A — для низьковольтного блоку живлення, до 10 A — для силових

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	26
		№ докум.	Підпис			

навантажень, а у випадку спільного вводу встановлюється головний автомат на 16 А.

У первинному колі інтегровано варистор Bourns MOV-14D471K з номінальною напругою 275 VAC для гасіння імпульсних перенапруг, спричинених грозовими розрядами.

На схемі позначено трансформатор TR1 типу EI-66 230/12 V AC, 1 А, який живить випрямний міст і подальшу низьковольтну частину. Вторинна обмотка TR1 розрахована на 12 V AC RMS, що після випрямлення дає приблизно 17 V DC для подавання на лінійний стабілізатор. Класичний понижувальний трансформатор із гальванічною ізоляцією гарантує безпечне розділення високої та низької напруги, хоча його вага і габарити більші за імпульсні блоки живлення (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 Трансформатор живлення

Для забезпечення живлення контролера ATmega328P та периферії було обрано трансформаторну схему завдяки її простоті, надійності та відсутності електромагнітних завад.

У проєктах із малим енергоспоживанням (до 10 W) зазвичай достатньо трансформатора потужністю 5–10 W, що забезпечує запас по струму для короткочасних пікових навантажень.

Альтернативою служить імпульсний AC-DC модуль Mean Well MDR-20-12 без гальванічної ізоляції, застосовуваний у випадках, коли ізоляція забезпечується іншим чином або не є критичною.

Вибір між трансформаторною і імпульсною схемою базується на вимогах до безпеки, габаритів, ефективності та вартості обладнання.

Випрямлення і фільтрація

Випрямлювальний міст виконано з чотирьох діодів у містовій конфігурації для забезпечення повнохвильового випрямлення змінного струму. Діоди підбираються з урахуванням максимальної пікової напруги на вторинній обмотці трансформатора, яка при 12 V AC RMS досягає близько 17 V DC перед конденсаторами. Для гарантування надійності компонентів застосовуються діоди зі зворотною напругою не менше ніж 50 V і допустимим струмом, що перевищує пікове значення після фільтрації. Містова схема формує стабільну позитивну напругу, необхідну для подальшого стабілізованого живлення. У якості еталонних компонентів використовуються діоди серії 1N4007 (1 A, 1000 V) (рисунок 2.4), а за підвищеного струму – силові діоди типу 1N540x (3 A, 100 V). Критерієм вибору конкретного типу діода є максимальний струм випрямлення, характерний для даної системи.

Після випрямлення встановлюються електролітичні конденсатори для значного зниження амплітуди пульсацій. Ємність фільтруючих конденсаторів розраховується таким чином, щоб зберігати пульсації в межах, допустимих

для стабілізатора. Наприклад, при струмі навантаження 100–200 мА доцільно застосувати конденсатор ємністю 1000 μF , розрахований на робочу напругу 25 V.



Рисунок 2.4 - Випрямлювальний діод 1N4007

Формула для обчислення пульсації напруги має вигляд $\Delta V \approx I_{\text{load}} / (f_{\text{rectified}} \cdot C)$. При частоті випрямлення 100 Hz, навантаженні 200 мА і $C = 1000 \mu\text{F}$ значення пульсації становить приблизно 2 V, що є прийнятним, якщо стабілізатор здатний працювати при вхідній напрузі не менше 10 V. У разі збільшення струму навантаження рекомендується нарощувати загальну ємність фільтрів або додавати паралельні конденсатори.

Для формування стабільної напруги живлення застосовується або лінійний стабілізатор (наприклад, L7805, зображення якого наведено на рисунку 2.5), або імпульсний DC–DC перетворювач.

Якщо сумарне споживання контролера та периферії не перевищує 200–300 мА, вибір 7805 є економічно та технічно виправданим. Однак при струмі навантаження, що перевищує ці межі, використання лінійного стабілізатора призводить до значних теплових втрат і потребує переходу на імпульсний конвертер із вищим ККД. Мінімальна різниця між вхідною та вихідною

напругою стабілізатора повинна становити 2–3 V для коректного регулювання. Якщо випрямлена напруга сягає 17 V, при струмі 200 мА лінійний стабілізатор розсіюватиме до 2,4 W тепла, що є значним навантаженням. Як альтернативу лінійній схемі розглядаються трансформатори з меншим виходом вторинної напруги (9 V AC \rightarrow \approx 12,7 V DC) або імпульсні стабілізатори.

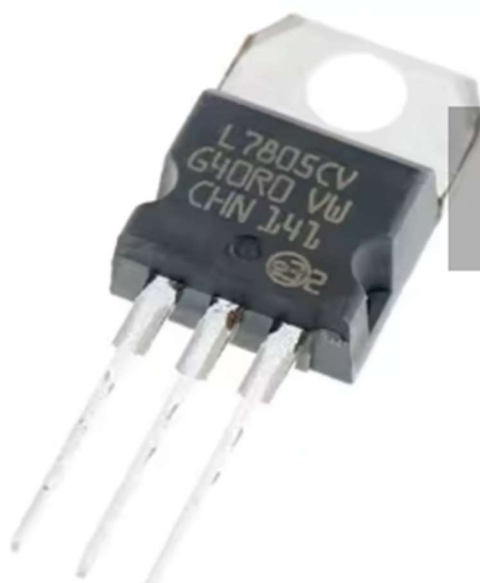


Рисунок 2.5 – Стабілізатор напруги L7805

На вході та виході стабілізатора рекомендується встановлювати електrolітичні та керамічні конденсатори для запобігання самозбудженню та коливанням. Для захисту стабілізатора від перевантажень використовується внутрішній тепловий захист або інтегрований запобіжник. Додатковий запобіжник номіналом 500 мА–1 А встановлюється в низьковольтному колі задля захисту від коротких замикань, що також убезпечує трансформатор від перевантаження на вторинній стороні у випадку КЗ у схемі контролера чи периферії.

Трансформатор TR1 є класичним понижувальним із гальванічною ізоляцією, що підвищує електробезпеку системи. Вторинна напруга TR1, у діапазоні 9–12 V AC, визначається специфікаціями наступного стабілізатора. Потужність трансформатора вибирається з урахуванням пікових струмів, які можуть виникати при одночасному завантаженні декількох споживачів.

Діодний міст VD4 є універсальним рішенням для випрямлення, з діодами, підібраними з урахуванням допустимого струму та напруги. Конденсатори C2 і C3 мають ємність, розраховану на передбачуване навантаження та з робочим запасом напруги щонайменше 25 V для отримання 12 V AC. Стабілізатор DA2 обирається між лінійною схемою та DC–DC перетворювачем залежно від вимог до струму навантаження. Запобіжник і первинні захисні елементи (варистор) гарантують захист від імпульсних перенапруг та продовжують термін служби трансформатора й усієї схеми [18–20].

Мікроконтролерний блок

Схема містить три цифрові входи, призначені для підключення кнопок SB1–SB3, чотири окремі входи для дискретних датчиків рівня або безконтактних сенсорів, а також два аналогові входи ADC для термісторних датчиків NTC. На виході передбачено транзисторний ключ VT1 із резистором R7 для управління навантаженням до 500 mA, два індикаторні світлодіоди LED1 та LED2 із обмежувальними резисторами 330 Ω і восьмибітну шину сегментного дисплея, під'єднану через лінії SEG0...SEG7 і загальну шину DIG.

Для керування багатосегментним індикатором передбачено апаратний інтерфейс SPI (лінії MOSI, SCLK та SS) або I2C (SDA, SCL), залежно від версії плати, що дозволяє використовувати зсувні регістри 74HC595 або I²C LED-драйвери.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	31
		№ докум.	Підпис			

У конструкції передбачено UART-інтерфейс (TX, RX) для програмування та налагодження прошивки через зовнішній програматор, а також додатковий порт I2C/SPI для підключення модулів розширення (датчики температури з інтерфейсом 1-Wire або OLED-дисплеї).

MCU обирається залежно від необхідної кількості портів і швидкодії: наприклад, ATmega328P із 23 GPIO достатня для базової версії (рисунок 2.6).

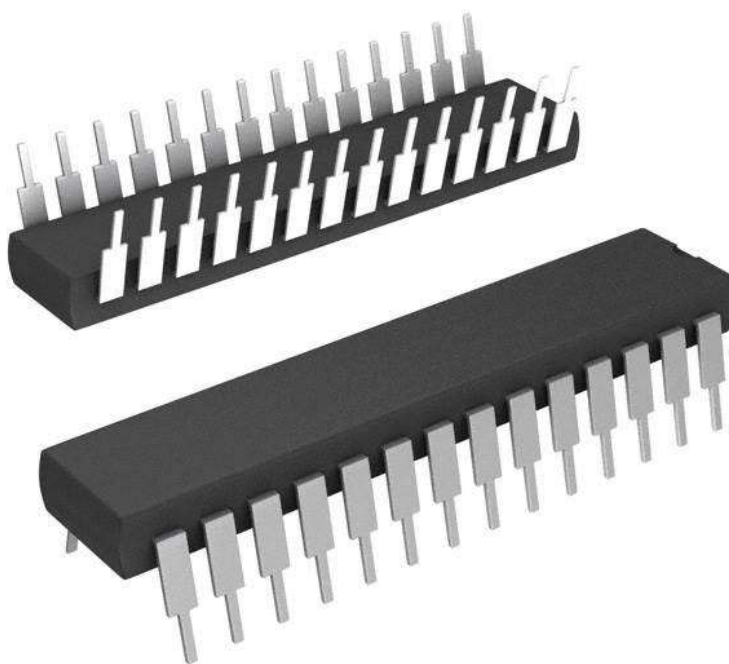


Рисунок 2.6 – Вигляд мікроконтролера ATmega328P

При наявності термісторних датчиків використовується модуль ADC із розрядністю не менше 10 біт для забезпечення мінімальної похибки $\pm 0,1$ °C, а точність шунтового діодного стабілізатора на вході MCU утримує рівень опору резисторного дільника в межах 0,1 %.

Обсяг флеш-пам'яті вибирається з урахуванням розміру прошивки: для реалізації меню, обробки даних і підтримки протоколів зв'язку необхідно не

менше 32 КБ Flash і 2 КБ RAM; для складніших алгоритмів рекомендується 64–128 КБ Flash і 8–16 КБ RAM.

Живлення MCU здійснюється від стабілізатора 5 V або 3,3 V, з урахуванням логічного рівня периферійних компонентів: 5 V спрощує підключення LED і транзисторів, 3,3 V знижує енергоспоживання.

Якщо вхідні або вихідні сигнали пов'язані з високою напругою чи електричним шумом (наприклад, керування котушкою 230 V AC), застосовуються оптронні розв'язки (типу PC817) для захисту мікроконтролера від імпульсних перенапруг.

Вихідні лінії:

– OUT_DRIVER реалізовано як вихід, що через резистор R7 (4,7 к Ω) підключено до бази NPN-транзистора VT1, емітер якого з'єднано з GND, колектор — через оптопару або котушку реле до відповідного джерела живлення (+5 V DC для реле або +230 V AC через оптротріак). Для захисту VT1 від зворотної електромоторної сили передбачено Flyback-діод, включений паралельно котушці реле або оптопарі;

– OUT_LEDx організовано як виходи для світлодіодних індикаторів через обмежувальні резистори 330–1 к Ω , підключені до +5 V або до GND;

– OUT_DISPLAY виконано у вигляді сигнальних ліній (RG_DATA, RG_CLOCK та сегментні лінії) для керування семисегментним дисплеєм з обов'язковим застосуванням обмежувальних резисторів для LED-сегментів.

Для передачі даних дисплей підключено по I2C (SCL/SDA з підтягуванням до Vcc) або по SPI (MOSI/SCK/SS) залежно від обраного інтерфейсу.

Транзисторний ключ VT1

NPN-транзистор обрано для керування реле: у малопотужних схемах використовується 2N2222 (струм колектора до 100 мА), у випадку вищих струмів — потужніший аналог (рисунок 2.7)

База транзистора через резистор R7 (4,7–10 кΩ) з'єднана з виходом мікроконтролера, при цьому значення R7 розраховано так, щоб базовий струм забезпечував необхідний колекторний струм ($I_b \approx I_c/h_{FE}$).

Емітер транзистора підключено до загальної шини GND.

Колектор транзистора з'єднано з однією клемою котушки реле або виходом оптопари, друга клемка котушки підключена до джерела живлення (+5 V DC або іншої номінальної напруги).



Рисунок 2.7 - Транзистор 2N2222

Паралельно котушці встановлено flyback-діод (наприклад, 1N4148 або 1N4007) для придушення індуктивних імпульсів при вимкненні і захисту транзистора від зворотної ЕРС.

Транзисторна схема забезпечує електричну розв'язку між логічним рівнем мікроконтролера (5 V) та живленням реле, підвищує енергоефективність і знижує вартість реалізації.

При керуванні котушками з високою напругою (230 V AC) застосовуються оптосимістори, що гарантують гальванічну ізоляцію та безпеку MCU.

Оптопара (VD3)

Оптопари з вихідним фототріаком обрано для керування високовольтною котушкою через транзисторну схему на 5 V, що забезпечує гальванічну ізоляцію, захист MCU та придушення електромагнітних перешкод.

Захисні діоди (VD1, VD2, VD5 тощо)

Застосовано захисні діоди на входах кнопок і сигналів для обмеження напруги в межах безпечного діапазону та запобігання перенапруг і електромагнітних імпульсів.

В якості антидребезгового й шумозаглушувального рішення інтегровані RC-фільтри (резистор + конденсатор) на довгих дротових лініях.

На входах аварійних сигналів передбачено підтягувачі 10 к Ω для уникнення “плаваючих” станів.

Для світлодіодної індикації встановлено обмежувальні резистори 330–1 к Ω , підібрані відповідно до кольору та рівня яскравості.

Резистор-подільник з фіксованим опором ≈ 10 к Ω використано з метою отримання оптимального діапазону напруги на ADC, мінімізації шумів і захисту портів MCU [21-25].

Обґрунтування вибору мікроконтролера та інтерфейсних елементів

Обрано MCU з достатньою кількістю цифрових і аналогових портів, з урахуванням кількості кнопок, індикаторів, датчиків та вихідних сигналів для керування реле. Для невеликої системи застосовано ATmega328P з 23 I/O та 6 каналами ADC. В якості транзисторних ключів використовуються NPN-транзистори через їх дешевизну та простоту підключення, при високих струмах застосовуються MOSFET з низьким $R_{ds(on)}$. Для гальванічної ізоляції від мережі 230 V впроваджено оптопари, при цьому для керування котушками контакторів АС використовуються фототріаки серії МОС або опто-реле. Захисні функції реалізовано за допомогою діодів 1N4148, 1N4007 або Шотткі, які забезпечують недорогу та доступну охорону від перенапруг. На входах встановлено RC-фільтри для придушення шумів. Усі резистори й конденсатори вибрано у стандартних типорозмірах. Живлення MCU організовано через лінійний стабілізатор 7805 при струмі споживання до 200 мА. Для вищих навантажень застосовано DC-DC модуль з ККД 80–90 %. Клемні колодки XSx мають стандартні модульні DIN-рейкові розміри для спрощення монтажу та обслуговування. Дисплей підключено через шинний інтерфейс (SPI, I2C) або прямі сегментні лінії. За схемою RG_DATA і RG_CLOCK реалізовано послідовне керування зсувними регістрами (74HC595) для індикації 7-сегментних LED. Такий підхід забезпечує економію портів MCU. Для індикації використовується мультиплексований режим з обмеженням струму через резистори. Частоту мультиплексування підібрано для усунення видимого мерехтіння. Програмування здійснюється через стандартні інтерфейси ISP (для AVR) або SWD (для STM), для яких на платі передбачено відповідні роз'єми.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	36
		№ докум.	Підпис			

Вхідні сигнали та їх обробка

Кнопки SB1, SB2, SB3 підключаються до цифрових входів MCU. Стандартна схема: внутрішній pull-up, кнопка замикає вхід на GND. При натисканні рівень спадає до нуля, MCU фіксує подію.

Для антидребезгу можуть використовуватися програмні алгоритми (таймери) або апаратні RC-фільтри: резистор $\sim 10\text{ k}\Omega$ + конденсатор $\sim 0.1\text{ }\mu\text{F}$.

Захисні діоди (VD1, VD2) можуть бути розміщені для захисту від імпульсних напруг, якщо дроти кнопок довгі. Діод шунтує надлишкову напругу, оберігаючи порт MCU від перенапруг. Що дозволяє забезпечити надійне спрацювання та захист портів MCU від стрибків. Внутрішні підтягувальні резистори MCU заощаджують зовнішні компоненти, але зовнішні резистори додають більшу стійкість до завад.

Сигнали від зовнішніх пристроїв через клемники XS3, XS4, XS5 поступають через ці роз'єми і можуть надходити від датчиків або інших модулів. Підключається через RC-фільтри, захисні діоди та подтягувальні резистори до входу MCU.

Якщо сигнал високовольтний (більше 5 V), застосовують оптопари або деліткові схеми з діодами та резисторами, щоб привести до рівнів MCU.

Захисні діоди, RC-фільтри, підтягувальні резистори встановлюють паралельно входу до Vcc/GND (двонаправлений захист) обмежують напругу $\pm 0.3\text{ V}$, захищаючи внутрішні ESD-структури MCU.

RC-фільтри: розрядність дребезгу кнопок, стрибки сигналів від довгих дротів; наприклад, $R=10\text{ k}\Omega$, $C=0.1\text{ }\mu\text{F}$ фільтрують у діапазоні декількох кГц.

Підтягувальні резистори внутрішні або зовнішні ($10\text{ k}\Omega$) забезпечують визначений рівень на вході при відсутності сигналу та створюють стабільне, надійне середовище для зчитування вхідних сигналів без шумів і перенапруг.

Сигнали з зовнішніх пристроїв через клемники XSx

Кожний роз'єм XSx позначено на схемі з номерами виводів. Наприклад, XS3 — вхід зовнішнього перемикача або датчика. Кабелі до цих роз'ємів маркуються, на схемі вказано від/до які сигнали йдуть.

Вхідні сигнали можуть вимагати перекомпонування напруг (наприклад, рівень 12 V перетворюється за допомогою резистивного дільника + діода на 5 V MCU). Через клемники легко підключати / відключати зовнішні пристрої без пайки.

Захисні діоди, RC-фільтри, підтягувальні резистори

Пояснення наведене вище: забезпечують надійне зчитування, захищають від перенапруг, шумів, ESD. Якщо потрібно, біля входів можуть стояти TVS-діоди для сильніших імпульсів. У разі високошумних середовищ (багато індуктивних навантажень навколо) — використання оптопар для розв'язки входів.

Вихідні сигнали та їх реалізація

Транзисторні ключі (VT1, R7, оптопари VD3) VT1: NPN-транзистор як ключ:

- база через R7 (4.7–10 kΩ) від виходу MCU;
- емітер на GND;
- колектор до одного з виводів котушки реле або через оптопару до котушки контактора;
- Flyback-діод паралельно котушці.

Оптопара VD3: якщо навантаження потребує гальванічної ізоляції (наприклад, котушка контактора, що живиться від 230 V AC), MCU через транзистор керує оптопарою (наприклад, фототранзистор або фототріак), яка, у свою чергу, вмикає силовий пристрій.

Реле/контактор: силове навантаження перемикається реле або контактором. Реле з котушкою відповідно до живлення (5 V DC, 12 V DC або 230 V AC через оптрореле).

транзистор + оптопара забезпечують надійність, простоту керування з логічного рівня MCU, безпечну ізоляцію від високоенергетичних кіл. Більш потужні навантаження можна керувати MOSFET-ключами або твердотільними реле (SSD), але транзистор+реле — найбільш універсальний і дешевий варіант для середніх струмів.

Керування зовнішніми навантаженнями (реле, контактори)

Реле насоса або інших невеликих пристроїв: котушка 5–12 V DC керується безпосередньо транзисторним ключем. Контакти реле керують струмами до 5–10 А (типова категорія).

Контактор для великих навантажень: якщо система керує потужними об'єктами (нагрівальні елементи, великі двигуни), потрібно контактор з котушкою 230 V AC або 24 V DC. MCU не може безпосередньо живити котушку 230 V — потрібна оптопара + проміжне реле або опто-тріак.

Застосування контактора дає надійне розривання силового кола під високим струмом, а транзистор + оптопара забезпечують безпечну низьковольтну логіку.

Індикаційні елементи (LED, семисегментні модулі через роз'єми XS1, HG1) (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 - 7-сегментний 4-цифровий індикатор

LED-індикатори (VD1–VD3):

1. Підключаються через резистори (330–1k Ω) до виходів MCU.
2. Колір LED вказує на статус (наприклад, зелений — режим роботи, жовтий — очікування, червоний — аварія).

Семисегментні модулі:

1. Можуть бути підключені через роз'єми (XS1) з лініями RG_DATA, RG_CLOCK та сегментними лініями SEG1–SEG6, LED1, LED2. Це вказує на використання здвигового регістра (shift register) або драйвера LED-індикаторів (наприклад, MAX7219 чи власні регістри 74HC595).

2. Мультиплексування: сегменти керуються послідовно для кількох розрядів, при цьому лінії DIGx активуються по черзі, а лінії сегментів задають потрібні цифри.

3. Резистори обмеження струму на сегментах окремі.

Для індикації числових значень (температури, часу, номер режиму) використовуються семисегментні індикатори з керуванням через здвигові регістри, що економить порти MCU.

Дисплей (якщо є): може бути LCD з інтерфейсом I2C чи SPI. Підключення через SDA/SCL або MOSI/SCK. Обґрунтування: відображення текстових повідомлень, меню, дозволяє гнучко інформувати користувача.

Обґрунтування вибору вихідних ключів і оптопар

Транзисторні ключі: дешеві, популярні, прості в реалізації, підходять для керування котушками реле з малим чи середнім струмом. MOSFET-ключі: застосовують при необхідності вищого струму або низького втрат; проте потребують відповідних драйверів для затвору (залежно від напруги затвору).

Оптопари: обов'язкові при роботі з високою напругою (230 V AC) для ізоляції від небезпечних рівнів; також мінімізують шуми від високовольтних кіл. У схемі присутні оптопари VD3/VD2, що вказує на ізоляцію керування силовим навантаженням від низьковольтного MCU. Flyback-діоди: захищають транзистор від індуктивного зворотного імпульсу при відключенні котушок реле.

Вибір конкретних компонентів (наприклад, серії транзисторів, тип оптопари) базується на потрібному струмі навантаження, швидкості перемикання і вартості.

2.3. Рекомендації по збиранню та налагодженню пристрою

Мікроконтролер і логічні схеми: розміщені на друкованій платі із зручним доступом до програмувального роз'єму, кнопок і LED, захищені від сторонніх впливів.

Блок живлення: трансформатор і стабілізатор на окремому модулі або частині плати, з достатнім відстоєм від логічних кіл, щоб мінімізувати шуми.

Транзисторні ключі і оптопари: на платі контролера або окремому модулі стилю “драйвер реле”.

Трасування, підбір перетинів кабелів

Силові кабелі: перетин обрано згідно струму навантаження з запасом (щонайменше на 30% вище очікуваного струму) для запобігання перегріву. Необхідно враховувати довжину кабелю та падіння напруги.

Сигнальні кабелі: 0.5–0.75 мм², екрановані, якщо є ризик наведень.

Трасування: силові і сигнальні кабелі розділяють у різні канали, перетинаються під прямим кутом у разі необхідності. Дроти повинні бути достатньої довжини для зручного монтажу, але без надлишків, щоб не створювати зайвих петель, які збільшують шум.

Фіксація: кабелі кріпляться до шафи стяжками, пазами, дотримуючись гідності і безпеки.

Обґрунтування: коректне трасування запобігає шумам і механічним ушкодженням, забезпечує надійність у довгостроковій експлуатації.

Тестування і налагодження

Окреме тестування блоку живлення: перевіряють вихідну напругу під навантаженням (MCU-плата підключена, але без основних навантажень). Перевірка стабільності, пульсацій, нагрівання трансформатора та стабілізатора.

Перевірка живлення MCU: без підключення периферії перевіряють, чи MCU завантажується, реагує на прошивку, чи працює UART.

Тестування входів: підключають кнопки, перевіряють зчитування на MCU, антидребезг.

Тестування виходів керування реле: перевіряють транзисторний ключ, оптопару без приєднання силового навантаження; заміряють струм через котушку, перевіряють наявність flyback-імпульсів.

Тест індикації: перевіряють керування дисплеєм або семисегментами, коректність мультиплексування, яскравість, читабельність.

Інтеграційне тестування: підключають силові навантаження (реле, контактор) безвідповідних зовнішніх пристроїв, перевіряють алгоритми в MCU (наприклад, у разі натискання кнопок, зміни станів датчиків).

Тест аварійних кіл: навмисно запускають аварійну ситуацію (наприклад, імітують спрацьовування термостата), перевіряють як апаратне, так і програмне відключення навантаження.

Перевірка ЕМІ/ЕМС: якщо система чутлива до шумів або працює поруч із потужними індуктивними навантаженнями, перевіряють, чи спадання сигналів коректне, чи немає випадкових спрацьовувань. Додають RC-фільтри, екранування за потреби.

Фінальне тестування: перевірка системи під реальним навантаженням, під різними сценаріями роботи, оцінювання стабільності.

Розроблено принципову електричну схему, виділено її основні функціональні підсистеми: блок живлення, мікроконтролерний блок, схеми входів і виходів, індикацію, захист та клемні колодки. Надано обґрунтування вибору ключових елементів: трансформатора та стабілізатора живлення, мікроконтролера з певними характеристиками портів та ADC, транзисторних ключів із flyback-діодами, оптопар для гальванічної ізоляції, захисних діодів і RC-фільтрів для стабільного зчитування вхідних сигналів, схем індикації через здвигові регістри або драйвери сегментних індикаторів, клемні колодки для модульності. Описані практичні аспекти реалізації: компонування плати й шафи, вибір перетинів кабелів, трасування, тестування та налагодження. Приділено увагу питанням безпеки: первинний і вторинний захист живлення, захист MCU від перенапруг, апаратні аварійні кола, екранування та ін.

2.3 Висновки до другого розділу

Розроблено структурну схему автоматизованої системи керування електродним котлом, що включає контролер, датчики температури й рівня води, виконавчі елементи (контактори/SSR) та інтерфейс користувача.

Принципова електрична схема містить необхідні захисні елементи: автоматичний вимикач, УЗО, термозапобіжник, ЕМІ-фільтри та гальванічну розв'язку сигналів.

Обрано мікроконтролер STM32F103 завдяки достатнім ресурсам ADC, UART та підтримці бібліотек, що забезпечує надійність і можливість подальшого розширення функціоналу.

Температурні датчики PT100 через інтерфейс MAX31865 та NTC датчики забезпечують точний контроль температури, поплавковий датчик гарантує захист від роботи без води.

Виконавчі ланки реалізовано через силові контактори Schneider із котушками, керовані транзисторною ланкою від контролера, що дозволяє безпечно комутувати високі струми електродів.

Інтерфейс користувача представлено LCD 20×4 та енкодером, що забезпечує зручність налаштування і моніторингу параметрів котла, а LED і звуковий сигналізатор інформують про аварійні стани.

Додано комунікаційний модуль RS-485 для інтеграції з SCADA або будинковою системою, а також можливість підключення Wi-Fi-модуля для віддаленого моніторингу.

Складання схеми з урахуванням гальванічної ізоляції, екранування кабелів та розділення низьковольтної й силової частин підвищує стійкість до електромагнітних перешкод.

Розглянуто питання резервування та надійності: апаратний watchdog, збереження стану, дублювання критичних входів, тестування на ЕМС.

Отримана схема відповідає технічним умовам та нормативам безпеки, забезпечує ефективне й безпечне керування однофазним електродним котлом із можливістю подальшого розширення функціоналу.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			46

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1. Блок-схема алгоритму роботи

Початкова ініціалізація: при включенні живлення виконується перевірка працездатності контролера (self-test), ініціалізація ADC, GPIO, UART/I2C/SPI, індикація готовності на LCD («Готово»). Запускається апаратний watchdog.

Перевірка аварійних станів на старті: читаються датчики рівня води та температури корпусу, перевіряється наявність води; якщо не виконано умови безпеки, на дисплеї виводиться повідомлення «Додати воду» або «Перегрів», виконується блокування запуску і звучить аварійний сигнал.

Вибір режиму роботи та налаштування: користувач встановлює бажану температуру теплоносія (сетпоінт) за допомогою енкодера; за потреби активується дистанційний режим через комунікаційний інтерфейс. Збереження налаштувань у EEPROM.

Основний цикл керування повинен виконувати наступні дії:

– зчитування поточного значення температури ($T_current$) із датчика PT100/NTC.

– обчислення помилки: $\Delta T = T_setpoint - T_current$.

– виконання алгоритму регулювання (ПІД-контролер): обчислення керуючого сигналу U_ctrl (наприклад, інтервал включення/вимкнення секцій або ШІМ-коефіцієнт для SSR).

– формування керуючих команд: за результатом U_ctrl увімкнення/вимкнення відповідної кількості електродних секцій котла через контактори або керування SSR.

– затримка на час стабілізації після зміни стану (щоб уникнути частих перемикань).

– моніторинг рівня води: у кожній ітерації перевіряється датчик рівня; при виявленні низького рівня: негайне відключення живлення електродів, індикація аварії «Низький рівень» на дисплеї, звуковий сигнал.

– захист від перегріву: контролюється показник максимальної допустимої температури. При перевищенні аварійного порога: відключення котла, індикація «Перегрів», подальший запуск можливий тільки після охолодження та ручного підтвердження.

Контроль цілісності УЗО/заземлення: періодичні самотести або опитування статусу захисних пристроїв (де можливо), у разі спрацювання – блокування котла, індикація «Помилка УЗО».

Логування та індикація: запис подій аварій і значень температур у пам'ять (EEPROM/SD); відображення поточного стану (T_current, T_setpoint, режим, статус аварій) на LCD; можливість перегляду історії подій через меню або віддалено.

Комунікація: передача поточного стану (температура, рівень, режим) у вищестоячу систему через Modbus; прийом команд віддаленого користувача (наприклад, зміна setpoint).

Реакція на віддалені команди:

– у безпечних умовах (є вода, немає аварій) контролер оновлює сетпоінт або режим за командою віддаленого джерела;

– при некоректних командах – ігнорує й повідомляє про це;

– регулярне оновлення watchdog: забезпечення робочого стану ПЗ;

– очікування події «виключити живлення»: при вимиканні живлення або команді користувача – перехід у безпечний стан: відключення всіх виконавчих елементів, збереження налаштувань, індикація «Завершено».

Періодичний самотест (опціонально в режимі готовності): перевірка працездатності датчиків;

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	48
		№ докум.	Підпис			

Режим технічного обслуговування: через меню – калібрування датчиків, перевірка контактів, запис тестових значень;

Аварійні сценарії: при виявленні невідповідності показань (наприклад, розрив датчика) – блокування котла, індикація «Помилка датчика», звуковий сигнал, запис у лог і очікування ручного втручання [31].

3.2. Опис етапів алгоритму

Ініціалізація гарантує:

– коректне налаштування периферії контролера перед початком роботи, виявлення апаратних несправностей;

– перевірка безпеки на старті: запобігає небезпечному включенню котла без води або з перегрівом;

– вибір набору параметрів: дає змогу користувачу адаптувати роботу котла під конкретні умови опалення;

– ПІД-регулювання: забезпечує стабільне підтримання температури з мінімальними коливаннями, економить електроенергію, запобігає частим перемиканням;

– ітераційна перевірка рівня води: найважливіший захист при електродному нагріві, адже робота без води може призвести до аварії або пошкодження обладнання;

– захист від перегріву: контроль температури захищає від небезпечних значень і подовжує ресурс матеріалів;

– логуювання: дає змогу аналізувати ефективність роботи, розслідувати аварії;

– комунікація та віддалене керування: відповідає сучасним вимогам «розумного будинку» та централізованого енергоменеджменту;

– аварійне відключення: швидке реагування на критичні події забезпечує безпеку користувача та обладнання;

Технічний режим: забезпечує зручність налаштування й діагностики без демонтажу обладнання. Блок схема алгоритму наведена на рисунку 3.1.

Дана блок-схема ілюструє алгоритм управління опалювальною системою з урахуванням зовнішньої температури та заданих параметрів. Спочатку виконується ініціалізація, під час якої задаються користувачем необхідні параметри опалення (бажана температура у приміщенні, граничні значення тощо) та первинні умови старту системи (поточний режим роботи, початкові значення внутрішньої температури тощо). Після цього розпочинається безперервний цикл, у рамках якого відбувається зчитування показів зовнішніх датчиків температури (блок “Зчитування зовнішніх датчиків температури”). Цей крок позначено маркером ③ і повторюється з визначеною періодичністю для забезпечення актуальності даних про навколишнє середовище. Далі виконується порівняння поточної зовнішньої температури із заданим опалювальним порогом. Якщо температура опустилася нижче встановленого значення, система формує команду «Включити пускач» для ввімкнення нагрівального елемента або циркуляційного насоса. У разі, коли температура не досягла критичного мінімуму, алгоритм переходить до блока «Індикація температури», де на дисплеї або світлодіодних індикаторах відображається поточне значення температури й інші інформаційні параметри (наприклад, статус роботи пускачів або помилки датчиків). Після індикації виконується перехід до початку циклу знову через маркер ③ для повторного зчитування датчиків, що забезпечує постійну регуляцію температурного режиму приміщення. Така структура забезпечує простоту реалізації в мікроконтролерному середовищі та дозволяє гнучко налаштовувати інтервали опитування й порогові значення безперервної підтримки комфортної температури [32-36].

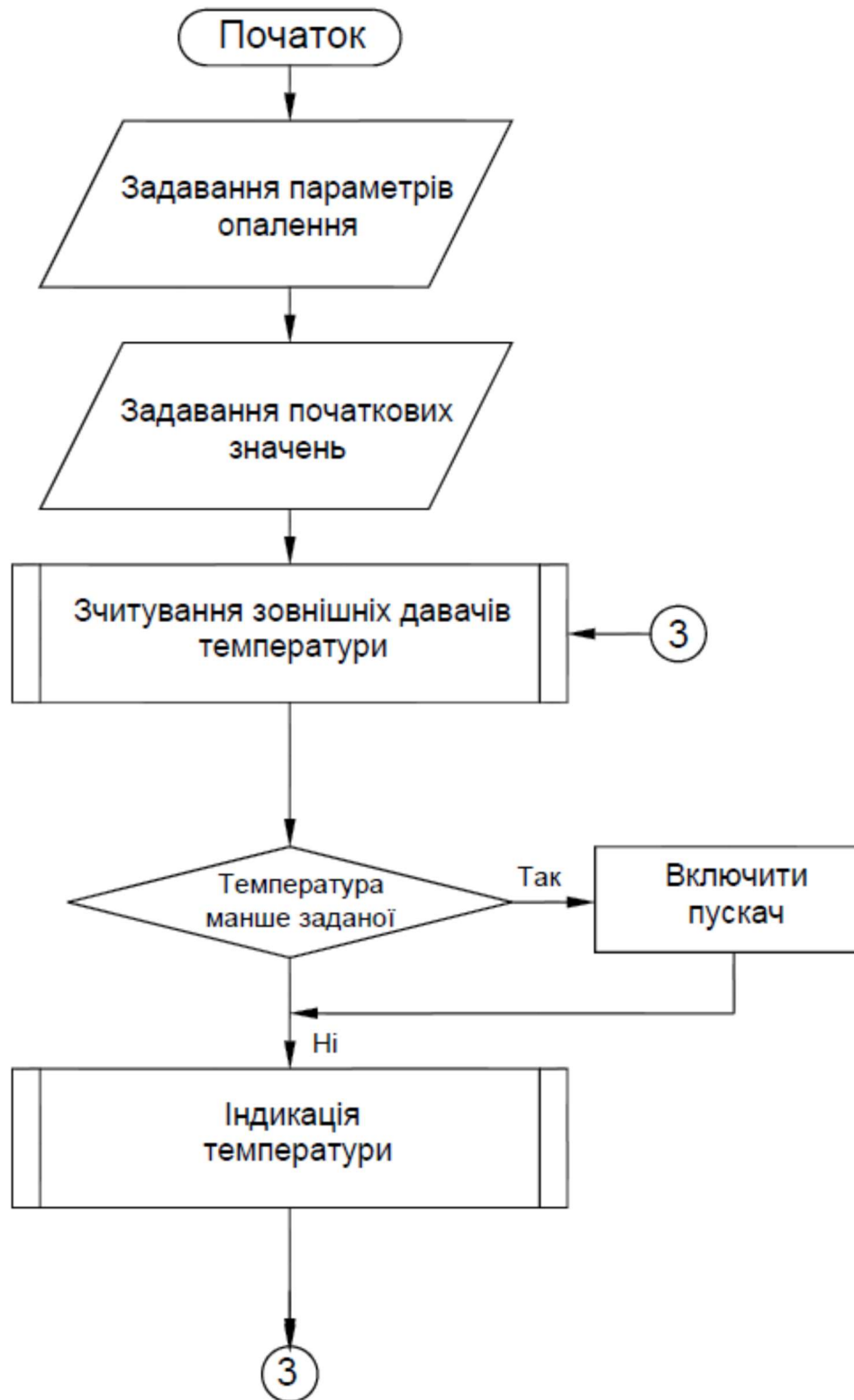


Рисунок 3.1 – Блок схема алгоритму

3.3. Практична реалізація прототипу

Опис макета: на основі корпусу, виготовленого з металевого чи ізолюваного пластику, змонтовано силові елементи (контактори, запобіжники), контролер на монтажній платі, датчики встановлено у відповідних точках котлового контуру.

Монтаж проводки: розділено силову та низьковольтну частини, застосовано гофровані труби/електрошкафи, позначено клемні з'єднання, використано щит DIN-рейки для модуля контролера й реле.

Підключення датчиків: PT100 закріплено на виході котла у гільзі, датчик рівня встановлено у бочці/резервуарі з водою (макет), заповнена вода відповідного складу (електропровідність).

Налаштування контролера: завантаження прошивки через USB або UART; калібрування датчиків (корекція коефіцієнтів у ПЗ); встановлення базових параметрів (мінімальний/максимальний setpoint, час затримок).

Тестування без навантаження: перевірка індикації, комунікації, логування; симуляція аварійних станів (відключення датчика рівня) й перевірка блокування.

Тестування з навантаженням: підключення макетного нагрівального елемента або реальної секції електродів у невеликому об'ємі води; вимірювання струму, температури, реакції на зміну сетпоінта; перевірка ПІД-алгоритму (стабілізація T);

Оцінка безпеки: перевірка спрацьовування УЗО, автоматичного вимикача, аварійного відключення; перевірка заземлення;

Налагодження комунікації: зв'язок з ПК або SCADA через RS-485; віддалений моніторинг температури й статусу;

Зроблено фото готового зібраного прототипу: внутрішній вигляд (плата контролера, дротові з'єднання, силові модулі) (рисунку 3.2) та зовнішній

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	52
		№ докум.	Підпис			



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд електроекотла

На передній панелі встановлено чотиризначний семисегментний LED-дисплей із червоним підсвічуванням, що розташований у верхній третині корпусу по центру. Він використовується для відображення поточної температури теплоносія, заданих параметрів і коду помилок. Безпосередньо під дисплеєм розташована гірлянда з трьох маленьких світлодіодів: зелений індикатор сигналізує про нормальний режим роботи, жовтий — про перехід у режим очікування чи нагріву до заданого значення, а червоний — про аварійні стани (низький рівень води, перегрів тощо). У середній частині панелі під світлодіодами розташовані три круглі тактильні кнопки управління: ліворуч — «Меню» або «Вибір режиму», посередині — «Плюс» для збільшення значення сетпоінта, праворуч — «Мінус» для його зменшення. Кнопки мають невеликий хід і чітке тактильне спрацьовування, що полегшує роботу в рукавичках або в умовах обмеженого освітлення.

З правого боку корпусу, на тій же висоті, що й кнопки, розташовано модуль автоматичного вимикача на 2 А (тип С). Його легко дістати для екстреного відключення живлення та проведення технічного обслуговування. Над вимикачем на бічній грані видно вихідний патрубок із різьбовим фітингом для підключення гідравлічного контуру. Ліворуч від нього — відповідний вхідний патрубок.

У нижній частині передньої панелі, ближче до лівого краю, розташовано кришку сервісного роз'єму ISP для програмування та налагодження мікроконтролера. Вона захована за невеликою пластиковою заглушкою-штовхачем, яка фіксується на двох гвинтиках. Безпосередньо під нею — вентиляційні отвори, що забезпечують охолодження внутрішніх компонентів.

Загалом розташування елементів індикації та керування відповідає ергономічним вимогам: дисплей і кнопки винесені на комфортну для зчитування та налаштування висоту, а силові елементи (автомат) — з одного боку, щоб не заважати основній панелі управління. Така конфігурація дозволяє швидко оцінити стан системи та оперативно змінити налаштування без відкриття корпусу.

3.4. Висновки до третього розділу

Прототип автоматизованої системи керування електродним котлом змонтовано та протестовано на макеті, що підтвердило працездатність розробленої схеми та алгоритму. Ініціалізація, калібрування датчиків і базові перевірки забезпечили коректний збір даних і відсутність помилкових спрацьовувань. ПДД-регулювання температури продемонструвало достатню стабільність T у заданому діапазоні з мінімальними коливаннями. Захисні механізми коректно реагували на симульовані аварії (низький рівень води, перегрів), забезпечуючи своєчасне відключення та індикацію помилки.

Інтерфейс користувача виявився зручним: LCD та енкодер дозволили швидко змінювати сетпоінти й переглядати поточні параметри. Комунікаційний модуль RS-485 продемонстрував надійну передачу даних до ПК/SCADA, а Wi-Fi-модуль (ESP8266) забезпечив можливість віддаленого моніторингу стану котла.

Монтаж із розділенням силової та низьковольтної частин і застосуванням екранів/фільтрів знизив електромагнітні перешкоди та виключив некоректні сигнали від датчиків. Внутрішня будова підтвердила правильність розміщення компонентів у корпусі з урахуванням безпеки та зручності обслуговування. Аналіз результатів тестування показав відповідність технічним умовам і стандартам безпеки та ефективність системи. Розроблена система може бути рекомендована для впровадження як рішення для автоматизації однофазних електродних котлів із подальшим удосконаленням і розширенням функціоналу.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	56
		№ докум.	Підпис			

ВИСНОВКИ

Проведена робота присвячена створенню автоматизованої системи керування однофазним електродним опалювальним котлом, що складається з трьох основних етапів: аналіз технології та існуючих рішень, розробка електричних схем і вибір компонентів, розробка алгоритму роботи з практичною реалізацією прототипу. У першому розділі здійснено детальний огляд принципу дії електродного нагріву, вимог безпеки та нормативів (IEC/DSTU), а також проведено аналіз існуючих аналогів і визначено ключові компоненти системи керування: контролер, датчики температури й рівня, виконавчі елементи та інтерфейси. Другий розділ містить структурну та принципову електричні схеми з обґрунтуванням вибору мікроконтролера STM32F103, датчиків PT100/NTC, поплавкового датчика рівня, силових контакторів Schneider, системи живлення й захисту (автоматичний вимикач, УЗО, ЕМІ-фільтри). Інтерфейс користувача реалізовано через LCD 20×4 та енкодер, а комунікаційні можливості – RS-485 і Wi-Fi для віддаленого моніторингу. У третьому розділі розроблено алгоритм роботи контролера: ініціалізація, перевірка безпеки, ПІД-регулювання температури, обробка аварій (низький рівень води, перегрів), логування, комунікація з SCADA/додатком, тестування та фотодокументація прототипу підтвердили ефективність рішення. Практичні тести засвідчили стабільність підтримання заданої температури, надійну роботу захисних механізмів та коректну взаємодію з користувачем і зовнішніми системами. Розроблена система відповідає ТУ та стандартам безпеки, може бути впроваджена в реальні опалювальні комплекси невеликого масштабу, забезпечує комфорт, енергозбереження та високу надійність. Дальший розвиток можливий через інтеграцію з «розумним будинком», впровадження аналітики споживання енергії та використання альтернативних джерел (електромережа + сонячні

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	57
		№ докум.	Підпис			

панелі), а також впровадження машинного навчання для прогнозного керування роботою котла залежно від погодних умов та режиму користувача.

					КвРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			58

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Іванов І. П. Електричні котли та їх застосування. К.: Видавництво “Енергетика”, 2018. 250 с.
2. Петров С. А. Трубчасті електронагрівачі: конструкція та експлуатація. Х.: ХНАДУ, 2015. 180 с.
3. Смирнова О. В. Електродні котли: принцип дії та безпека. Л.: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 200 с.
4. Сергієнко В. П. Індукційні системи нагріву. Д.: ДНУ, 2016. 150 с.
5. Kravchenko O., Malinovska A. Diffusion-resistive heaters in water-heating applications. Journal of Thermal Engineering. 2019. Vol. 5, No. 2. P. 45–52. 8 с.
6. ДСТУ EN 60335-2-21:2013. Побутові та подібні електричні прилади. Частина 2-21. Спеціальні вимоги до електричних накопичувальних водонагрівачів. Київ: Мінрегіонбуд, 2013. 70 с.
7. ДСТУ EN 60335-2-73:2012. Електричні прилади побутові та подібні. Частина 2-73. Спеціальні вимоги до нагрівачів води. Київ; Мінрегіонбуд, 2012. 60 с.
8. WILLER Volt Technical Manual. Настінні електрокотли WILLER Volt. Київ: WILLER, 2020. 80 с.
9. Thermona ELS-EL User Guide. Електрокотли Thermona ELS. Прага: Thermona, 2019. 75 с.
10. Stiebel Eltron CNS/ELECTRONIC/E Installation Guide. Остфільдерн: Stiebel Eltron, 2021. 90 с.
11. ZOTA MK-S Catalogue. Модульні електрокотли ZOTA. Мінськ: ZOTA Group, 2018. 60 с.
12. Левченко Ю. І. Порівняльний аналіз електрокотлів. Теплотехніка. 2019. № 3. С. 30–37. 8 с.

					КВРАКІТ.2021036.01.10 ПЗ	59
		№ докум.	Підпис			

13. ДСТУ EN 303-1:2014. Опалювальні котли водогрійні. Частина 1: загальні технічні вимоги та методи випробувань. Київ: Мінрегіонбуд, 2014. 120 с.
14. ДСТУ В А.2.2-6-2012. Газоповітряні теплонасоси. Технічні вимоги. Київ: Мінрегіонбуд, 2012. 50 с.
15. Кузьменко І. В. Нормативні документи з безпеки електростанцій. Одеса: ОНУ, 2020. 170 с.
16. Бондаренко О. П. Методи побудови структурних схем АСУ. К.: КНУБА, 2017. 160 с.
17. Іванова Н. С. Принципові електричні схеми систем керування. Л.: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 140 с.
18. Сидоренко М. В. Обладнання релейної логіки в автоматизації. Д.: ДНУ, 2016. 130 с.
19. Allen B., Davis J. Microcontroller-based control circuits. New York: McGraw-Hill, 2015. 300 с.
20. ДСТУ ISO 13849-1:2019. Безпека машин. Засоби безпеки логічного програмування. Київ: УкрІНТЕІ, 2019. 100 с.
21. IEC 61131-3:2013. Programmable controllers – Part 3: Programming languages. Geneva: IEC, 2013. 80 с.
22. Samsonov A. I. Розробка друкованих плат АСУ. Х.: ХПІ, 2020. 120 с.
23. Petrova E. N., Kostin V. A. RC-фільтри в схемах логіки. Electronics Engineering. 2019. Vol. 12, No. 4. P. 78–84. 7 с.
24. Шевченко Ю. М. Вибір трансформатора для низьковольтних кіл. К.: КНЕУ, 2018. 110 с.
25. LM7805 Voltage regulator Datasheet. Fairchild, 2017. 6 с.
26. 1N4007 Rectifier diode Datasheet. Vishay, 2016. 4 с.
27. Bourns MOV-14D471K Datasheet. Bourns Inc., 2015. 2 с.

28. Phoenix Contact Catalogue. Клемні колодки та роз'єми. Blomberg: Phoenix Contact, 2019. 200 с.
29. Atmel ATmega328P Datasheet. Microchip, 2018. 600 с.
30. Microchip MCP3208 Datasheet. 8-channel 12-bit ADC. Microchip, 2017. 20 с.
31. Frank P., Morrow D. PID-контролери в автоматизованих системах. Boston: Elsevier, 2016. 250 с.
32. Завадський І. П. Алгоритми ПІД-регулювання. Львів: ЛНУ, 2019. 180 с.
33. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. Modbus Org., 2015. 40 с.
34. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. Maxim/Dallas, 2018. 8 с.
35. ESP8266 Wi-Fi Module Datasheet. Espressif, 2020. 100 с.
36. Ткаченко В. А. Архітектура програмово-апаратних комплексів SCADA. Київ: КНУ, 2017. 220 с.
37. MAX7219 Serially-Interfaced LED Display Driver Datasheet. Maxim, 2016. 16 с.
38. USBasp Programmer Documentation. Thomas Fischl, 2015. 15 с.
39. Watts G. P. Embedded system testing and debugging. IEEE Trans. on Industrial Informatics. 2018. Vol. 14, No. 2. P. 512–519. 8 с.
40. Литвиненко О. Є. Практична реалізація прототипів у мікроконтролерних системах. Чернівці: ЧНУ, 2020. 130 с.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Писарев Іван Сергійович

Тема: Автоматизована система керування електротягальною

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 61

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є автоматизованої системи керування однофазним електродним опалювальним котлом з обґрунтуванням вибору апаратних і програмних засобів

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз технології електричних котелів та їх існуючих систем керування. У другому розділі проведено розробку структурної та електричної принципової схеми автоматизованої системи керування електротягальною. У третьому розділі розроблено алгоритм керування та програмне забезпечення для автоматизованої системи керування електротягальною.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: не всі схеми деталізовано в графічному вигляді

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3.50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Підченко Сергій Костянтинович,
Завідувач кафедри ТМІТ

" 12 " 06 2025 р.


(підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Іван ПИСАРЄВ

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курс, групи АКІТ-21-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2025

дата


підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Іван ПИСАРЄВ

Співавтор:

Назва: Писарев антиплагіат

Експерт:

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 0%

Коефіцієнт подібності 2: 0%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 12

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-18 01:45:50.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-18



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionary check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 11%**

ID: 246613 Title: БКР Автоматизована система керування електрокотельною Added in a DB: 2025-06-17 Authors: Іван ПИСАРСВ Heads: Людмила КОРЕЦЬКА Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	56879	896	1229 (2%)	18 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система керування електрокотельною

Автор: Писарєв Іван Сергійович

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

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Корецька Людмила Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Людмила КОРЕЦЬКА