

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Автоматизована система ідентифікації та контролю доступу персоналу

Назва теми

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

КВРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ

Шифр

Виконав здобувач 3 курсу, гр. АКІТРС-23-1

Шифр

Підпис

Ілля БАБЧИНСЬКИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доц.

Науковий ступінь, учене звання

Підпис

Микола ФЕДУЛА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.

Науковий ступінь, учене звання

Підпис

Галина РАДЕЛЬЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

09.06.2025 р.

Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій
Кафедра Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Людмила КОРЕЦЬКА

07 лютого 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Бабчинському Іллі Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система ідентифікації та контролю доступу персоналу

Керівник роботи Федула Микола Васильович, канд. техн. наук, доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від "20" січня 2026 р. № 7

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2026 р.

3 Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Аналіз об'єкта автоматизації шлюзу. Розробка апаратної частини та вузла ESD-тесту.





Програмна реалізація алгоритмів та мережевого обміну

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

Структурна схема системи керування, схема підключення периферійних пристроїв.

Алгоритми роботи СКД та мережевої взаємодії, 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	Радельчук Г. І., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

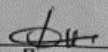
Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вибір та затвердження теми кваліфікаційної роботи; розробка завдання на кваліфікаційну роботу; складання календарного графіка виконання кваліфікаційної роботи	04.09.2025 – 25.09.2025	виконано
2 Ознайомлення з предметною областю. Формулювання мети та задач дослідження визначення об'єкта та предмета дослідження	26.09.2025 – 24.10.2025	виконано
3 Робота над розділом 1 - аналіз існуючих методів та технічних засобів керування	25.10.2025 – 12.12.2025	виконано
4 Робота над розділом 2 - розробка алгоритмів роботи системи керування	13.12.2025 – 06.02.2026	виконано
5 Робота над розділом 3 - розробка принципової схеми та програмного забезпечення системи	07.02.2026 – 03.04.2026	виконано
6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог	04.04.2026 – 08.05.2026	виконано
7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль	11.05.2026 – 22.05.2026	виконано
8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	Червень 2026 року	виконано

Студент


Підпис

Ілля Бабчинський
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Микола ФЕДУЛА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система ідентифікації та контролю доступу персоналу».

Автор роботи: Бабчинський Ілля Сергійович

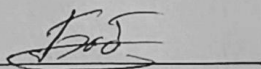
Керівник роботи: Федула Микола Васильович

Пояснювальна записка: 72 с., 35 рис., 10 табл., 40 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ ДОСТУПУ, МІКРОКОНТРОЛЕР,
МІКРОКЛІМАТ, ПРАЦІВНИК, СИСТЕМА, СТАТИЧНА ЕЛЕКТРИКА.

Мета роботи: розробити автоматизовану систему контролю доступу з функціями перевірки антистатичних браслетів та моніторингу клімату для захисту зон монтажу мікроелектроніки від статичного заряду. Об'єктом дослідження є автоматичне керування точкою проходу в реальному часі. Предметом дослідження виступають блоки та програми мікроконтролерної системи контролю доступу. При використанні методів аналізу технічної літератури та комп'ютерного моделювання було створено алгоритми роботи пристрою. Отримані результати дозволяють створити автономний макет, який повністю виключає людський фактор під час перевірки заземлення персоналу перед входом. Сфера застосування охоплює лабораторії та цехи з ремонту чи збирання чутливих електронних компонентів.



Підпис студента

02.06.2026

Дата

ЗМІСТ

СКРОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	5
ВСТУП.....	6
1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	7
1.1. Змістовний аналіз предметної області, її структурних та функціональних особливостей.....	7
1.2. Огляд існуючих систем-аналогів та методів ідентифікації.....	10
1.3. Визначення функціональних вимог до системи автоматизації та варіантів використання.....	14
1.4. Висновки до першого розділу.....	16
2. ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АПАРАТНО-СТРУКТУРНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	18
2.1. Опис структури та технологічного плану об'єкта автоматизації.....	18
2.2. Вибір та технічні характеристики обчислювального ядра системи.....	22
2.3. Аналіз периферійних вимірювальних та виконавчих пристроїв.....	24
2.4. Висновки до другого розділу.....	41
3. ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	43
3.1. Схемотехнічне спряження та підключення периферійних модулів.....	43
3.2. Алгоритми функціонування системи керування шлюзом.....	51
3.3. Програмна реалізація та покроковий аналіз коду СКД.....	57
3.4. Обґрунтування та аналіз взаємодії сервера з базою даних MySQL.....	64
3.5. Висновки до третього розділу.....	65
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	69

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система ідентифікації та контролю доступу персоналу Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Бабчинський І.С.	<i>[Signature]</i>	02.06				
Перевір.		Федула М. В.	<i>[Signature]</i>	07.06			4	72
Реценз.								
Н. контр.		Радельчук Г. І.	<i>[Signature]</i>	04.06	ХНУ, АКІТРс-23-1			
Затверд.		Корецька Л. С.	<i>[Signature]</i>	07.06				

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ESD – (Electrostatic Discharge) – Електростатичний розряд

СКД – Система Контролю Доступу

EPA зона – (Electrostatic Protected Area) зона, захищена від електростатичного розряду. Спеціально облаштований виробничий простір, у якому мінімізовано ризик накопичення та впливу статичної електрики на чутливі електронні компоненти

RFID – (Radio Frequency Identification) радіочастотна ідентифікація; технологія автоматичного безконтактного зчитування та запису даних за допомогою радіосигналів через спеціальні мікросхеми (теги/картки).

SMD – (Surface Mount Device) пристрій поверхневого монтажу; електронний компонент (резистор, конденсатор, мікросхема), який монтується безпосередньо на поверхню друкованої плати без свердління отворів.

HMI (Human-Machine Interface) – людино-машинний інтерфейс; апаратно-програмний комплекс, призначений для забезпечення взаємодії між людиною-оператором та технічними компонентами системи керування.

EMI (*Electromagnetic Interference*) – це електромагнітні завади (або електромагнітне випромінювання).

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасній електронній промисловості надійність готових пристроїв напряму залежить від умов, у яких їх збирають. Головною проблемою під час монтажу плат є статична електрика, яка накопичується на одязі та тілі працівників. Звичайний дотик людини до мікросхеми може викликати прихований пробій, який не помітно відразу, але який виведе техніку з ладу під час експлуатації. Традиційні методи захисту та звичайні замки не здатні повністю проконтролювати персонал, тому автоматизація шлюзу допуску з обов'язковою інструментальною перевіркою є дуже важливою задачею для безпеки виробництва.

Метою даної роботи є розробка та дослідження автоматизованої системи керування точкою доступу, яка об'єднує в собі зчитування радіочастотних карток працівників, контроль параметрів повітря у кімнаті та обов'язкове тестування індивідуальних антистатичних браслетів. Для досягнення цієї мети необхідно детально вивчити особливості захисту від статичної електрики, обґрунтувати вибір плати Arduino Mega 2560 та інших сенсорів, створити принципову схему з'єднання всіх деталей, написати робочий код для мікроконтролера, а також протестувати роботу готового пристрою в різних режимах.

Об'єктом дослідження у цій роботі є процес автоматичного керування шлюзом допуску до спеціальних робочих приміщень у режимі реального часу. Предметом дослідження виступають апаратні модулі, алгоритми роботи та програмний код мікроконтролерної системи, яка зчитує персональні карти, вимірює рівень опору заземлення людини та контролює кліматичні датчики.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Змістовний аналіз предметної області, її структурних та функціональних особливостей.

Проектування та впровадження сучасних систем автоматизації на підприємствах мікроелектронної промисловості вимагає глибокого аналізу технологічного середовища, оскільки виробництво напівпровідникових компонентів висуває екстремальні вимоги до чистоти та захисту від зовнішніх дестабілізуючих факторів. Основним об'єктом автоматизації у цьому проекті виступає спеціалізований тамбур-шлюз, який слугує контрольно-пропускним пунктом і межею між зонами з різними рівнями допуску та чистоти повітря. Головним завданням розроблюваної системи є запобігання появі браку кристалів та мікросхем, що викликається людським фактором, а саме перенесенням пилу на одязі та накопиченням на тілі персоналу електростатичного заряду високого потенціалу. Технологічний процес у напівпровідниковій індустрії побудований так, що автоматизований контроль на вході є не просто елементом класичної охорони, а невід'ємною частиною загального контуру управління якістю готової продукції.

Для чіткого розуміння логіки роботи автоматики весь простір передвиробничої зони підприємства структурно поділений на три послідовні технологічні зони, які умовно класифікуються за рівнем захисту як чорна, сіра та біла зони. Рух персоналу починається із загального коридору підприємства, який є чорною або брудною зоною, де працівники перебувають у звичайному цивільному чи вуличному одязі. На межі цієї зони встановлюється первинна точка доступу, обладнана замком та зчитувачем карт, функція якої полягає виключно в обмеженні доступу сторонніх осіб до внутрішніх службових приміщень та роздягалень підприємства. Після первинної верифікації працівник потрапляє до гардероба, який виконує роль сірої або перехідної зони.

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У кімнаті перевдягання персонал виконує обов'язкові санітарно-технологічні процедури, що полягають у знятті вуличного одягу та одяганні спеціалізованого комплекту, куди входять антистатичний халат, головний убір, захисна маска та спеціальне провідне взуття або бахіли. Також на виході з гардероба працівники беруть свої індивідуальні антистатичні браслети. Проте на цьому етапі одягнений комплект засобів захисту ще не гарантує безпеку виробництва, оскільки браслет може мати прихований обрив внутрішнього провідника, а підошва взуття може бути забруднена, що заблокує стікання заряду в землю. Тому вихід із гардероба веде безпосередньо у тамбур-шлюз тестування, який є фінальним фільтром перед чистою кімнатою. Сама шлюзова камера конструктивно відокремлена від інших приміщень герметичними дверима для утримання надлишкового тиску повітря, що запобігає проникненню пилу з коридору під час відкриття дверей.

Фізична сутність небезпеки, з якою бореться розроблювана система автоматизації, криється в явищі трибоелектричного ефекту.

Трибоелектричний ефект - це явище виникнення статичних електричних зарядів на поверхнях тіл внаслідок їхнього дотику, тертя або розділення. Фізична сутність полягає в переході електронів від матеріалу з меншою роботою виходу до матеріалу з більшою, що після їхнього роз'єднання призводить до накопичення різнойменних потенціалів. Величина заряду залежить від діелектричних властивостей поверхонь та вологості повітря, оскільки сухе середовище блокує його природне розсіювання.

Під час звичайної ходьби по діелектричному лінолеуму, тертя одягу чи руху рук тіло людини здатне накопичувати статичний заряд потенціалом від трьох до п'ятнадцяти тисяч вольт. Для самої людини розряд такої сили є абсолютно непомітним, адже нервові закінчення починають відчувати електричне клацання лише при потенціалі понад дві тисячі вольт. Проте для сучасних мікросхем та напівпровідникових структур навіть сота частина цього значення є смертельною. Найбільше від електростатичного розряду страждають

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

польові транзистори з ізольованим затвором типу MOSFET та інтегральні мікроконтролери, у яких товщина внутрішнього діелектричного шару оксиду кремнію вимірюється нанометрами. Напруга в кілька сотень вольт діє на такий тонкий шар як блискавка, миттєво пробиваючи його та випалюючи внутрішні логічні затвори або тонкі золоті провідники, що з'єднують кристал із виводами мікросхеми.

Додатковим критичним фактором, який безпосередньо впливає на стабільність предметної області та швидкість накопичення статички, є параметри мікроклімату, а саме температура та відносна вологість повітря всередині шлюзу та виробничого цеху. Існує жорстка фізична залежність, згідно з якою при падінні відносної вологості повітря нижче критичної межі у тридцять відсотків повітряне середовище втрачає свої природні провідні властивості, що повністю блокує природне розсіювання статичних зарядів з поверхонь в атмосферу.

У таких умовах будь-який рух персоналу генерує статичку в кілька разів швидше, що різко підвищує ризик виходу з ладу дорогого обладнання та паяльних ліній. Якщо вологість повітря знаходиться в межах норми, на поверхнях предметів утворюється мікроскопічний шар вологи, який сприяє безпечному стіканню зарядів.

Саме тому функціональною особливістю проєктованого тамбур-шлюзу є впровадження безперервного автоматичного моніторингу кліматичних параметрів у зв'язці з інструментальним контролем опору людського тіла. Тільки після успішного проходження всіх етапів верифікації система дає сигнал на відкриття других дверей, які ведуть у білу зону - основний виробничий цех мікроелектроніки, де всі робочі столи та килимки додатково заземлені через резистори номіналом один мегаом. Таким чином, проведений аналіз предметної області чітко окреслює межі проєктування: розроблювана система повинна збирати дані про клімат, ідентифікувати особу працівника, вимірювати електричний опір контуру заземлення і на основі цих критеріїв приймати рішення про безпечний допуск людини до виробничої зони підприємства.

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Огляд існуючих систем-аналогів та методів ідентифікації

При проектуванні систем контролю доступу для специфічних умов мікроелектронного виробництва вибір методу ідентифікації співробітників є ключовим етапом, оскільки від нього залежить безпека периметра та безперервність технологічного процесу. Сучасний ринок технічних засобів безпеки пропонує два основні напрямки автентифікації користувачів: біометричні методи та безконтактні радіочастотні технології. Проте детальний аналіз умов експлуатації обладнання в складальних цехах показує, що більшість комерційних рішень є неефективними або технічно неможливими для застосування на практиці через специфіку захисного одягу персоналу.

Зокрема, системи оптичного розпізнавання обличчя Face-ID та сканування сітківки ока повністю втрачають свою працездатність на напівпровідникових підприємствах.

Face-ID (система оптичного розпізнавання обличчя) - метод біометричної автентифікації, заснований на скануванні геометрії обличчя користувача за допомогою проекції сітки інфрачервоних точок та побудови його тривимірної математичної моделі для порівняння з еталоном у базі даних.

Сканування сітківки ока - метод біометричного контролю, що базується на зчитуванні унікального малюнка кровоносних судин задньої стінки очного яблука за допомогою інфрачервоного підсвічування низької інтенсивності та фіксації отриманого оптичного знімка цифровою матрицею.

Оскільки працівники зобов'язані безперервно перебувати в чистій зоні у захисних масках, окулярах та глибоких капюшонах, камери верифікації не здатні виділити необхідні антропометричні точки для розпізнавання особи. Спроба зняття маски перед дверима шлюзу призведе до порушення стерильності повітря та занесення пилу. Аналогічна проблема виникає при спробі впровадження контактних сканерів відбитків пальців.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дактилоскопічний сканер (сканер відбитків пальців) - пристрій реєстрації біометричних даних, який за допомогою оптичного, ємнісного або ультразвукового сенсора зчитує унікальний рельєф папілярних ліній на поверхні шкіри пальця для ідентифікації особи.

Працівники перебувають в антистатичних рукавичках, зняття яких суворо заборонено, а постійний фізичний контакт із сенсорною поверхнею оптичного сканера суперечить санітарним нормам чистих приміщень і швидко призводить до забруднення датчика, викликаючи помилки зчитування.

Єдиним технічно обґрунтованим і надійним рішенням для даної предметної області є використання безконтактної радіочастотної ідентифікації високої частоти на базі технології Mifare, що працює на частоті 13,56 мегагерц. На відміну від карток стандарту EM-Marine, які передають свій унікальний номер у відкритому вигляді і можуть бути скопійовані, карти Mifare мають вбудоване апаратне шифрування секторів пам'яті. Зчитувач мікроконтролера обмінюється з картою зашифрованими криптографічними ключами, що виключає можливість створення клонів перепусток або перехоплення сигналу. Картка легко зчитується на відстані кількох сантиметрів прямо крізь захисний одяг, що забезпечує високу швидкість проходу та довговічність обладнання.

Порівняльний аналіз технічних характеристик промислових діапазонів RFID представлено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз технічних характеристик промислових діапазонів RFID

Параметр порівняння	Низькочастотний (LF) діапазон	Високочастотний (HF) діапазон	Надвисокочастотний (UHF) діапазон
Номінальна робоча частота	125 кГц / 134,2 кГц	13,56 МГц	860 - 960 МГц

Кінець таблиці 1.1

Ефективна дальність зчитування	до 0,1 м	до 0,1 м (типово 0,02 - 0,05 м)	від 2,0 до 15,0 м
Швидкість передачі даних	від 2 до 4 кбіт/с	від 106 до 848 кбіт/с	від 40 до 640 кбіт/с
Апаратний криптозахист	циклічна трансляція UID у відкритому вигляді	алгоритми Crypto1, Triple-DES, AES-128	Паролі, блоки пам'яті, шифрування, самознищення
Стійкість до електромагнітних завад (ЕМІ)	стійка до впливу металевих поверхонь та рідин	Потребує феритових екранів на металі	Згасання в рідинах; екранування/відбиття металом
Вразливість до дублювання	UID не захищений	Доступ до секторів за криптоключами	Захищено, криптографічна автентифікація тегів
Вплив на чутливу мікроелектроніку цеху	низька напруженість ЕМ-поля	обмежена зона дії магнітного поля до 10 см	ВЧ-наведення у виводах напівпровідників

Головною перевагою впровадження карткової системи на базі розроблюваного контролера є спрощення автоматизованого обліку робочого часу працівників. Оскільки кожна картка жорстко прив'язана до конкретного співробітника в базі даних підприємства, система фіксує точні години входу та виходу безпосередньо на робоче місце. У напівпровідниковому виробництві це має важливе значення, адже тривалість безперервного перебування людини в

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

герметичному антистатичному костюмі чітко обмежена санітарними та трудовими нормами. Маючи готові логи проходів у базі даних MySQL, керівництво цеху та бухгалтерія отримують можливість формувати автоматичні таблиці, відстежувати запізнення, реальний час роботи на лінії та контролювати графік змін без залучення людського фактора.

Для обґрунтування доцільності розробки індивідуального технічного рішення було проведено аналіз наявних на ринку промислових контролерів доступу та спеціалізованих терміналів. У промисловості поширені універсальні модулі керування доступом (наприклад, системи Bosch або Sigur), які орієнтовані виключно на комутацію виконавчих механізмів дверей та інтеграцію із загальнозаводськими мережами, проте вони не мають вбудованих аналогових каналів для підключення засобів тестування електростатичного захисту. З іншого боку, існують імпорتنі спеціалізовані ESD-монітори, які виконують перевірку браслетів, але вони мають закриту архітектуру, фіксовані програмні уставки та не дозволяють гнучко інтегрувати зовнішні кліматичні датчики. Технічні характеристики аналогів порівняно з розроблюваним пристроєм наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз характеристик систем контролю доступу

Параметр порівняння	Промисловий контролер СКД	Спеціалізований ESD-тестер	Розроблювана система
Частота RFID-модуля	125 кГц / 13,56 МГц	13,56 МГц	13,56 МГц
Кількість релейних виходів	2	1	2

Кінець таблиці 1.2

Вимірювання опору (АЦП)	-	Фіксовані межі	Налаштовувані межі
Інтерфейс датчиків клімату	-	-	One-Wire / I2C
Мережевий інтерфейс	Ethernet / RS-485	RS-485	Ethernet
Пам'ять логів в офлайн	Внутрішня Flash	-	EEPROM / SD-карта

Таким чином, на основі порівняльного аналізу технічних характеристик можна зробити висновок, що жодна з наявних готових комерційних систем не здатна повністю закрити специфічні потреби мікроелектронного цеху без значних апаратних модифікацій. Це робить розробку власної заводостійкої мікроконтролерної системи на базі ядра ATmega2560 найбільш раціональним та технічно гнучким рішенням для підприємства.

1.3. Визначення функціональних вимог до системи автоматизації та варіантів використання

Формулювання вимог до системи автоматизації тамбур-шлюзу базується на створенні надійної архітектури, здатної інтегрувати цифрові периферійні пристрої, аналогові контури вимірювання та мережеві комунікаційні модулі. Основним обчислювальним вузлом системи обрано мікроконтролер на базі ядра ATmega2560. Це рішення обумовлене великою кількістю цифрових та аналогових каналів введення-виведення, значним об'ємом пам'яті для збереження логіки програми та високою стабільністю роботи в умовах промислових завод складального цеху.

Апаратні вимоги до обладнання передбачають інтеграцію радіочастотного модуля MFRC522 для зчитування ідентифікаторів Mifare по шині SPI, а також підключення цифрового датчика мікроклімату DHT22 для моніторингу температури та вологості. Оскільки падіння відносної вологості повітря нижче тридцяти відсотків прискорює накопичення статички, система повинна автоматично блокувати прохід. Контур вимірювання опору людського тіла підключається до вбудованого аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера, який забезпечує точність порівняння у межах від 750 кілоом до 35 мегаом. Для керування двома електромагнітними замками дверей шлюзу використовуються незалежні релейні канали з гальванічною розв'язкою.

Окремим блоком вимог є забезпечення відмовостійкості та пожежної безпеки згідно з нормами ДБН В.2.5-56:2014. Автоматика повинна мати апаратний пріоритет аварійного розблокування обох дверей тамбур-шлюзу у разі надходження сигналу від пульта пожежної сигналізації, незалежно від стану виконання коду чи наявності зв'язку з сервером. Оскільки електромагнітні замки працюють за принципом Fail-Safe (відпускають магніт при знеструмленні), система комплектується резервним джерелом живлення з акумулятором. Комунікаційні вимоги передбачають використання Ethernet-модуля для передачі логів у локальну мережу на сервер баз даних MySQL, а алгоритм повинен підтримувати перехід в офлайн-режим за локальним списком карт у разі обриву зв'язку.

Для опису логіки функціонування системи та послідовності взаємодії користувача з автоматом допуску розроблено загальну горизонтальну схему алгоритму проходу. Вона відображає основні етапи перевірки умов та прийняття рішень контролером як показано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Блок-схема функціонування системи контролю допуску

У разі невиконання будь-якої з умов (наприклад, надмірно сухе повітря або невідповідність опору антистатичного браслета встановленим межам), контролер миттєво перериває стандартний цикл, блокує вихідні двері до виробничої зони, вмикає звуковий сигнал оповіщення та виводить відповідну помилку на рідкокристалічний дисплей терміналу.

1.4. Висновки до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено комплексний науково-технічний аналіз складального цеху підприємства мікроелектронної промисловості як специфічного об'єкта автоматизації. За результатами дослідження технологічного процесу визначено, що в напівпровідниковій індустрії сучасна система контролю доступу виходить за межі класичних охоронних функцій і є важливою ланкою в контурі управління якістю готової продукції. Головним дестабілізуючим фактором, що викликає прихований брак компонентів, визначено людський фактор, а саме накопичення персоналом статичного заряду високого потенціалу в процесі руху та занесення мікрочастинок пилу в чисті приміщення. Для мінімізації цих ризиків сформовано вимоги щодо логічного блокування дверей шлюзової камери для підтримання надлишкового тиску повітря та розділення простору на три послідовні технологічні зони з різним рівнем допуску.

На основі аналізу методів автентифікації за критеріями надійності, швидкодії та сумісності із засобами індивідуального захисту доведено недоцільність використання контактної дактилоскопії та оптичного розпізнавання обличчя в умовах обов'язкового носіння рукавичок, масок і капюшонів. Обґрунтованим інженерним рішенням визначено вибір безконтактної технології радіочастотної ідентифікації високочастотного діапазону Mifare (13,56 МГц), яка захищає систему від копіювання перепусток

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завдяки апаратному шифруванню секторів пам'яті та дозволяє автоматизувати облік робочого часу персоналу через базу даних MySQL.

Встановлено жорстку залежність інтенсивності накопичення статички від параметрів мікроклімату, де падіння відносної вологості повітря нижче тридцяти відсотків повністю блокує природне розсіювання заряду. Це зумовило необхідність впровадження контуру зворотного зв'язку за допомогою цифрових датчиків DHT22 для автоматичного блокування входу при порушенні технологічного регламенту. Комплексний аналіз відмовостійкості та існуючих технічних аналогів дозволив сформулювати вимоги до побудови гібридної архітектури пристрою з апаратним пріоритетом аварійного розблокування за пожежним сигналом згідно з ДБН В.2.5-56:2014 та автономним живленням від акумулятора.

Результати аналізу об'єкта чітко вказують на необхідність розробки локальної заводостійкої мікроконтролерної системи автоматизації на базі обчислювального ядра ATmega2560 з інтегрованими модулями RFID та інструментального ESD-тестування. Проведене дослідження є безпосереднім підґрунтям для проектування структурних, функціональних та електричних схем пристрою у наступному розділі роботи.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АПАРАТНО-СТРУКТУРНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Опис структури та технологічного плану об'єкта автоматизації

Основою для проектування автоматизованої системи керування є чітка формалізація об'єкта автоматизації. У даному дипломному проєкті об'єктом виступає вхідна група складального цеху підприємства мікроелектронної промисловості, яка є зоною, захищеною від електростатичного розряду (ЕРА-зона). З точки зору автоматизації цей об'єкт є просторово розподіленою системою, що поділяється на три послідовні контрольовані зони відповідно до технологічного процесу підготовки та допуску персоналу.

Першою є гардеробна зона, або сіра зона. Це кімната первинного доступу персоналу з загального коридору підприємства. Тут працівники переодягаються у спеціальний антистатичний одяг, такий як халати та спецвзуття, а також отримують індивідуальні заземлюючі браслети. Вхід до цієї зони обмежений первинним RFID-контролем, що запобігає доступу сторонніх осіб.

Далі розташований тамбур-шлюз, який виконує роль зони верифікації. Це обмежений замкнутий простір, де розміщується основний апаратно-програмний комплекс ідентифікації та тестування. До цієї зони висуваються суворі вимоги щодо забезпечення індивідуального, тобто поодиночного шлюзування працівників. Фізичне розмежування та блокування проходу здійснюється за допомогою виконавчих електромагнітних замків. У самому тамбур-шлюзі виконується обов'язкове інструментальне вимірювання опору контурів заземлення персоналу через суміщений ESD-тест «браслет-взуття».

Останньою зоною є безпосередньо виробничий цех, або чиста кімната. Це головна технологічна зона, де відбувається монтаж SMD-компонентів, пайка та обслуговування чутливих електронних плат. Тут розташовується розподілена вимірювальна мережа датчиків для безперервного контролю параметрів

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроклімату, а також захисна шина стаціонарного ESD-заземлення робочих місць.

Графічне представлення просторової організації об'єкта автоматизації та точок розміщення елементів системи наведено на рисунку 2.1.

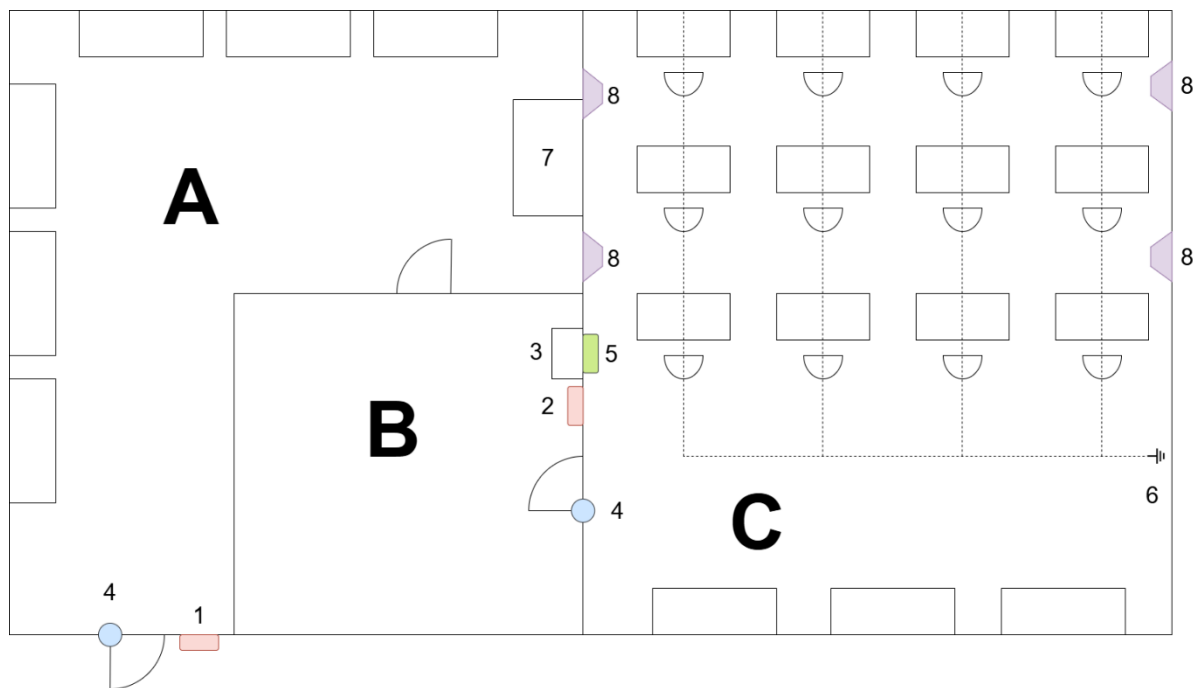


Рисунок 2.1 – Схема технологічного планування приміщень та розміщення елементів системи автоматизації

Експлікація приміщень (зон):

А - гардеробна зона (сіра зона для зміни цивільного одягу на антистатичний спецкомплект);

Б - тамбур-шлюз інструментального ESD-контролю та автоматизованого допуску;

В - виробничий цех монтажу та обслуговування мікроелектроніки (захищена ЕРА-зона).

Легенда елементів автоматизації та обладнання:

1 - первинний RFID-зчитувач (контроль входу до гардеробної зони);

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 - центральний блок керування та інтерфейсу (мікроконтролер ATmega2560, LCD-дисплей 2004, RFID-зчитувач №2 та п'єзоелектричний зумер для звукової сигналізації статусів допуску);

3 - металева контактна кнопка-модуль (сенсорний майданчик для запуску тестування та вимірювання ESD-опору через долоню працівника).

4 - виконавчі пристрої системи (електромагнітні замки дверей із магнітоконтактними герконами контролю полотна);

5 - аварійна кнопка пожежного розблокування дверей («Green Break Glass») для фізичного знеструмлення замків в обхід контролера;

6 - центральна загальнозаводська шина захисного ESD-заземлення робочих місць;

7 - шафа/стелаж для зберігання та видачі індивідуальних браслетів і халатів;

8 - розподілені цифрові датчики температури та вологості (DHT22) для безперервного моніторингу мікроклімату в різних зонах цеху.

Для коректної роботи керуючих алгоритмів мікроконтролера необхідно задати граничні технологічні уставки, які базуються на міжнародних галузевих стандартах, зокрема ДСТУ EN 61340, та нормах охорони праці. Система керування використовує ці константи як компараторні значення для прийняття логічних рішень на кожному етапі верифікації.

Нормативний температурний режим у приміщеннях становить 22 °C із допустимим технологічним відхиленням ± 2 °C. Відносна вологість повітря є критичним параметром для забезпечення ESD-захисту: мінімально допустима межа для виробництва мікроелектроніки становить 30 %, тоді як оптимальний технологічний діапазон тримається в межах від 45 % до 60 %. При падінні відносної вологості нижче 30 % навколишнє повітряне середовище стає надто сухим, що призводить до інтенсивного накопичення статичного заряду на поверхнях та одязі. У такому разі автоматика ініціює алгоритм блокування

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доступу персоналу до виробничого цеху та видає керуючий сигнал на ввімкнення зовнішньої підсистеми зволоження повітря.

Параметри контуру ESD-безпеки визначаються опором вимірювального ланцюга і повинні чітко знаходитися у безпечному технологічному вікні від 750 кОм до 35 МОм. Нижня межа у 750 кОм обумовлена жорсткими вимогами електробезпеки працівника для захисту від випадкового ураження промисловою напругою 220 В через вбудований у браслет обмежувальний резистор номіналом 1 МОм. Верхня межа у 35 МОм визначається граничним опором, за якого накопичений електростатичний заряд ще здатний ефективно та безперешкодно стікати в контур заземлення в режимі реального часу.

Зовнішня структура розробленої системи автоматизації має чітку ієрархічну форму і складається з чотирьох взаємопов'язаних рівнів.

Сенсорний, або вимірювальний рівень представлений периферійними датчиками та пристроями первинного зчитування. Сюди входять RFID-зчитувачі для ідентифікації UID-карт, цифрові датчики мікроклімату DHT22, металева контактна кнопка-модуль для інструментального вимірювання ESD-опору через долоню працівника, а також магнітоконтатні геркони для безперервного контролю фізичного стану дверних полотен шлюзу.

Обчислювальний рівень є ядром системи, побудованим на базі мікроконтролера ATmega2560. Контролер у реальному часі циклічно опитує всі елементи сенсорного рівня, проводить математичний аналіз отриманих значень опору та вологості, порівнює їх із заданими компараторними уставками та формує відповідні керуючі впливи для виконавчих механізмів.

Виконавчий та інформаційний рівень (рівень НМІ) відповідає за фізичну реалізацію прийнятих контролером рішень та інтерактивну взаємодію з персоналом. Цей рівень включає силове реле з оптичною розв'язкою для комутації живлення електромагнітних замків, символічний рідкокристалічний дисплей LCD 2004 для виведення текстових інструкцій і поточного стану

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи, а також акустичний п'єзовипромінювач (зумер) для звукової сигналізації статусів допуску або аварійних режимів.

Мережевий рівень забезпечує інтеграцію локального мікроконтролера шлюзу в загальну інформаційну мережу підприємства. Його реалізовано за допомогою мережевого модуля WizNet W5100 (Ethernet Shield). Цей рівень відповідає за побудову зв'язку за протоколом TCP/IP та передачу сформованих пакетів даних, які містять логи проходів, результати ESD-тестування та параметри вологості середовища, на віддалений Web-сервер для їх подальшого запису та збереження у базі даних MySQL.

2.2. Вибір та технічні характеристики обчислювального ядра системи

Враховуючи вимоги до структурної організації АСК, центральний керуючий пристрій повинен мати значну кількість ліній введення-виведення загального призначення (GPIO), підтримувати роботу з кількома апаратними цифровими інтерфейсами (SPI, I2C) та володіти достатнім об'ємом енергонезалежної пам'яті для зберігання локальної бази ідентифікаторів у разі тимчасової втрати зв'язку з сервером.

Як обчислювальне ядро обрано мікроконтролерну плату на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega2560 архітектури AVR RISC, зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2.2. Цей вибір обґрунтований тим, що на відміну від мікроконтролерів із меншою кількістю виводів (зокрема ATmega328P), обране рішення дозволяє підключити всю необхідну периферію, включаючи два RFID-модулі, мережевий модуль, рідкокристалічний дисплей та групу датчиків, без використання додаткових апаратних мультиплексорів чи мікросхем розширення портів. Це спрощує принципову схему та підвищує загальну надійність пристрою

Основні технічні характеристики обчислювальної платформи наведено у таблиці 2.1.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики мікроконтролерної платформи Arduino Mega 2560

Параметр	Значення / Характеристика
Мікроконтролер	ATmega2560 (8-бітний, AVR RISC)
Робоча напруга логіки	5 В
Напруга живлення	7 - 12 В
Напруга живлення (гранична)	6 - 20 В
Цифрові входи/виходи (GPIO)	54 (з яких 15 підтримують апаратний ШІМ)
Аналогові входи (АЦП)	16 (розрядність 10 біт)
Максимальний постійний струм через порт	40 мА
Обсяг Flash-пам'яті (програмна пам'ять)	256 КБ (з них 8 КБ використовується завантажувачем)
Обсяг SRAM (динамічна пам'ять)	8 КБ
Обсяг EEPROM	4 КБ
Тактова частота кварцового резонатора	16 МГц
Апаратні інтерфейси зв'язку	4x UART, 1x SPI, 1x I2C (TWI)



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд мікроконтролерної платформи Arduino Mega 2560

2.3. Аналіз периферійних вимірювальних та виконавчих пристроїв

Для перетворення неелектричних фізичних величин, таких як температура, вологість середовища та параметри радіочастотного поля, в електричні сигнали, сумісні з логічними рівнями обчислювального ядра, в системі застосовується ряд спеціалізованих модулів та первинних перетворювачів. Крім того, до складу периферійного обладнання входять виконавчі механізми та пристрої індикації, що забезпечують фізичну реалізацію алгоритмів керування доступом та взаємодію з персоналом.

Взаємодія системи з безконтактними смарт-картками персоналу забезпечується мікросхемою MFRC522, зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2.3. Це високоінтегрований пристрій для безконтактного зв'язку, що працює на радіочастоті 13,56 МГц. Даний апаратний вузол підтримує криптографічні алгоритми для перевірки справжності карток сімейства Mifare, що гарантує захист системи від несанкціонованого клонування ідентифікаторів.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обмін даними між зчитувачем та мікроконтролером здійснюється за високошвидкісним синхронним послідовним інтерфейсом SPI. Технічні характеристики зчитувача зведено в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Техніко-експлуатаційні параметри RFID-модуля RC522

Параметр	Значення
Напруга живлення	3,3 В
Споживаний струм у робочому режимі	13 - 26 мА
Споживаний струм у режимі очікування	10 - 13 мА
Робоча частота	13,56 МГц
Дальність зчитування/запису	до 50 мм (залежно від антени карти)
Підтримувані інтерфейси	SPI (до 10 Мбіт/с)
Підтримувані типи ідентифікаторів	Mifare1 S50, Mifare1 S70, Mifare UltraLight, Mifare Pro

Для забезпечення зворотного зв'язку за кліматичними параметрами та контролю умов у виробничій зоні обрано цифровий датчик DHT22 (інше маркування - AM2302), зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2.4. Конструктивно він складається з ємнісного чутливого елемента для визначення вологості та високоточного термістора з негативним температурним коефіцієнтом (NTC-термістор) для вимірювання температури.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд RFID-модуля RC522

Аналогові сигнали з обох первинних перетворювачів обробляються вбудованим у датчик 8-бітним мікроконтролером, який виконує аналогово-цифрове перетворення та калібрування. Результат вимірювання передається у вигляді готового 40-бітного цифрового кадру даних по послідовній однопровідній шині. Основні технічні та експлуатаційні характеристики датчика наведено в таблиці 2.3.

Для візуалізації поточного стану системи, виведення текстових інструкцій персоналу та відображення вимірних параметрів мікроклімату застосовано символний рідкокристалічний дисплей LCD 2004, зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2.5 та який дозволяє відображати 4 рядки по 20 символів у кожному. Для оптимізації кількості залучених портів обчислювального ядра та скорочення ліній зв'язку з 6 паралельних шин даних

до 2, дисплей оснащений додатковим модулем розширення на базі мікросхеми PCF8574T.

Таблиця 2.3 – Характеристики цифрового датчика мікроклімату DHT22

Параметр	Значення
Напруга живлення	3.3 - 5.5 В
Діапазон вимірювання вологості	0 - 100% RH
Точність вимірювання вологості	±2% RH (максимально ±5%)
Діапазон вимірювання температури	-40°C ... +80°C
Точність вимірювання температури	±0.5°C
Період опитування датчика	не частіше 1 разу на 2 секунди
Протокол передачі даних	1-Wire (власний цифровий)



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд цифрового датчика мікроклімату DHT22

Ця мікросхема є 8-бітним розширювачем портів введення-виведення, що дозволяє здійснювати повне програмне керування матрицею екрана, керувати підсвічуванням та регулювати апаратну контрастність по двопровідній послідовній шині I2C. Технічні параметри модуля індикації наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Техніко-експлуатаційні характеристики дисплея LCD 2004 з I2C-адаптером

Параметр	Значення / Характеристика
Напруга живлення	5 В постійного струму (DC)
Робочий струм (з увімкненим підсвічуванням)	20 - 30 мА
Формат виведення даних	20 символів у 4 рядках
Тип підсвічування / колір	LED, (синій фон, білі символи)
Інтерфейс підключення	I2C (лінії SDA, SCL)
Апаратна адреса на шині за замовчуванням	0x27 або 0x3F (залежно від розпиновки PCF8574)

Комутація силового виконавчого навантаження, яким у системі є електромагнітний замок із робочим струмом до 2 А при напрузі живлення 12 В, здійснюється за допомогою релейного модуля з оптичною ізоляцією. Керуючий сигнал низького або високого логічного рівня з відповідного GPIO-виводу мікроконтролера подається на світлодіод вбудованої оптичної пари (оптопари типу EL817 або PC817).

Оптопара забезпечує повну гальванічну розв'язку низьковольтної цифрової частини схеми (5 В) від високострумової індуктивної складової обмотки замка, зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 2.6. Це повністю нівелює ризик впливу зворотних сплесків електрорушійної сили (ЕРС)

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

самоіндукції на обчислювальне ядро при комутації живлення котушки. Технічні характеристики модуля комутації зведено в таблицю 2.5.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд символьного дисплея LCD 2004 з I2C-адаптером

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики модуля комутації

Параметр	Значення
Напруга живлення керуючої логіки	5 В
Струм спрацьовування керуючого входу	4 – 7 мА
Максимальна напруга комутації сили	до 30 В постійного струму (DC)
Максимальний струм навантаження	10 А
Напруга гальванічної ізоляції оптопар	5000 В
Час спрацьовування	не більше 10 мс / 5 мс

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд модуля силового реле з опторозв'язкою

Для забезпечення повноцінного людино-машинного інтерфейсу (НМІ) та безперервного автоматичного контролю фізичного стану конструкцій тамбур-шлюзу в систему інтегровано допоміжні периферійні елементи.

Активний п'єзоелектричний випромінювач (зумер) використовується для побудови підсистеми звукової сигналізації та оповіщення. Він генерує акустичні сигнали різної тривалості та періодичності залежно від результату проходження інструментального ESD-тесту або у разі виникнення технологічних аварійних режимів (зокрема, при критичному зниженні відносної вологості повітря у виробничій зоні). Робоча напруга живлення випромінювача становить 5 В постійного струму, а споживаний струм у режимі генерації звуку не перевищує 30 мА. Зовнішній вигляд активного п'єзовипромінювача представлено на рисунку 2.7

Магнітоконтактні датчики стану дверей, як які обрано сповіщувачі типу СОМК-1-9 (геркони), зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 2.8, необхідні для організації зворотного зв'язку за положенням дверних полотен шлюзу. Вони дозволяють обчислювальному ядру фіксувати момент повного фізичного зачинення дверей, що є тригером для формування команди на повторне блокування відповідного електромагнітного замка. Сповіщувачі працюють за принципом замикання внутрішніх феромагнітних контактів під

дією магнітного поля постійного магніту, закріпленого на рухомій частині дверей. Максимальна комутована напруга датчика становить 60 В, а граничний струм через контакти - до 0,1 А.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд активного п'єзовипромінювача

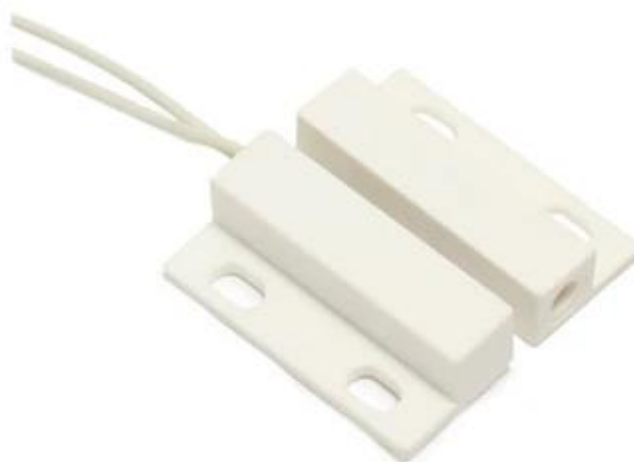


Рисунок 2.8 – Магнітоконтактний сповіщувач стану дверей СОМК-1-9

Внутрішня будова герконованого контакту (геркона) базується на використанні двох гнучких феромагнітних пластин (контакт-деталей), які герметично запаяні всередині скляної колби, заповненої інертним газом (азотом або аргоном) для запобігання окисленню контактних поверхонь. Кінці

пластин перекривають один одного всередині колби з утворенням повітряного зазору і покриті шаром благородного металу (золота або родію) для зниження перехідного опору.

При наближенні постійного магніту магнітний потік проходить крізь феромагнітні пластини, викликаючи їх взаємне притягання та замикання електричного ланцюга. Після віддалення магніту магнітосилові лінії зникають, і під дією власної сили пружності пластини повертаються у вихідний розімкнений стан. Схема внутрішньої конструкції та принцип дії геркона наведені на рисунку 2.9.

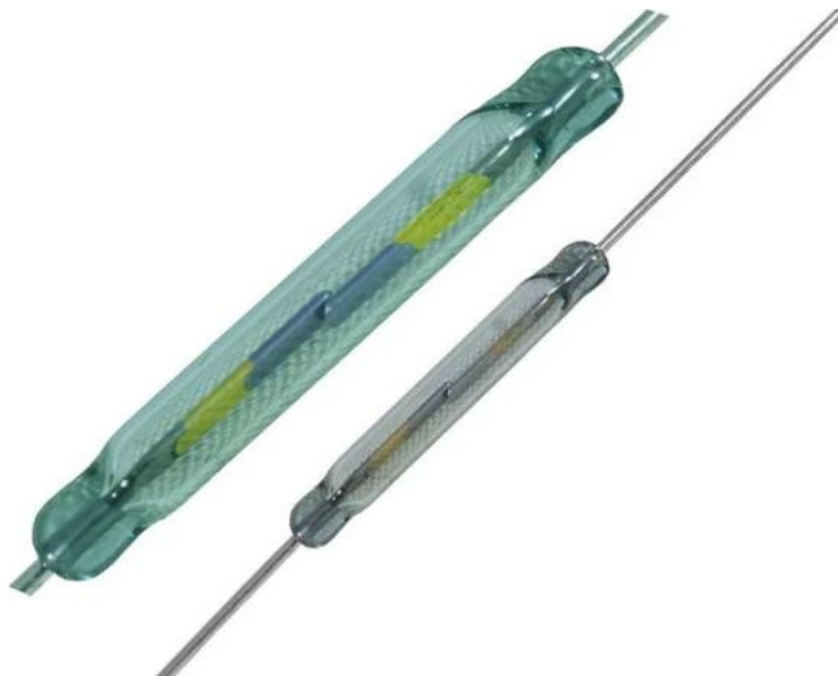


Рисунок 2.9 – Внутрішня конструкція геркона

Забезпечення стабільного та заводозахищеного електроживлення є критично важливою умовою для надійної роботи просторово розподілених систем автоматизації. Специфіка даного об'єкта проектування полягає у необхідності одночасного формування двох різних номіналів постійної напруги:

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12 В постійного струму (DC) - для живлення виконавчих механізмів (двох електромагнітних замків із сумарним струмом споживання до 2–3 А) та релейних плат комутації;

5 В постійного струму (DC) - для живлення цифрової логіки обчислювального ядра (мікроконтролера ATmega2560), мережевого модуля WizNet W5100, рідкокристалічної панелі індикації LCD 2004, зумера та периферійних датчиків.

Для забезпечення максимальної апаратної надійності, енергоефективності та захисту від електромагнітних перешкод, які виникають в індуктивних навантаженнях (обмотках електромагнітів) під час їх комутації, у проекті реалізовано двокаскадну схему живлення на базі одного головного імпульсного джерела та вторинного високоефективного понижуючого перетворювача.

Як первинне джерело обрано промисловий імпульсний блок живлення з функцією безперебійного живлення (UPS) виробництва компанії Mean Well, модель Mean Well AD-55A. Цей блок працює у широкому діапазоні вхідної напруги змінного струму (88–264 В, 50 Гц) і забезпечує повну гальванічну розв'язку низьковольтних ланцюгів від промислової мережі 220 В. Модель AD-55A має вбудований захист від короткого замикання, перевантаження за струмом та перенапруги, а також окремий ланцюг для підключення резервної акумуляторної батареї (АКБ) на 12 В, що гарантує автономну роботу шлюзу у разі аварійного вимкнення електромережі підприємства.

Для формування чистої та стабілізованої напруги 5 В, яка подається безпосередньо на шину живлення мікроконтролера та датчиків, застосовано високочастотний імпульсний DC-DC Step-Down перетворювач на базі мікросхеми LM2596S. На відміну від класичних лінійних стабілізаторів, імпульсний перетворювач має коефіцієнт корисної дії (ККД) на рівні 80 - 92 %, практично не виділяє теплової енергії та виконує роль додаткового апаратного фільтра низьких частот, повністю ізолюючи чутливу цифрову периферію від комутаційних сплесків напруги в 12-вольтовій лінії електромагнітних замків.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні техніко-експлуатаційні параметри елементів вузла електроживлення наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики елементів системи живлення

Параметр	Значення для Mean Well AD-55A	Значення для модуля LM2596S
Тип пристрою	Імпульсний ББЖ (первинний каскад)	Імпульсний DC-DC (вторинний каскад)
Вхідна напруга	88 - 264 В змінного струму (AC)	7 - 35 В постійного струму (DC)
Вихідна напруга	13,8 В постійного струму (DC)	5,0 В постійного струму (DC)
Номінальний вихідний струм	3,5 А (канал навантаження)	2,0 А (максимально до 3,0 А)
Номінальна потужність	51,3 Вт	До 15 Вт
Ефективність (ККД)	71 %	85 - 92 %
Частота перетворення	50 кГц	150 кГц
Функції захисту	Від КЗ, перевантаження, перенапруги	Від перегріву, обмеження струму

Графічне представлення зовнішнього вигляду компонентів вузла живлення наведено на рисунках 2.10 та 2.11.

Основним виконавчим елементом системи автоматизованого допуску персоналу, який здійснює фізичне блокування та розблокування дверей тамбур-шлюзу, є електромагнітний замок накладного типу, зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 2.12. У даному проекті передбачено використання

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

замка з силою утримання дверного полотна на розрив не менше 2800 Н (280 кг), що повністю виключає можливість несанкціонованого силового відкриття дверей людиною.



Рисунок 2.10 – Промислове джерело живлення Mean Well AD-55A



Рисунок 2.11 – Імпульсний понижуючий DC-DC перетворювач LM2596S

Вибір на користь саме електромагнітного замка (у порівнянні з електромеханічними засувками чи ригельними системами) обумовлений наступними інженерними та експлуатаційними факторами:

Висока зносостійкість та довговічність: конструкція пристрою не має рухомих механічних частин, деталей, що труться або піддаються швидкому

зносу, завдяки чому замок має практично необмежений ресурс спрацьовувань у режимі інтенсивного потоку персоналу.

Відповідність вимогам пожежної безпеки: електромагнітний замок працює за принципом Fail-Safe. Це означає, що замок утримує двері зачиненими лише тоді, коли на його котушку подається напруга. У разі аварійного вимкнення електроживлення будівлі, виникнення пожежі чи спрацьовування систем сигналізації, замок автоматично знеструмлюється і переходить у відкритий стан, забезпечуючи безперешкодну евакуацію людей.

Фізичний принцип дії пристрою базується на явищі електромагнітної індукції. Замок складається з двох основних частин: потужного електромагніту (сердечника з обмоткою), який монтується на дверній коробці, та відповідної металевої пластини (якоря) з високою магнітною проникністю, що кріпиться на рухому частину дверей. При подачі номінальної напруги постійного струму 12 В на обмотку котушки, навколо неї виникає потужне магнітне поле, яке притягує якор із силою, що забезпечує надійне замикання. При знятті напруги релейним модулем за командою мікроконтролера магнітне поле зникає, і двері вільно відчиняються.

Для захисту обчислювального ядра від високих зворотних сплесків напруги які виникають у котушці магніту в момент вимкнення живлення, паралельно обмотці замка обов'язково встановлюється демпферний діод (наприклад, типу 1N4007), увімкнений у зворотному напрямку.

Технічні характеристики виконавчого механізму наведено в таблиці 2.7.

Для забезпечення двостороннього технологічного руху персоналу через вхідну групу тамбур-шлюзу та виконання жорстких нормативних вимог з пожежної безпеки підприємства, до складу периферійного обладнання інтегровано два типи спеціалізованих кнопочних модулів.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики виконавчого електромагнітного замка

Параметр	Значення / Характеристика
Тип пристрою	Електромагнітний замок накладного типу
Номінальна напруга живлення	12 В постійного струму (DC)
Струм споживання в режимі утримання	400 - 500 мА
Номінальна сила утримання на розрив	280 кг (2800 Н)
Режим роботи при вимкненні живлення	Відкритий (<i>Fail-Safe</i>)
Діапазон робочих температур	Від мінус 10 °С до плюс 55 °С
Вбудовані елементи захисту	Варистор (захист від перенапруги)

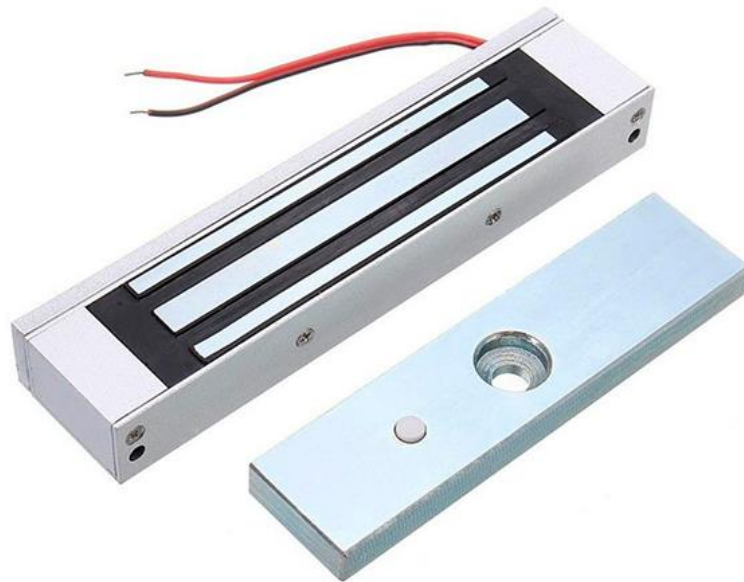


Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд виконавчого електромагнітного замка

Кнопка штатного запиту на вихід (Exit Button) призначена для організації виходу працівників з чистої виробничої зони (напрямок «виробничий цех -

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

тамбур-шлюз - гардеробна»). Оскільки проведення повторного інструментального ESD-тестування при виході з захищеної ЕРА-зони є технологічно недоцільним, відкриття дверей для виходу здійснюється в автоматичному режимі.

У проекті передбачено використання накладної металевої кнопки з механічними контактами нормальна-розімкненого типу (NO), зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2.13. Кнопка підключається за схемою з внутрішнім або зовнішнім підтягуючим резистором до цифрового GPIO-входу мікроконтролера ATmega2560. При натисканні на кнопку сигнальна лінія замикається на загальну шину заземлення (GND), що є тригером для обчислювального ядра на формування керуючої команди для реле, яке знеструмлює електромагнітний замок на фіксований час (5 секунд), достатній для безперешкодного проходу людини.



Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд кнопки запиту на вихід

Пристрій аварійного розблокування дверей (аварійна кнопка типу «Green Break Glass») є критично важливим елементом пасивного захисту та безпеки персоналу. Цей пристрій встановлюється безпосередньо біля евакуаційних виходів і призначений для моментального примусового відчинення дверей у разі виникнення надзвичайних ситуацій (пожежа, задимлення, повне знеструмлення

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єкта чи зависання обчислювального ядра системи автоматизації), зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2.14.

Апаратне підключення пристрою «Green Break Glass» виконується за схемою із використанням нормально-закритих контактів (NC), які врізаються безпосередньо в розрив силової лінії живлення +12 В, що йде від комутаційного реле до котушки електромагнітного замка. Фізичний принцип роботи базується на механічному руйнуванні або продавлюванні захисного гнучкого пластикового елемента на фронтальній панелі.

При активації пристрою контактна група фізично розмикає ланцюг живлення магніту. Оскільки це відбувається на апаратному рівні в обхід мікроконтролера, успішне зняття блокування дверей та перехід замка у відкритий стан гарантується навіть за умови повної відмови або виходу з ладу електронних компонентів системи керування.



Рисунок 2.14 – Пристрій аварійного розблокування дверей типу «Green Break Glass»

Для інтеграції локального обчислювального ядра шлюзу в загальнозаводську інформаційну мережу підприємства та організації обміну даними з віддаленим Web-сервером застосовано мережевий модуль на базі апаратного контролера WizNet W5100 (W5100 Ethernet Shield), зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 2.15. Вибір цього модуля обумовлений наявністю апаратно реалізованого стеку протоколів TCP/IP, що значно знижує

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обчислювальне навантаження на центральний мікроконтролер ATmega2560 та звільняє обсяг оперативної пам'яті для виконання основних керуючих алгоритмів.



Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд мережевого модуля WizNet W5100 (Ethernet Shield)

Взаємодія між мікроконтролером та мережевим контролером W5100 здійснюється по високошвидкісній послідовній шині SPI (виводи 50, 51, 52 плати ATmega2560) із використанням виділеної лінії вибору чипа (Chip Select, за замовчуванням пін D10). Модуль оснащений стандартним фізичним інтерфейсом RJ-45 для підключення кабелю типу «кручена пара» та підтримки швидкості передачі даних 10/100 Мбіт/с у режимах Full та Half Duplex.

Основна функція мережевого рівня у розробленій системі полягає у відправці HTTP POST-запитів на сервер авторизації. Після кожного зчитування карти або проведення ESD-тесту мікроконтролер формує пакет даних, що містить унікальний UID-номер ідентифікатора, поточні параметри опору та показники датчика мікроклімату DHT22. Мережевий модуль транслює цей пакет за протоколом TCP/IP до Web-сервера для подальшої обробки PHP-скриптами та логування у базі даних MySQL. Наявність вбудованого слота для карт пам'яті

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

MicroSD на платі модуля також дозволяє організувати локальне резервне зберігання логів проходів у разі тимчасової відсутності зв'язку з мережею підприємства.

Технічні характеристики мережевого модуля наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики мережевого модуля WizNet W5100

Параметр	Значення / Характеристика
Керуючий апаратний контролер	WizNet W5100
Апаратна підтримка протоколів	TCP, UDP, IPv4, PPPoE, CRCP, ARP, ICMP
Системний інтерфейс зв'язку	SPI (внутрішній буфер 16 КБ на прийом/передачу)
Фізичний інтерфейс підключення	RJ-45 (з вбудованими світлодіодними індикаторами статусу)
Швидкість передачі даних	10 / 100 Мбіт/с
Робоча напруга живлення	5 В постійного струму (від плати мікроконтролера)
Додаткові апаратні можливості	Вбудований слот під картку пам'яті MicroSD

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі були розглянуті основні принципи структурної організації та вибору елементної бази автоматизованої системи керування доступом персоналу до захищеної від електростатичного розряду ЕРА-зони. Описано просторовий розподіл об'єкта на три послідовні зони (гардеробну, тамбур-шлюз та виробничий цех) і задано граничні нормативні уставки для

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроклімату та ESD-опору в межах від 750 кОм до 35 МОм відповідно до стандарту ДСТУ EN 61340. Обґрунтовано ієрархічну структуру системи, яка забезпечує чітку взаємодію між вимірювальними датчиками, обчислювальним ядром, виконавчими механізмами та мережевими сервісами підприємства.

Також було проведено детальний аналіз периферійних пристроїв автоматизації на базі мікроконтролера ATmega2560. Описано функціонування модуля радіочастотної ідентифікації RC522, датчиків мікроклімату DHT22, дисплея LCD 2004 на шині I2C, зумера та магнітоконтактних герконів стану дверей. Обґрунтовано апаратну реалізацію вузла інструментального ESD-тестування на основі аналогово-цифрового дільника напруги. Окрему увагу приділено розробці заводозахищеного вузла безперебійного живлення на базі Mean Well AD-55A та імпульсного перетворювача LM2596S, а також інтеграції елементів аварійного розблокування дверей «Green Break Glass» і кнопок штатного виходу. Завдяки впровадженню мережевого модуля WizNet W5100 забезпечено можливість інтеграції шлюзу в інформаційну мережу для передачі пакетів даних за протоколом TCP/IP на віддалений Web-сервер та базу даних MySQL.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1. Схемотехнічне спряження та інтерфейси підключення периферійних модулів

У цьому розділі описано розроблення спеціалізованого програмного забезпечення, схемотехнічного спряження та алгоритмів функціонування елементів автоматизованої системи контролю доступу (СКД) до чистих технологічних зон виробництва мікроелектроніки. Для комплексної реалізації системи використано обчислювальне ядро на базі мікроконтролера ATmega2560 (платформа Arduino Mega 2560), RFID-зчитувач модуля RC522, цифровий сенсор мікроклімату DHT22, апаратний вузол інструментального ESD-тестування, символічний рідкокристалічний дисплей LCD 2004 з інтерфейсним розширювачем на шині I2C активний п'єзоелектричний випромінювач, комутаційне силове реле, органи керування дверима та мережевий шилд Ethernet W5100 для організації двостороннього зв'язку з віддаленим сервером бази даних MySQL.

На рисунку 3.1 наведено загальну блок-схему взаємозв'язків та розподілу ліній живлення між центральним контролером, сенсорами та виконавчими механізмами шлюзу.

Нижче наведено детальний опис призначення виводів, схемотехнічного спряження та обґрунтування підключення для кожного окремого периферійного компонента системи.

На схемі (рисунок 3.2) зображено підключення модуля радіочастотної ідентифікації RFID RC522 до мікроконтролера Arduino Mega 2560. Оскільки цей модуль працює на частоті 13,56 МГц і є чутливим до рівня напруги, його живлення реалізовано від стабілізованого виходу 3.3 В плати Arduino, що запобігає виходу з ладу мікросхеми MFRC522. Передача інформаційних пакетів про зчитані карти доступу здійснюється через швидкісну послідовну шину SPI.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

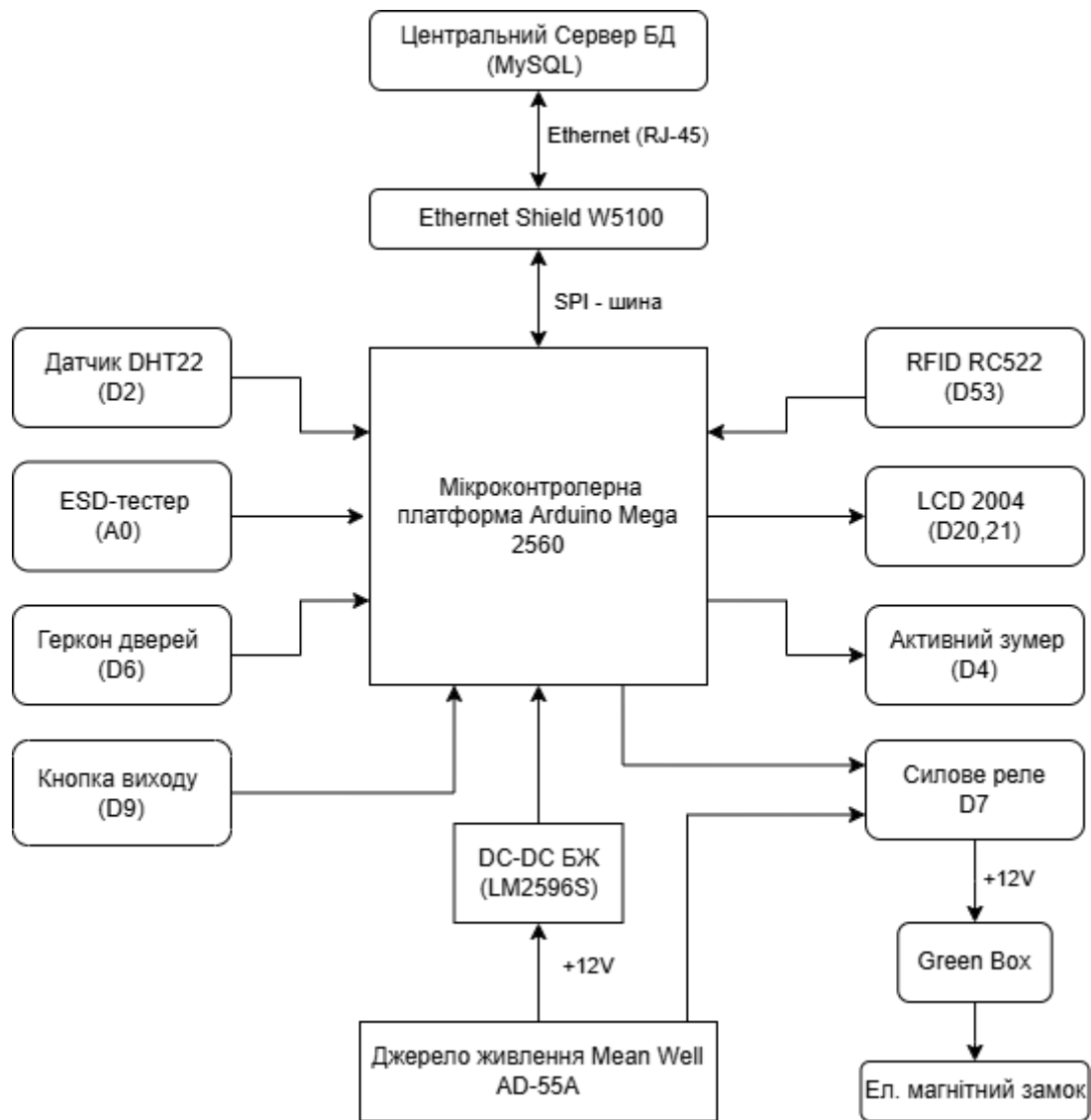


Рисунок 3.1 – Блок-схема загальної структурно-електричної організації системи керування

З'єднання виконано за допомогою п'яти сигнальних ліній, де лінія MISO підключена до апаратного цифрового піна D50 контролера, лінія MOSI - до піна D51, а лінія тактування SCK з'єднується з піном D52. Для вибору конкретного пристрою на шині лінія SDA підключається до піна D53, який виконує роль Chip Select, а лінія апаратного скидання RST виведена на цифровий пін D5 для можливості програмного перезапуску зчитувача. загальний провід заземлення модуля з'єднується із шиною GND обчислювальної платформи.

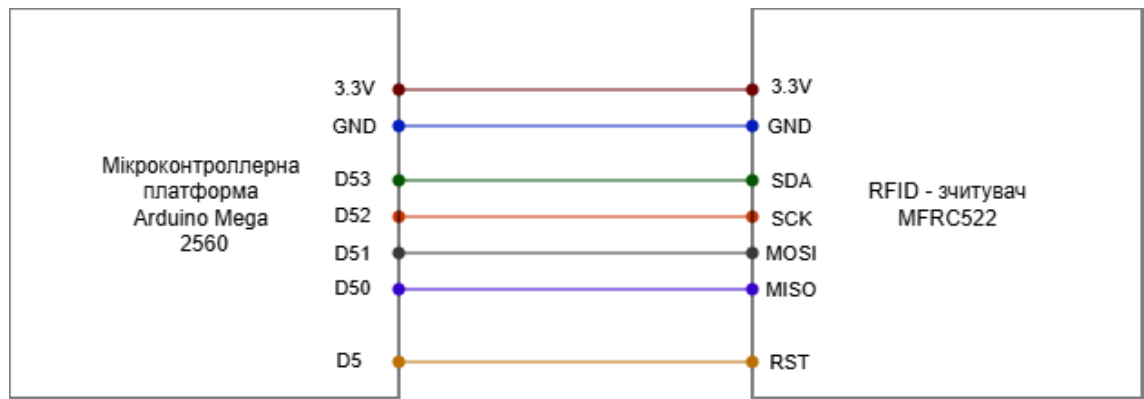


Рисунок 3.2 – Схема підключення модуля RFID RC522 до плати Arduino Mega 2560

На наступній схемі (рисунок 3.3) наведено підключення цифрового датчика мікроклімату DHT22, який використовується для безперервного моніторингу умов у тамбур-шлюзі. Даний сенсор потребує живлення 5 В, яке подається на відповідний вивід VCC, а його негативний контакт з'єднується із загальною шиною GND. Обмін даними та передача показників температури й вологості реалізовано через один сигнальний дріт DATA за протоколом 1-Wire, який підключено до цифрового входу D2 Arduino Mega 2560. Вибір цього піна дозволяє апаратно обробляти зовнішні переривання при надходженні даних від датчика, що виключає затримки у головному циклі програми. Для усунення блукаючих струмів та стабілізації логічного рівня сигнальна лінія DATA додатково підтягнута до шини живлення 5 В через прецизійний резистор номіналом 10 кОм. Третій контакт датчика не має внутрішнього з'єднання і залишається вільним.

На схемі (рисунок 3.4) показано підключення символічного рідкокристалічного дисплея LCD 2004, який використовується для виведення текстових підказок і результатів тестування працівникам. Оскільки пряме паралельне підключення такого екрана потребує значної кількості цифрових виводів мікроконтролера, у системі застосовано дочірній інтерфейсний адаптер на базі мікросхеми PCF8574. Це дозволило реалізувати спраження всього через дві сигнальні лінії послідовної шини I2C.

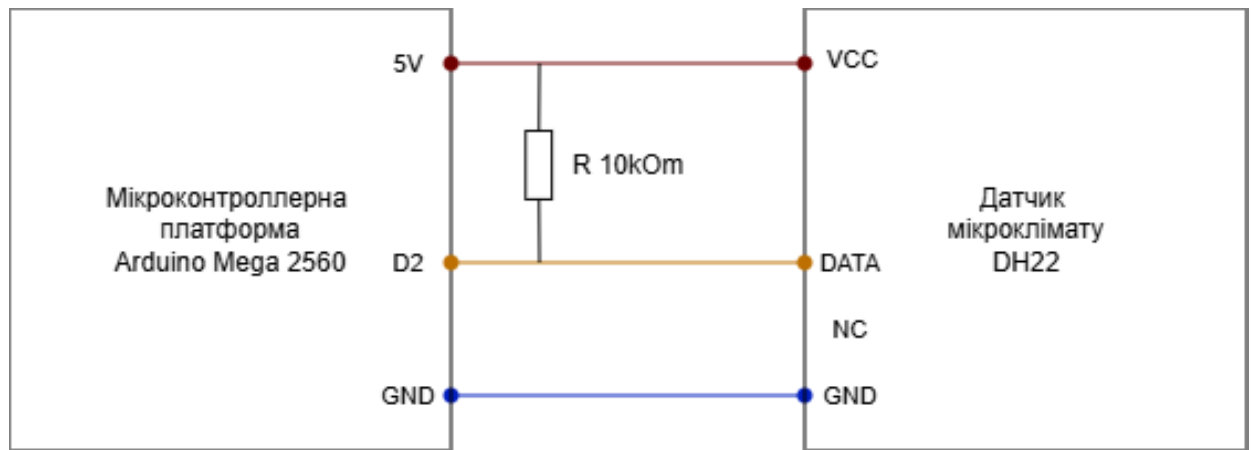


Рисунок 3.3 – Схема підключення цифрового датчика DHT22 до мікроконтролера

Живлення модуля здійснюється напругою 5 В, яка подається на вивід VCC, а контакт GND з'єднується із загальним мінусом платформи. Передача даних реалізована через апаратні виводи Arduino Mega 2560: сигнальна лінія даних SDA підключена до піна D20, а лінія тактування SCL з'єднується з піном D21. Використання цих конкретних виводів є обов'язковим для апаратної підтримки протоколу обміну та коректної роботи базових бібліотек середовища розробки.

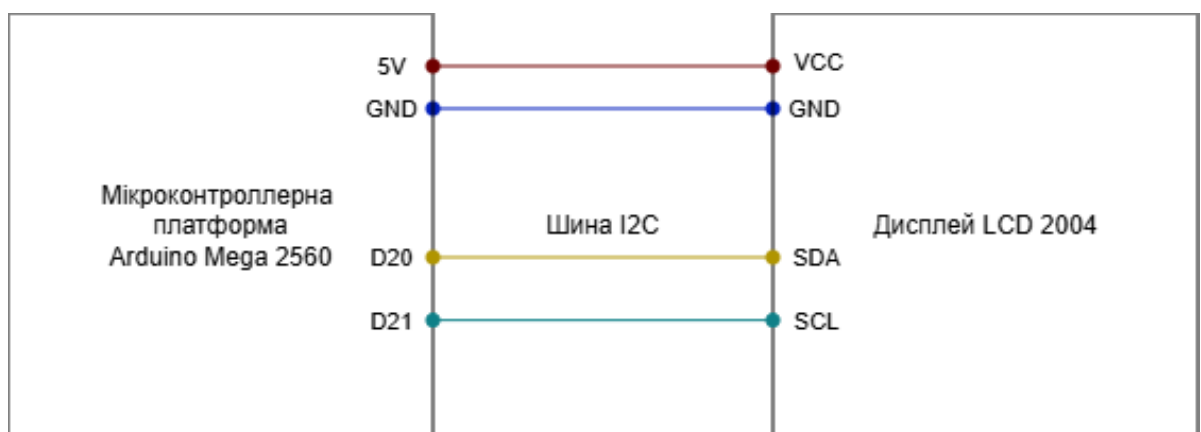


Рисунок 3.4 – Схема підключення інформаційного дисплея LCD 2004 по шині I2C

На рисунку 3.5 наведено схему апаратної реалізації вузла інструментального ESD-тестування, що складається з сенсорного металевого майданчика для рук та гнізда підключення антистатичного браслета. Даний вузол побудований за принципом аналогового дільника напруги, де першим плечем виступає постійний прецизійний резистор номіналом 1 МОм, підключений до лінії живлення 5 В. Другим плечем дільника є безпосередньо вимірювальний ланцюг, що утворюється тілом працівника та його засобами індивідуального заземлення під час контакту з сенсором. Центральна точка дільника виведена на аналоговий вхід А0 Arduino Mega 2560. Таке рішення дозволяє задіяти вбудований 10-бітний аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера, який фіксує падіння напруги в цій точці та перераховує його в цифровий код для подальшого обчислення реального опору витoku заряду. Другий кінець вимірювального ланцюга жорстко з'єднаний із шиною заземлення GND.

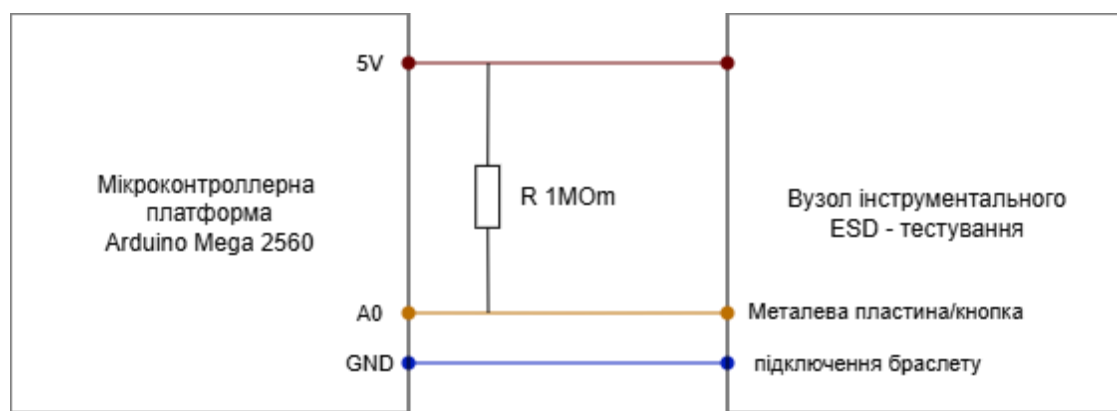


Рисунок 3.5 – Схема принципова вимірювального вузла ESD-тестера

На схемі (рисунок 3.6) зображено підключення модуля активного акустичного оповіщення, що виконаний на базі п'єзоелектричного зумера. Він інтегрований у систему для подачі коротких звукових сигналів при успішній авторизації або тривалого звукового попередження у разі фіксації браку чи аварії. Оскільки обраний зумер є активним і має вбудований генератор звукової

частоти, для його активації достатньо подати постійну напругу без генерації ШІМ-сигналу. Позитивний вивід модуля з'єднується безпосередньо з цифровим GPIO-піном D4 мікроконтролера Arduino Mega 2560. Струм споживання активного п'єзовипромінювача у робочому режимі не перевищує 30 мА, завдяки чому його живлення реалізовано безпосередньо від порту мікроконтролера без використання додаткових транзисторних підсилювачів чи релейних каскадів. Негативний контакт зумера виведений на спільну шину GND.

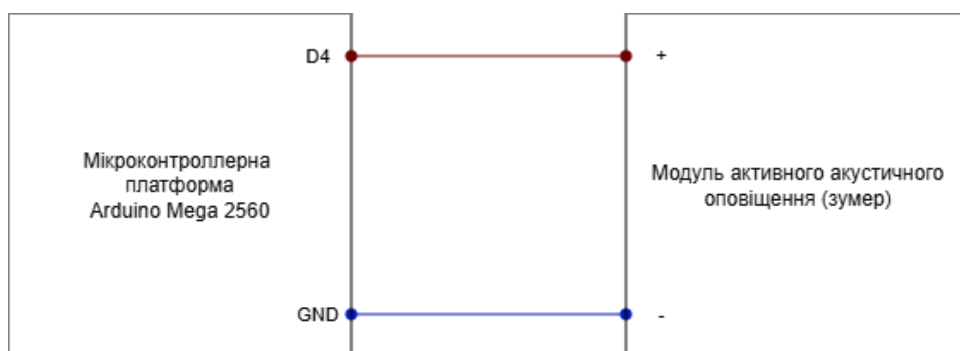


Рисунок 3.6 – Схема підключення активного зумера до мікроконтролера

На схемі (рисунок 3.7) показано суміщене підключення магнітоконтактного датчика стану дверей (геркона СОМК-1-9) та механічної кнопки запиту на штатний вихід з виробничої зони. Обидва ці компоненти працюють за принципом сухого контакту на замикання лінії. Один вивід геркона підключено до цифрового піна D6 Arduino Mega 2560, а один вивід кнопки виходу - до піна D9. Другі виводи обох пристроїв виведені на спільну шину заземлення GND. Вибір цих GPIO-пінів обґрунтований тим, що вони програмно налаштовуються у режим внутрішньої апаратної підтяжки INPUT_PULLUP. Це дозволяє утримувати на входах мікроконтролера стабільний рівень логічної одиниці (+5 В) за рахунок вбудованих резисторів процесора, коли двері зачинені, а кнопка не натиснута. При відкритті дверей або натисканні кнопки контур замикається на землю, і контролер чітко фіксує логічний нуль, що повністю

нівелює вплив наведень та блукаючих струмів від сусіднього промислового обладнання.

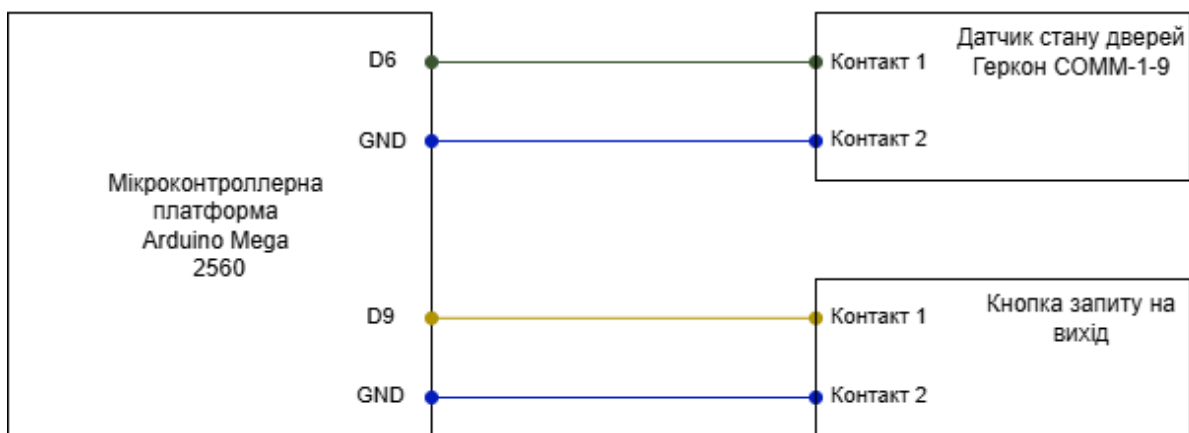


Рисунок 3.7 – Схема підключення геркона дверей та кнопки виходу за топологією INPUT_PULLUP

На рисунку 3.8 наведено принципову схему спраження силового комутаційного реле, органів аварійної безпеки та виконавчого електромагнітного замка. Керуюча частина релейного модуля підключена до низьковольтної логіки мікроконтролера за допомогою трьох провідників: вивід живлення VCC з'єднано з лінією +5 В, контакт GND - із загальною землею, а сигнальний вхід IN підключено до цифрового виходу D7 Arduino Mega 2560. Подача логічної одиниці з цього піна активує вбудовану оптичну пару реле для повної гальванічної розв'язки обчислювального ядра. Силова частина схеми живиться від окремого промислового джерела постійного струму Mean Well AD-55A на 12 В. Товстий синій провідник негативного полюса (мінус 12 В) від блока живлення прокладено напямую до мінусового виводу електромагнітного замка. Товстий червоний провідник позитивного полюса (+12 В) заходить на нормально-закритий силовий контакт реле, виходить із нього і далі підключається послідовно через нормально-закриті контакти (NC) пристрою аварійного розблокування Green Break Glass до плюсового виводу замка. Така

послідовна схема гарантує, що при механічному продавлюванні аварійної кнопки силова лінія живлення магніту фізично розірветься, і замок миттєво відкриється в обхід будь-яких команд мікроконтролера.

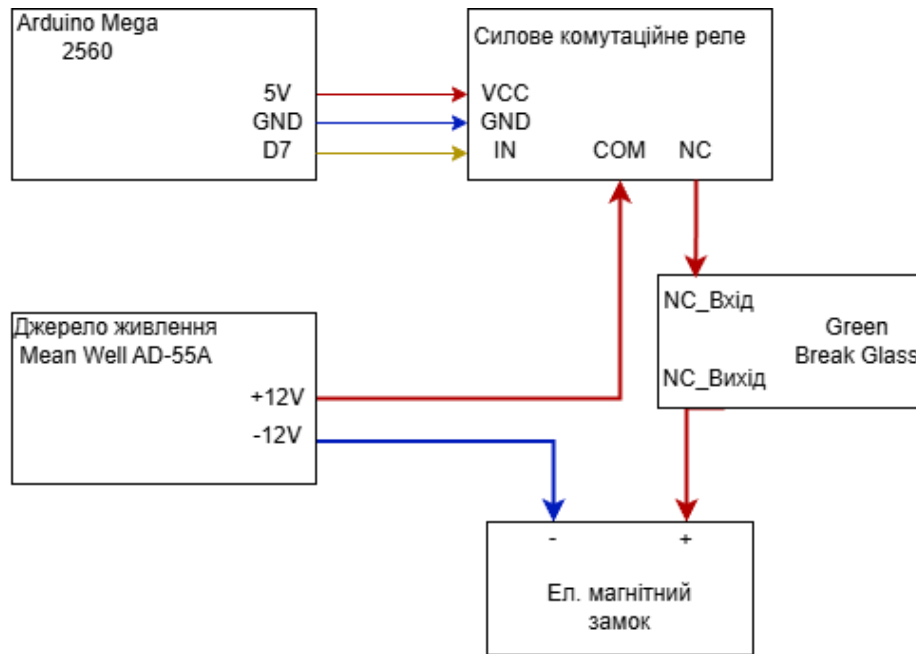


Рисунок 3.8 – Схема комутації силового реле, пристрою Green Break Glass та електромагнітного замка

На схемі (рисунок 3.9) зображено підключення та конструктивне суміщення мережевого модуля Ethernet Shield W5100 з обчислювальною платформою. Даний модуль виконаний у форматі плати розширення, яка встановлюється безпосередньо зверху на Arduino Mega 2560, суміщаючи свої контакти з колоками живлення та SPI-шини. Інформаційний обмін та передача сформованих пакетів даних на віддалений MySQL-сервер реалізовані через апаратний ICSP-роз'єм по послідовній шині SPI, яка використовує виводи D50 (MISO), D51 (MOSI) та D52 (SCK) мікроконтролера. При цьому лінія апаратного вибору мережевого чипа за замовчуванням жорстко зафіксована на цифровому піні D10 платформи. Живлення логіки модуля W5100 здійснюється напругою 5 В безпосередньо від стабілізатора материнської

плати Arduino. Фізичний вихід у загальнозаводську комп'ютерну мережу виконано через інтегрований екранований роз'єм RJ-45 за допомогою кабелю типу кручена пара категорії Cat 5e.

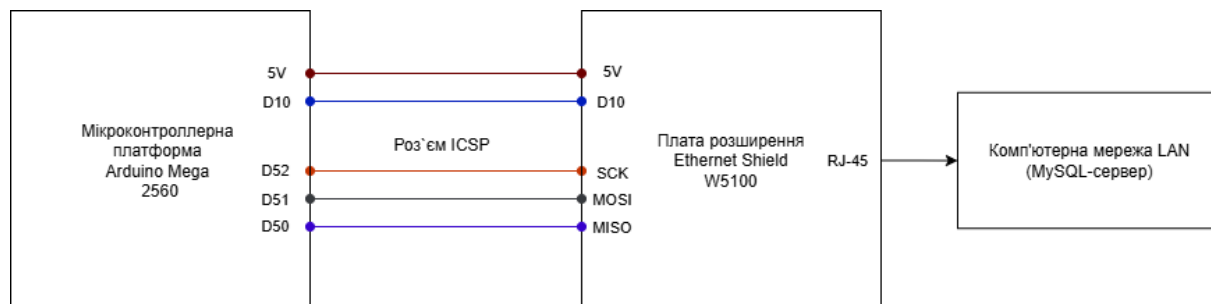


Рисунок 3.9 – Схема фізичного спраження плат Arduino Mega 2560 та Ethernet Shield W5100

3.2. Алгоритми функціонування системи керування шлюзом

У цьому підрозділі представлено алгоритм роботи системи автоматизованого керування, розробленої на основі обчислювальної платформи Arduino Mega 2560. Алгоритм реалізує основні функції взаємодії з периферійними модулями, такими як RFID-зчитувач, аналоговий модуль інструментального ESD-тестування, цифровий датчик мікроклімату, символний LCD-дисплей, силове реле та мережевий модуль Ethernet W5100. Блок-схема основного алгоритму роботи наведена далі (рисунок 3.10), вона відображає загальну логіку роботи мікроконтролера: запуск системи та ініціалізацію всіх периферійних модулів та інтерфейсів, перехід у режим очікування зчитування безконтактної карти, проведення комплексної верифікації персоналу та параметрів середовища, а також формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

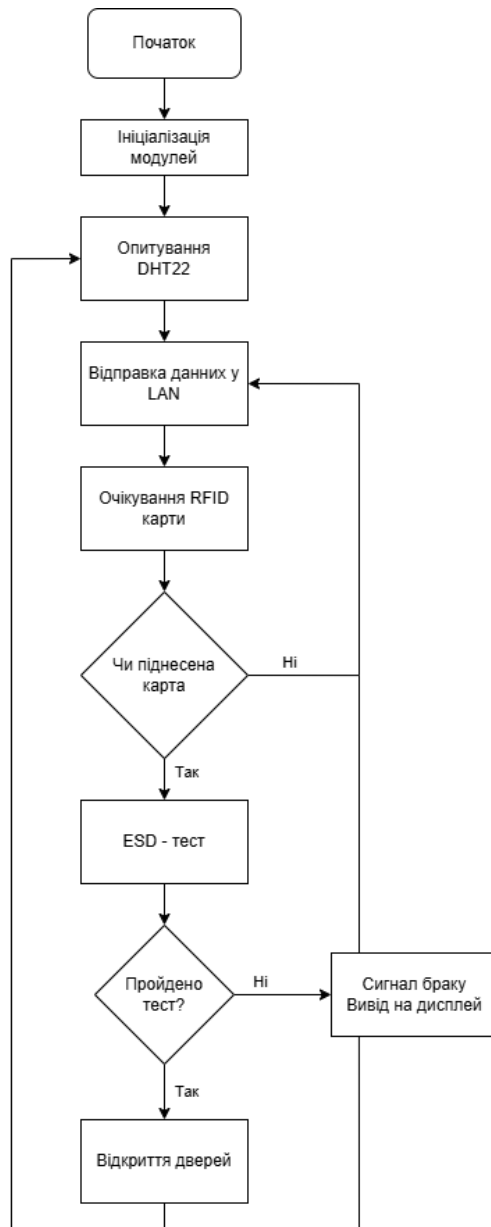


Рисунок 3.10 – Блок-схема основного алгоритму роботи системи керування

Для кращого розуміння роботи системи, загальна блок-схема була розділена на кілька підсхем, які детально описують окремі функціональні частини алгоритму.

У цьому підрозділі описано детальну блок-схему (рисунок 3.11), яка описує процес зчитування ідентифікатора, перевірки умов мікроклімату та первинної авторизації користувача. Алгоритм передбачає безперервне опитування RFID-модуля та паралельне зчитування показників температури й

вологості з датчика DHT22, їх аналіз на відповідність заданим технологічним уставкам чистої кімнати, а також виведення відповідних інформаційних підказок на екран.



Рисунок 3.11 – Блок-схема авторизації та контролю параметрів середовища

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Нижче на рисунку 3.12 зображено блок-схему, яка описує процес аналогово-цифрової обробки даних вузлом інструментального ESD-тестування. Після успішного зчитування карти працівник повинен торкнутися сенсорного майданчика або підключити антистатичний браслет, після чого мікроконтролер запускає цикл замірів на аналоговому вході A0, виконує програмну фільтрацію для усунення шумів, розраховує реальний опір витоку заряду та перевіряє його на відповідність мевам безпечного діапазону.

У підрозділі також зображено блок-схему (рисунок 3.13), яка описує процес формування мережевого пакета, відправки даних на віддалений сервер та керування безпосередньо виконавчим електромагнітним замком. Алгоритм відображає логіку роботи мережевого модуля Ethernet W5100 під час передачі HTTP POST-запиту, очікування відповіді від сервера авторизації бази даних MySQL, комутацію силового реле для відкриття дверей, контроль стану геркона, а також реакцію системи на паралельне натискання кнопки виходу або спрацьовування аварійної кнопки розблокування.

В результаті побудови та аналізу трьох ключових блок-схем було детально описано послідовність обміну даними та логіку прийняття рішень у розробленій системі контролю доступу.

Процес починається з моменту подачі живлення на систему, після чого мікроконтролер виконує ініціалізацію шин SPI, I2C та 1-Wire, конфігурує дисплей, мережевий шилд та встановлює початковий стан силового реле, за якого електромагнітний замок заблоковано. Далі система переходить у циклічне опитування датчика DHT22 та RFID-зчитувача. Коли працівник підносить безконтактний ідентифікатор до модуля RC522, зчитувач фіксує UID-код карти та по апаратній шині SPI передає його до Arduino Mega 2560. Контролер виводить на LCD-дисплей сервісне повідомлення та активує режим інструментального тестування, паралельно перевіряючи поточну температуру й вологість у тамбур-шлюзі.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.12 – Блок-схема обробки даних ESD-тестування мікроконтролером

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

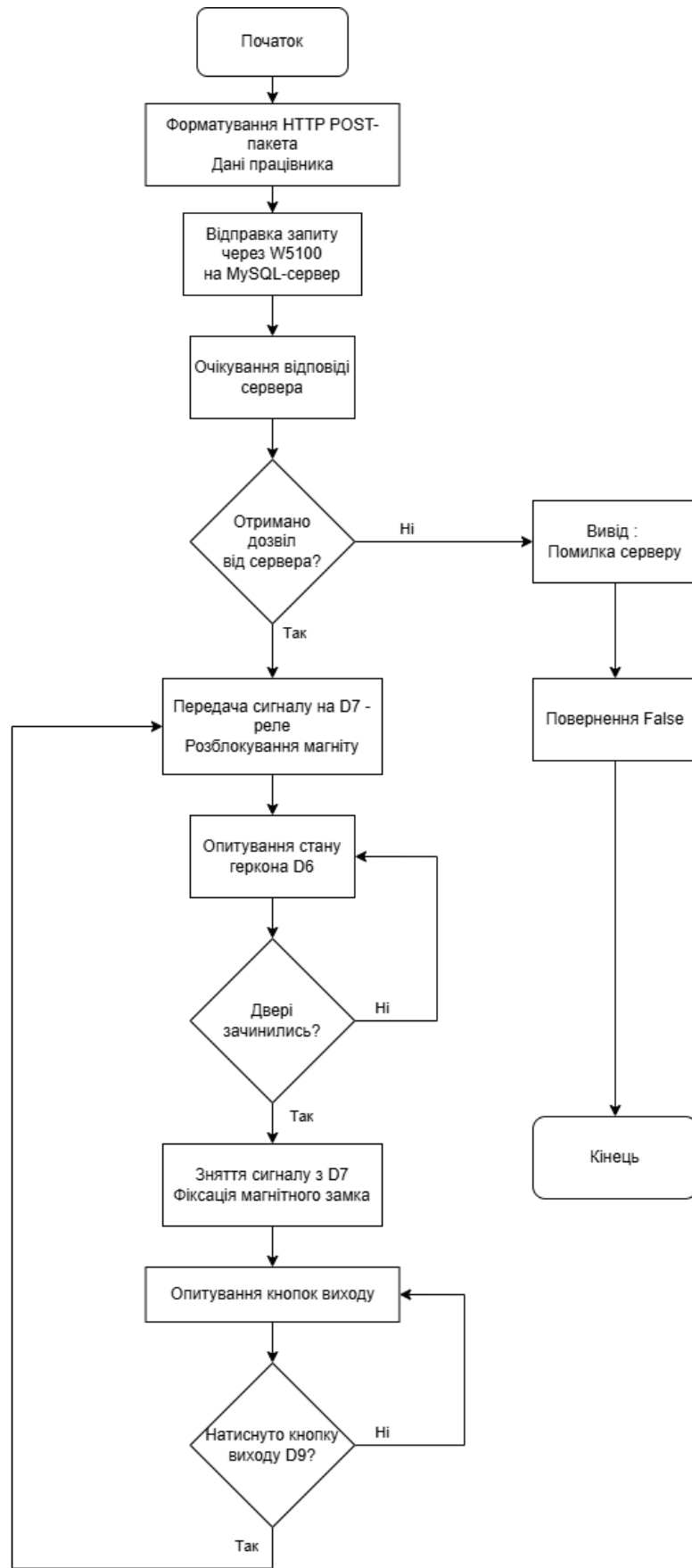


Рисунок 3.13 – Блок-схема мережевого обміну та керування замком

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На наступному етапі працівник задіює антистатичний браслет або наступає на вимірювальну платформу та замикає контактний сенсор. Струм проходить через тіло людини, утворюючи аналоговий дільник напруги, і сигнал надходить на аналоговий вхід А0 мікроконтролера. Вбудований 10-бітний АЦП перетворює падіння напруги у цифрове значення. Для виключення випадкових похибок та завад Arduino виконує серію з десяти послідовних замірів, обчислює середнє арифметичне значення, після чого математично розраховує реальний опір заземлення працівника. Якщо отримане значення вкладається у нормативний діапазон від 750 кОм до 35 МОм, тест вважається пройденим. На екрані з'являється дозвільний напис, а активний зумер видає короткий звуковий сигнал.

Сформований пакет даних, що містить UID-код користувача, результат ESD-тесту та поточні параметри мікроклімату, передається через шину SPI до мережевого модуля WizNet W5100. Мережевий шилд транслює ці дані у вигляді HTTP POST-запиту через Ethernet-кабель кручена пара до комутатора і далі на центральний сервер бази даних MySQL. Одночасно з цим мікроконтролер подає сигнал високого логічного рівня на цифровий вивід D7. Цей сигнал відкриває оптопару силового реле, контакти якого розмикають лінію живлення 12 В від блока Mean Well. Електромагнітний замок знеструмлюється, і двері шлюзу відчиняються. Контролер через цифровий пін D6 опитує стан магнітоконтального геркона СОМК-1-9, фіксуючи факт фізичного проходження людини та наступного зачинення дверей, після чого система повертається у вихідний стан очікування.

3.3 Програмна реалізація та покроковий аналіз коду СКД

Програмне забезпечення системи автоматизованого контролю доступу розроблено мовою C++ з використанням компонентів Wiring у середовищі інструментальної розробки Arduino IDE. Нижче наведено детальний покроковий

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналіз архітектури розробленого коду з його послідовним розподілом на окремі функціональні блоки.

На початку програми здійснюється підключення базових бібліотек для взаємодії з апаратними шинами мікроконтролера, конфігурація цифрових виводів та налаштування параметрів мережевого обміну. Цей початковий блок оголошень наведено на рисунку 3.10.

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Ethernet.h>

#define RST_PIN      5
#define SS_PIN       53
#define DHTPIN       2
#define DHTTYPE      DHT22
#define RELAY_PIN    7
#define DOOR_SENSOR_PIN 6
#define ESD_PIN      A0
#define BUZZER_PIN   8
#define FIRE_ALARM_PIN 3

MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress server(192, 168, 1, 100);
EthernetClient client;
```

Рисунок 3.10 – Блок підключення бібліотек та визначення констант

У цій частині програмного коду, зображеній на рисунку 3.10, підключається стандартна бібліотека SPI.h для забезпечення синхронного зв'язку з периферією, а також спеціалізована бібліотека mfrc522.h, яка містить низькорівневі функції для роботи з внутрішніми реєстрами височастотного чіпа зчитувача RC522. Бібліотека DHT.h автоматизує складний часовий протокол 1-Wire для отримання даних з цифрового датчика мікроклімату без затримок центрального процесора. Для взаємодії з рідкокристалічним екраном за послідовним інтерфейсом використовуються функції бібліотеки LiquidCrystal_I2C.h, яка здійснює програмне керування розширювачем портів. Також у цьому блоці визначається масив унікальної фізичної MAC-адреси для мережевого шилда, статична IP-адреса віддаленого сервера бази даних MySQL

192.168.1.100, з яким система буде зв'язуватись по стандартному TCP-порту 80 за протоколом HTTP, та виділений цифровий вхід D3, який виконує роль апаратного інтерфейсу для підключення сухого контакту промислового пожежного сповіщувача.

Функція `setup()` виконується одноразово при подачі електричного живлення на плату або при натисканні кнопки апаратного скидання мікроконтролера ATmega2560. Програмний код ініціалізації наведено на рисунку 3.11.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  mfr522.PCD_Init();
  dht.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight();

  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  pinMode(DOOR_SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(FIRE_ALARM_PIN, INPUT_PULLUP);

  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(FIRE_ALARM_PIN), emergencyUnlock, FALLING);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("System Init...");
  Ethernet.begin(mac);
  delay(1000);
  lcd.clear();
}
```

Рисунок 3.11 – Функція початкової ініціалізації системи

У ході виконання початкового налаштування апаратної частини, показаного на рисунку 3.11, першочергово запускається системна шина SPI та інтерфейс I2C. На виводі керування котушкою силового реле примусово встановлюється низький логічний рівень, що гарантує надійне блокування виконавчого електромагнітного замка при старті системи та реалізує безпечний стан типу Fail-Secure при випадковому перезавантаженні обчислювального ядра. Вбудована команда формування мережевого з'єднання ініціалізує контролер WizNet W5100 для інтеграції пристрою в локальну мережу цеху. Спеціальна функція `attachInterrupt` прив'язує цифровий вхід D3 до ізольованої підпрограми обробки аварійних ситуацій. Це забезпечує миттєву апаратну реакцію

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера на сигнал пожежної тривоги при переході логічного рівня з високого в низький незалежно від поточного стану виконання основних функцій програми.

Головна функція loop() виконується в нескінченному циклі з моменту завершення налаштувань платформи, забезпечуючи безперервний моніторинг об'єкта автоматизації та опитування інформаційних датчиків. Початковий фрагмент основного циклу програми наведено на рисунку 3.12.

```
void loop() {  
    float humidity = dht.readHumidity();  
    float temperature = dht.readTemperature();  
  
    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("SCAN YOUR ID CARD ");  
    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("H: "); lcd.print(humidity, 1); lcd.print("% ");  
    lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("T: "); lcd.print(temperature, 1); lcd.print("C ");  
  
    if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() || ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial() ) {  
        return;  
    }  
}
```

Рисунок 3.12 – Фрагмент коду зчитування кліматичних параметрів та опитування RFID

Усередині циклічної функції, зображеної на рисунку 3.12, на кожній ітерації першочергово відбувається звернення до цифрового датчика за допомогою вбудованих функцій зчитування показників відносної вологості та температури повітря. Отримані поточні значення фізичних величин одразу транслюються на символний рідкокристалічний екран для візуального інформування персоналу перед проходженням контролю. Після цього програма викликає логічну функцію перевірки наявності карти в зоні дії антени. Якщо радіочастотне поле модуля RC522 є вільним, оператор повернення миттєво перенаправляє виконання на початок циклу loop(), що запобігає зависанню та блокуванню обчислювальних ресурсів процесора. У момент, коли працівник підносить безконтактний ідентифікатор, система успішно проходить цю

перевірку, зчитує унікальний серійний номер картки та переходить до наступного кроку обробки.

Після успішної ідентифікації коду картки мікроконтролер запускає захисний алгоритм автоматики для аналізу критичних параметрів середовища та організації аналого-цифрового вимірювання опору. Фрагмент коду обробки цих критеріїв наведено на рисунку 3.13.

```
if (humidity < 30.0) {  
    access_denied("Low Humidity Error");  
    return;  
}  
  
bool esd_success = false;  
unsigned long test_start = millis();  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("PERFORM ESD TEST");  
  
while (millis() - test_start < 10000) {  
    int adc_val = analogRead(ESD_PIN);  
    if (adc_val >= 150 && adc_val <= 850) {  
        esd_success = true;  
        break;  
    }  
    delay(100);  
}
```

Рисунок 3.13 – Логіка контролю умов вологості та зчитування АЦП тестера

На кроці програмної реалізації захисних блокувань, наведеному на рисунку 3.13, система аналізує рівень відносної вологості повітря в тамбур-шлюзі. Якщо цей показник падає нижче критичної межі у 30 відсотків, що створює високий ризик інтенсивного накопичення небезпечних статичних зарядів на одязі персоналу, програма викликає зовнішню функцію відмови в доступі та перериває виконання поточної ітерації. Якщо кліматичні умови відповідають технологічній нормі, на екрані з'являється запрошення до тестування і запускається вбудований таймер очікування тривалістю 10 секунд на основі підрахунку системних мілісекунд. Всередині циклу опитування функція аналогового зчитування отримує дані з вбудованого десятибітного

					КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворювача платформи. Попадання зчитаного коду в апаратний діапазон від 150 до 850 одиниць АЦП свідчить про те, що сумарний опір тіла та антистатичного браслета працівника лежить у межах безпечного вікна від 750 кОм до 35 МОм. При виконанні цієї умови прапорець успішності тесту переводиться в положення істини, і програма виходить із циклу очікування.

Якщо всі обов'язкові технологічні та інструментальні критерії, такі як правильний код картки, допустима вологість повітря та успішне проходження ESD-тестування, виконані, мікроконтролер ініціює процедуру відкриття проходу з одночасною реєстрацією події на віддаленому сервері. Фрагмент коду керування виконавчими механізмами та мережевого обміну наведено на рисунку 3.14.

При успішному виконанні умов верифікації, як показано на рисунку 3.14, на цифровий вивід керування релейним модулем подається високий логічний рівень, що призводить до розмикання силових контактів та миттєвого знеструмлення виконавчого електромагнітного замка. Паралельно з цим програмний об'єкт мережевого клієнта ініціює TCP-сесію з віддаленим сервером за вказаною IP-адресою. Через стандартний виклик HTTP-запиту методом GET контролер звертається до серверного PHP-скрипта, передаючи йому зчитаний унікальний ідентифікатор картки доступу. Серверний веб-ресурс автоматично приймає цей пакет і реєструє відповідний рядок у базі даних MySQL з автоматичною фіксацією точного часу події. Після виконання відправки програма витримує технологічну паузу тривалістю дві секунди для здійснення фізичного відкриття дверей працівником та входить у цикл очікування зміни стану геркона. Завдяки інтеграції лічильника часу на базі системних мілісекунд, у випадку утримування дверей у відкритому стані понад регламентні 15 секунд, система ідентифікує загрозу порушення герметичності чистої кімнати та активує вихід звукового зумера для привернення уваги персоналу. Після повернення дверей у вихідне зачинене положення звукове сповіщення вимикається, а на реле знову подається низький рівень для блокування замка.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

if (!esd_success) {
    access_denied("ESD Test Failed");
    return;
}

digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);

if (client.connect(server, 80)) {
    client.print("GET /log.php?uid=");
    client.print(mfrc522.uid.uidByte[0], HEX);
    client.println(" HTTP/1.1");
    client.println("Host: 192.168.1.100");
    client.println("Connection: close");
    client.println();
    client.stop();
}

delay(2000);

unsigned long door_open_time = millis();

while (digitalRead(DOOR_SENSOR_PIN) == HIGH) {
    if (millis() - door_open_time > 15000) {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
    }
    delay(100);
}

digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);

```

Рисунок 3.14 – Активація виконавчого механізму та відправка мережевого HTTP-пакета

Для забезпечення максимального рівня цивільного захисту, збереження життя персоналу та миттєвого розблокування шляхів евакуації при виникненні надзвичайних ситуацій, в архітектуру програмного забезпечення інтегровано ізольовану функцію обробника зовнішнього апаратного переривання. Програмний код цієї підпрограми наведено на рисунку 3.15.

```

void emergencyUnlock() {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
}

```

Рисунок 3.15 – Функція обробника апаратного переривання пожежної тривоги

Ізольована функція, представлена на рисунку 3.15, викликається автоматично на фізичному рівні мікроконтролера ATmega2560 при зміні логічного сигналу на цифровому вході D3, що підключений до лінії промислової пожежної сигналізації підприємства. Ключовою особливістю даного програмного рішення є його абсолютний пріоритет над виконанням будь-яких інших лінійних функцій коду. Навіть якщо в момент надходження сигналу небезпеки обчислювальне ядро здійснювало тривалу часову затримку або очікувало відповіді від віддаленого сервера бази даних по Ethernet-мережі, виконання основного циклу програми миттєво призупиняється. Система за одну мікросекунду переводить вивід силового реле у стан розблокування магнітного замка та вмикає безперервний режим роботи звукового сповіщувача, що повністю задовольняє суворим нормативним вимогам цивільного захисту та пожежної безпеки промислових об'єктів.

3.4. Обґрунтування та аналіз взаємодії сервера з базою даних MySQL

Мережевий рівень розробленої автоматизованої системи забезпечує організацію централізованого обліку робочого часу, верифікацію прав доступу персоналу та довготривале збереження технологічної інформації. Оскільки внутрішня енергонезалежна пам'ять мікроконтролера плати Arduino є обмеженою, вся логіка збереження та аналізу великих масивів даних винесена на серверний рівень. Взаємодія між промисловим обладнанням шлюзу та інформаційною системою підприємства побудована за класичною клієнт-серверною архітектурою. Спеціалізований скрипт log.php, написаний мовою PHP, виступає в ролі програмного шлюзу, який приймає вхідні HTTP-запити від локального контролера, перевіряє їх структуру та здійснює наскрізну передачу інформації до реляційної бази даних MySQL.

Структура розробленої бази даних містить дві основні взаємопов'язані таблиці. Перша таблиця користувачів містить поля унікального внутрішнього

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

номера, текстового коду безконтактної картки, прізвища, імені та по батькові співробітника, а також його індивідуального рівня допуску до конкретної чистої виробничої зони. Друга таблиця журналу подій призначена для безперервної фіксації кожної спроби проходження через тамбур-шлюз. Вона містить унікальний первинний ключ запису події, поле автоматичної генерації дати та точного часу транзакції, текстове поле для збереження переданого від контролера коду картки, а також окремі поля для запису результату інструментального тестування браслета (PASSED або FAILED) та поточного показника відносної вологості повітря в приміщенні. Завдяки такій організації бази даних адміністрація промислового комплексу через веб-інтерфейс сервера має можливість у реальному часі здійснювати моніторинг присутності персоналу на робочих місцях, контролювати якість виконання заземлення працівників та відстежувати дотримання параметрів мікроклімату для захисту мікроелектронних компонентів від статичного заряду.

3.5. Висновки до третього розділу

У цьому розділі було здійснено практичну реалізацію та комплексне обґрунтування системи автоматизованого керування тамбур-шлюзом промислового допуску персоналу на базі мікроконтролерної платформи Arduino Mega 2560.

Розроблено електричні схеми підключення та фізичного спряження для всіх периферійних модулів системи, включаючи модуль радіочастотної ідентифікації RFID RC522, цифровий датчик мікроклімату DHT22, символічний інформаційний дисплей LCD 2004 з інтерфейсним адаптером I2C, активний звуковий зумер, вимірювальний вузол інструментального ESD-тестування, датчики стану дверей та органи силової комутації виконавчого електромагнітного замка. Надано вичерпні інженерні пояснення щодо призначення виводів, вибору конкретних GPIO-пінів обчислювального ядра та

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обґрунтування схемотехнічних рішень для забезпечення високої завадостійкості в умовах діючого промислового цеху.

Було побудовано логічні блок-схеми функціонування автоматики, що детально ілюструють наскрізні процеси обробки інформації в системі: від початкового зчитування безконтактної карти та безперервного аналізу параметрів вологості й температури середовища, до аналого-цифрового перетворення сигналів тестера, математичного розрахунку опору витoku статичного заряду, формування мережевих пакетів обміну та безпосереднього керування силовим реле замка.

Програмна реалізація системи виконана мовою C++ у середовищі інструментальної розробки Arduino IDE. Створене програмне забезпечення реалізує ініціалізацію апаратних шин SPI, I2C та 1-Wire, циклічний моніторинг об'єкта, захисні алгоритми блокування доступу при незадовільних параметрах мікроклімату, цифрову фільтрацію аналогових даних тестера за методом середнього арифметичного, а також часовий контроль зачинення дверей для запобігання розгерметизації чистої кімнати. Особливу увагу приділено безпеці життєдіяльності та цивільному захисту шляхом програмної інтеграції ізольованого обробника зовнішнього апаратного переривання для миттєвого аварійного розблокування евакуаційного виходу за сигналом від пожежної сигналізації.

Додатково обґрунтовано мережевий рівень системи, побудований за клієнт-серверною архітектурою з використанням Ethernet-модуля WizNet W5100, мови програмування PHP та реляційної бази даних MySQL, що дозволило повністю автоматизувати централізований облік робочого часу та контроль технологічної дисципліни на підприємстві.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проведено аналіз сучасних підходів до побудови автоматизованих систем контролю доступу на підприємствах із підвищеними вимогами до чистоти та електростатичної безпеки. Розглянуто можливості інтеграції сучасних мікроконтролерних платформ та периферійних сенсорів для підвищення ефективності, надійності та безпеки роботи шлюзових зон. На основі вивчених рішень і технологій було розроблено комплексну систему автоматизованого керування тамбур-шлюзом, яка забезпечує дворівневу верифікацію персоналу через RFID-ідентифікацію та інструментальне ESD-тестування, здійснює безперервний моніторинг параметрів мікроклімату виробничого середовища та виконує реєстрацію подій на віддаленому сервері. У процесі виконання роботи було обґрунтовано вибір обчислювальної платформи Arduino Mega 2560, розроблено методичку підключення виконавчих пристроїв та сенсорних модулів, а також реалізовано програмні алгоритми збору, фільтрації й аналізу даних. Особливу увагу приділено питанням стабільності мережевого обміну, захисту від шумів при аналогово-цифровій обробці сигналів, а також забезпеченню безвідмовності системи в аварійних ситуаціях.

Під час виконання бакалаврської роботи було успішно проведено системний аналіз предметної області та сформульовано технічні вимоги до системи контролю доступу шлюзової зони, а також розроблено та схемотехнічно обґрунтовано апаратну частину системи керування на базі мікроконтролера Arduino Mega 2560. Наступним важливим етапом стало практичне реалізування підключення та узгодження периферійних модулів, зокрема зчитувача RFID-RC522, датчика мікроклімату DHT22, символьного LCD-дисплея та силового реле керування електромагнітним замком. Разом із цим було успішно спроектовано аналоговий вузол вимірювання опору людського тіла та реалізовано алгоритм програмної фільтрації шумів для точного

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструментального ESD-тестування працівників перед допуском у чисту зону цеху.

У межах програмної реалізації проєкту було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення мікроконтролера для чіткої координації роботи всіх виконавчих механізмів, обробки вхідних сигналів із геркона дверей, штатної кнопки запиту на вихід та кнопки аварійного розблокування. Окрім цього, у роботі організовано надійну мережеву взаємодію за допомогою Ethernet-модуля W5100 для автоматичного формування HTTP-запитів та стабільної відправки телеметрії й логів доступу на віддалений MySQL-сервер підприємства. На фінальній стадії розробки було проведено комплексне тестування розроблених програмно-апаратних алгоритмів у різних режимах роботи, що повністю підтвердило її працездатність та відповідність вимогам промислових стандартів електростатичної безпеки.

Розроблена система автоматизованого керування тамбур-шлюзом відзначається високою надійністю, гнучкістю налаштування часових уставок та можливістю легкої інтеграції в існуючу мережеву інфраструктуру сучасних високотехнологічних підприємств. Подальший розвиток проєкту може полягати у розширенні функціоналу веб-інтерфейсу для адміністратора та впровадженні додаткових біометричних методів ідентифікації персоналу.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Arduino Mega 2560 Rev3. Hardware Reference. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560> (дата звернення: 12.03.2026).
2. RFID-RC522 Data Sheet. NXP Semiconductors. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).
3. DHT22 Output Digital Relative Humidity & Temperature Sensor. URL: https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Temperature_and_Humidity_Sensor_Pro/ (дата звернення: 18.03.2026).
4. W5100 Datasheet. Component Specification and Hardware Design Guide. WIZnet Co., Ltd. Revision 1.4.0. 2021. 68 p.
5. Сповідувачі охоронні точкові магнітоконтактні COMК 1-9. Технічний опис та інструкція з експлуатації. ТОВ «НПП АЛАЙ». 2022. 4 с.
6. MySQL Connector/Arduino. URL: https://github.com/ChuckBell/MySQL_Connector_Arduino (дата звернення: 25.03.2026).
7. ESD Association Standard for the Protection of Electrostatic Discharge Susceptible Items. URL: <https://www.esda.org/standards/> (дата звернення: 29.03.2026).
8. Квасніков В. П., Ларін В. Ю. Прилади та методи вимірювання неелектричних величин. Київ : НАУ, 2018. 248 с.
9. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування. К. : Либідь, 2007. 656 с.
10. Бондаренко І. М., Бородін О. В., Карнаушенко В. П. Мікропроцесорні системи контролю та керування. Харків : ХНУРЕ, 2020. 212 с.
11. Корчемний М. О., Клендій П. Б., Потапенко М. В. Теоретичні основи автоматики. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2021. 304 с.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12.Болюх В. Ф., Данько В. Г. Основи електроніки і мікропроцесорної техніки. Харків : НТУ «ХП», 2011. 288 с.

13.Цирульник С. М., Азаров О. Д., Крупельницький Л. В., Трояновська Т. І. Програмування мікроконтролерів AVR. Вінниця : ВНТУ, 2018. 111 с.

14.Співак В. М., Гуржий А. М., Нельга А. Т., Ітякін О. С. Загальна електротехніка і основи електроніки : навчальний посібник. К. : КПІ, 2020. 212 с.

15.Артюхов В. Г., Бритов О. А., Гіоргізова-Гай В. Ш., Кириша Б. А. Архітектура обчислювальних систем. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2023. 85 с.

16.Трет'як А. В., Кльон В. М. Основи робототехніки. Полтава : ПУЕТ, 2024. 135 с.

17.Квасніков В. П., Кондратюк М. В. Автоматизація контролю параметрів чистого виробничого середовища. *Технологічні системи*. 2021. № 2. С. 45–51.

18.Макаренко О. П. Проектування систем контролю доступу на базі RFID-технологій. *Комп'ютерно-інтегровані технології*. 2022. Вип. 44. С. 112–117.

19.Шевченко В. І. Захист від статичної електрики на підприємствах електронної промисловості. Київ : Техніка, 2019. 192 с.

20.Баранов М. І. Антологія видатних досягнень в науці та техніці: електроніка та мікропроцесорна техніка. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2018. № 4. С. 3–14.

21.Пінчук В. А. Мережеві інтерфейси в системах промислової автоматизації. Харків : Фоліо, 2023. 310 с.

22.Дейл Н., Вемс Т. Програмування на C++ для вбудованих систем. Львів : Бакалавр, 2020. 416 с.

23.Проценко М. І. Проектування виконавчих пристроїв та електромагнітних замків у системах безпеки. Харків : ХНУРЕ, 2022. 142 с.

24.Ромашко В. А. Джерела живлення та силова електроніка в системах промислової автоматизації. Рівне : НУВГП, 2020. 210 с.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25.Бабічев С. А., Ладанюк А. П. Проектування систем автоматизації та керування за допомогою реляційних баз даних. Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології. 2021. Вип. 12. С. 67–74.

26.Ковалюк Т. В. Основи програмування на мовах C/C++ для інформаційних спеціальностей. Київ : Видавнича група ВНУ, 2019. 480 с.

27.Ларін В. Ю., Суслов О. О. Датчики мікроклімату та моніторинг середовища в чистих кімнатах. Комп'ютерні системи та інформаційні технології. 2022. № 2. С. 102–109.

28.Пашков В. О., Корнієнко В. І. Локальні мережі та хмарні технології в промисловій автоматизації : навчальний посібник. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. 194 с.

29.Кочан Р. В., Саченко А. О. Організація мережевих інтерфейсів та обміну даними у вбудованих системах. Тернопіль : ТНЕУ, 2018. 206 с.

30.Жученко А. І., Цапар В. С. Програмування та мікропроцесорна техніка в системах автоматизації. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2023. 182 с.

31.Мельник А. О. Архітектура комп'ютера. Обчислювальні системи та мережі. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. 424 с.

32.Здірок О. М., Прокопенко Т. О. Інформаційне та програмне забезпечення систем автоматизації та СКД. Наукові праці НУХТ. 2023. Т. 29, № 2. С. 41–48.

33.Волошко О. В. Надійність та оптимізація вбудованих систем на базі мікроконтролерів AVR. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2022. № 5 (119). С. 14–21.

34.Квасніков В. П., Полуйко А. В. Метрологічне забезпечення контролю параметрів електростатичного захисту виробничих приміщень. Вимірювальна техніка та метрологія. 2023. Вип. 84. С. 34–40.

35.Шкільняк С. С. Базы даних та інформаційні системи : навчальний посібник. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 240 с.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36.Самотий В. В., Ладанюк А. П. Моделювання та оптимізація комп'ютерно-інтегрованих систем керування. Львів : Растр-7, 2022. 340 с.

37.Кондратенко Ю. П., Козлов О. В., Жуков Ю. Д. Автоматизація технологічних процесів та комп'ютерно-інтегровані технології. Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. 384 с.

38.Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричні вимірювання : підручник. Вінниця : ВНТУ, 2012. 524 с.

39.Савченко А. О., Мокін В. Б. Комп'ютерно-інтегровані технології та програмування мікроконтролерів в автоматизованих системах. Вінниця : ВНТУ, 2021. 148 с.

40.Лисак О. В., Козловський В. В. Технічні засоби автоматизації : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. 216 с.

					<i>КвРАКІТР. 023140.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Бабчинський Ілля Сергійович

Тема: Автоматизована система ідентифікації та контролю доступу персоналу

Спеціальність: 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 72

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою даної роботи є розробка та дослідження автоматизованої системи керування точкою доступу, яка об'єднує в собі зчитування радіочастотних карток працівників, контроль параметрів повітря у кімнаті та обов'язкове тестування індивідуальних антистатичних браслетів.
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 комплексний аналіз сучасних засобів радіочастотної ідентифікації (RFID) промислових діапазонів, виконано порівняльний аналіз існуючих аналогів систем контролю доступу (СКД) та обґрунтовано доцільність розробки спеціалізованого шлюзу. У другому розділі виконано формалізацію та просторове планування чистих виробничих зон (ЕРА-зон), обґрунтовано вибір мікроконтролерного ядра та визначено граничні уставки контурів ESD-безпеки (750 кОм – 35 МОм) і кліматичних параметрів середовища. У третьому розділі Розроблено структурну та принципову схеми підключення периферії (RFID, DHT22, ESD-вузла, LCD 2004) до обчислювальної платформи ATmega2560, а також створено алгоритми функціонування шлюзу та передачі даних на віддалений сервер. У четвертому розділі описано мережеву інтеграцію системи, налаштування Web-сервера та реляційної бази даних MySQL для довгострокового збереження логів допуску, а також проведено оцінку техніко-економічної ефективності розробки.
4. Позитивні сторони роботи: Практична цінність роботи полягає у створенні повністю працездатного прототипу комплексної СКД, яка успішно об'єднує ідентифікацію персоналу з інструментальним тестом безпеки та автоматичним

клімат-моніторингом. Особливої уваги заслуговує реалізація клієнт-серверної архітектури на базі протоколу TCP/IP для передачі даних у реальному часі до бази MySQL, що дозволяє легко інтегрувати пристрій у сучасні цифрові системи керування виробництвом.

5. Негативні сторони роботи: Серед недоліків роботи можна відзначити занадто стислий опис та аналіз існуючих комерційних закордонних аналогів ESD-тестерів у першому розділі. Також автору варто було б детальніше розглянути питання промислової завадостійкості та екранування обраної мікроконтролерної платформи при її тривалій експлуатації в умовах реального складального цеху.

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: відмінно

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

Клюш Дрій Павлович, к.т.н, доцент, зав. кафедрою
Курсів мікроелектроніки ХНУ

"10" червня 2026 р.

_____ (підпис)

Завідувачу кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки Людмилі КОРЕЦЬКІЙ
здобувача вищої освіти
Бабчинського Іллі Сергійовича
факультет ІТ, курс ІІІ, група АКІТРс-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

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

02.06.2026

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: Ілля БАБЧИНСЬКИЙ

Співавтор:

Назва: БКР Бабчинський

Експерт: Микола ФЕДУЛА

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

Коефіцієнт подібності 1: 1.44%

Коефіцієнт подібності 2: 0%

Мікропробіли: 8

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-09 12:17:22.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

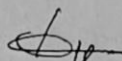
Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

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:

2026-06-09



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 10%

ID: 274211 Title: БКР Автоматизована система ідентифікації та контролю доступу персоналу Added in a DB: 2026-06-08 Authors: Ілля БАБЧИНСЬКИЙ Heads: Микола ФЕДУЛА Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	80914	555	1633 (2%)	21 (4%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

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

Назва кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система ідентифікації та контролю доступу персоналу»

Автор Бабчинський Ілля Сергійович

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

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Науковий керівник: Федула Микола Васильович, канд. техн. наук, доцент

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т. ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є академічним плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним 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.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	-- -- --

Підтвердження:

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

1) у тексті роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках, у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів, 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.

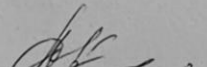
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/ схожості, складає 1,44% і адресується до 10 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

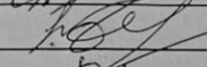
Дата 9.06.2026


Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи







Людмила КОРЕЦЬКА

Юрій ФОРКУН

Микола ФЕДУЛА