

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень


Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина
Назва теми

КвРКІ 022002.22.02.34 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

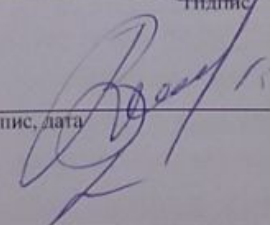
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав: студент III курсу, група КІ2с-22-2 
Підпис

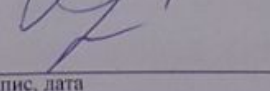
Ігор БАРАНОВ
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Юрій ВОЙЧУР
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«16» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Ігорю БАРАНОВУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина

Керівник проекту (роботи) Юрій ВОЙЧУР, д.ф., старший викладач

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система «Розумний ліфт» (апаратна частина) та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування системи керування та обробки сигналів у кіберфізичній системі «Розумний ліфт» (апаратна частина)

Вибір і підбір апаратних компонентів для реалізації кіберфізичної системи «Розумний ліфт»

Розробка апаратної частини проекту «Розумний ліфт» та тестування прототипу

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

Архітектура апаратного забезпечення проекту

Сруктурна схема модулів апаратного забезпечення проекту

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування кіберфізичної системи «Розумний ліфт». Апаратна частина	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування кіберфізичної системи «Розумний ліфт»	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

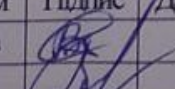
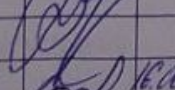
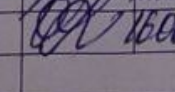
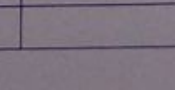
Керівник роботи

Підпис
Ігор БАРАНОВ
Ініціали, прізвище

Підпис
Юрій ВОЙЧУР
Ініціали, прізвище

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екз	Примітка
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 022002.22.02.34 Е8	Архітектура ПЗ проекту	1		
3		КвРКІ 022002.22.02.34 Е8	Структурна схема модулів апаратного забезпечення проекту	1		
4		КвРКІ 022002.22.02.34 Е8	Архітектура апаратного забезпечення проекту	1		

КвРКІ 022002.22.02.34 ВП

Зм	Арж	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Баранов		
Перевір.		Войчур		
Н. контр.		Кисіль		16.06.15
Затв.		Павлова		16.06.15

Відомість проекту

Літера	Аркуш	Аркушів
У	1	1

ХНУ, КІ2с-22-2

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина».

Автор роботи: Ігор БАРАНОВ.

Керівник роботи: Войчур Юрій Олексійович.

Пояснювальна записка: 57 с., 37 рис., 1 табл., 3 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.


ЛІФТ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, АРХІТЕКТУРА, МОНІТОРИНГ, ДАТЧИКОВІ МОДУЛІ.

Метою дипломної роботи є визначення умов і особливостей застосування апаратних компонентів «розумного» ліфта, а також оцінка механізмів обробки інформації у кіберфізичній системі керування ліфтом для забезпечення безпечного та енергоефективного переміщення пасажирів між поверхами.

Об'єктом дослідження є функціонування апаратних модулів системи «Розумний ліфт» - приводу кабіни, блоків датчиків положення й безпеки, а також підсистеми індикації та керування.

Предметом дослідження є оцінка режимів роботи цих апаратних модулів і їх взаємодії в різних експлуатаційних та аварійних ситуаціях.

Під час виконання дослідження було використано метод систематичного огляду літератури для аналізу сучасних підходів до проєктування кіберфізичних ліфтових систем, а також вивчення нормативних документів і технічних джерел, що регламентують вимоги до безпеки та надійності ліфтового обладнання.







Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОШУК ОПТИМАЛЬНО РІШЕННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ЛІФТ»	5
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань..	5
1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень	9
1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження.....	16
1.4 Висновки до першого розділу.....	17
2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ЛІФТ»	19
2.1 Визначення апаратних вимог і технічних характеристик.....	19
2.2 Структурна схема апаратних модулів та їх взаємодія.....	25
2.3 Опис функціонального призначення основних модулів апаратної частини, їх взаємозв'язок та принципи обміну даними	28
2.4 Нормативна та стандарт-орієнтована відповідність апаратної частини	34
2.5 Висновки	36
3 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ЛІФТ»	38
3.1 Вибір програмного забезпечення для проектування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт»	38
3.2 Опис процесу розробки блоку приводу	44
3.3 Опис процесу розробки блоку індикації та керування.....	48
3.4. Опис процесу розробки блоку датчиків.....	51
3.5 Тестування роботи з використанням програмної частини	55
3.6 Висновки до третього розділу.....	59
ВИСНОВКИ	62

КвРКІ 022002.22.02.02 ПЗ						
Зм. Арк.	№докум.	Підпис	Дата			
Виконав	Ігор БАРАНОВ		16.06.	Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина.		
Перевірів.	Юрій ВОЙЧУР		16.06.			
Н.контр.	Тетяна КИСІЛЬ		16.06.06	Пояснювальна записка		
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА		16.06.06			
				Літера	Арк.ш.	Арк.шів
				у	2	57
				ХНУ КІ2с-22-2		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	63
ДОДАТОК А.....	68
ДОДАТОК Б	69
ДОДАТОК В.....	70

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Протягом останніх років автоматизація інформаційних технологій впевнено посіла важливе місце в нашому житті. Вона поширюється майже на всі сфери людського життя, полегшуючи його. Це дає змогу забезпечувати часткову, а й інколи повну автоматизацію. Тому й не дивно, що такі технології з'явилися в будинках людей, місцях, де більшість людей проводять вільний час.

Можливість керувати електричними приладами за допомоги одного пульта або, навіть, голосових команд - надто привабливо для кожної людини. Також варто не забути про ще одну перевагу автоматизованої системи «Розумний будинок» - здатність відображати інформацію про поточний стан, що надає можливість людині відреагувати на надзвичайну ситуацію: пожежу, витік газу тощо.

Тому в останні часи тема автоматизованого будинку набуває все більшої популярності, а великі компанії розглядають можливості вийти на ринок зі своїм продуктом.

Метою дипломної роботи є визначення умов та особливостей застосування апаратних компонентів «розумного» ліфта, а також оцінка механізмів обробки інформації у кіберфізичній системі керування ліфтом, що забезпечує безпечно, надійне й енергоефективне переміщення пасажирів між поверхами. Об'єктом дослідження є функціонування апаратних модулів ліфтової системи — датчиків положення й безпеки, приводів кабіни та дверей, а також вузлів індикації та сигналізації. Предметом дослідження є оцінка режимів роботи цих апаратних модулів і їх взаємодії у різних експлуатаційних та аварійних ситуаціях.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОШУК ОПТИМАЛЬНО РІШЕННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ЛІФТ»

1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

Ліфти як засіб вертикального транспортування стали невід’ємною частиною інфраструктури сучасних будівель. Сьогодні підйомні системи не лише забезпечують зручність переміщення людей і вантажів, а й входять до складу кіберфізичних систем (CPS - Cyber-Physical Systems), які поєднують фізичні пристрої з інформаційно-керуючим середовищем.

"Розумний ліфт" - це сучасна версія підйомного пристрою, що використовує мікроконтролери, сенсори, інтерфейси зв’язку та програмне забезпечення для підвищення безпеки, ефективності та зручності використання. Розробка апаратної частини такої системи є актуальним завданням в умовах цифровізації та автоматизації побутових і промислових процесів.

До ліфтів можна віднести будь-які підйомні механізми, за допомогою яких вертикально або під нахилом переміщують вантажі. Якщо не брати до уваги використовувану рушійну силу, то прообразом ліфта цілком можна вважати навіть звичайний кошик з вантажем, який можна підіймати за допомогою мотузки та важеля на певну висоту.

Згадки про перші підймальні механізми вчені виявили ще в письменах Давнього Єгипту, датовані серединою III тисячоліття до н.е. Приблизно в той самий час вже використовували важелі з противагою і коловоротом, на які намотувалися мотузки.

Недолік таких способів підйому – розгойдування платформи. Це негативно впливало на безпеку людей і збереження вантажів. Прямолінійне пересування платформи забезпечили завдяки використанню обмежувальних напрямних. Це відкриття і стало фундаментальним в розвитку ліфтового обладнання.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи пристрою, схожого вже на сучасний ліфт, були виявлені в I столітті до н. е. в місті Геркуланум, який разом з Помпеями був похований під попелом Везувію. Пристосування використовувалося для підйому страв на верхні поверхи будівлі. Приблизно цим же періодом датується й опис ліфта, залишений римським архітектором і механіком Марком Вітрувієм. При цьому він вказує, що підйомний пристрій на його замовлення розробив Архімед із Сіракуз.

Ліфти були й у дворі імператора Нерона, який правив в I столітті. Вони застосовувалися як для підйому вантажів, так і людей. У Колізеї вчені теж нарахували 12 ліфтів. В них на арену підіймали гладіаторів і тварин.



Рисунок 1.1 – Перші підйомні механізми [21]

З настанням епохи Великої індустріальної революції машини й механізми знаходили все більше застосування на виробництві та в побуті. Підйомачі, що приводяться в рух тяговими тваринами, використовувалися в Європі при видобутку вугілля, руди та інших копалин в шахтах. У XVII-XVIII століттях ліфти переміщуються в палаци й стають предметами розкоші та розваг. Такі

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізми використовувалися в Петергофі і Версалі. Проектування «підйомних крісел», що рухаються по вертикальних ходових гвинтах, взяв на себе І.П. Кулібін.

1800 рік ознаменувався тим, що на одній з американських шахт для підняття ліфта вперше була залучена парова машина. Це дозволило збільшити швидкість підйому людей і вугілля. Дана подія стала точкою відліку використання ліфтового обладнання в якості комерційного. Але таке джерело енергії мало суттєві недоліки:

- парову машину потрібно було весь час підтримувати в робочому стані, що було вкрай незручно в тих випадках, коли ліфт використовувався періодично;
- через підвищений рівень шуму парові машини не можна було встановлювати в житлових будинках;
- через свої конструктивні особливості ліфти не відрізнялися безпекою.

Наступний етап удосконалення пасажирського та вантажного ліфтового обладнання доводиться на 1845 рік, коли американцем В.Томсон був представлений гідравлічний механізм. Але його недоліком була необхідність подачі води під високим тиском, якого не могли забезпечити водопровідні системи того часу. Проблема була вирішена в 1851 році, коли інженер В.Армстронг, за допомогою гідравлічного акумулятора, зміг забезпечити високий тиск води, що надходить в циліндр. На той час ліфти вже мали компоненти сучасних підйомників, а з 60-х років XIX століття пасажирські ліфти, що працюють на гідравліці, були встановлені в деяких готелях Англії.

Вигляд одного з підйомників, який використовує паровий механізм з гідравлічним акумулятором для переміщення кабіни по вертикальній площині ми можемо побачити на рисунку 1.2

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Ліфт на паровому механізмі [21]

Якщо говорити про те, коли й хто винайшов ліфт, забезпечив безпеку пасажирів, то, звичайно ж, мова піде про американського інженера Еліша Грейвса Отіса (1811-1861). Саме йому належить ідея створення механізму, що запобігає падінню кабіни в разі обриву троса.

Працюючи на одній з меблевих фабрик, Е.Г.Отіс створив підіймач для доставки будівельних матеріалів на верхні поверхи майстерні. Якщо до цього у всіх ліфтах трос кріпився безпосередньо до кабіни та при обриві дозволяв їй вільно падати, то Отіс зафіксував його за допомогою сталеві пластини-ресори, а з боків шахти встановив рейки з зубами. Під вагою навіть порожньої платформи ресора вигиналася і вільно проходила між напрямними. Коли ж трос обривався, то пластини випрямлялися, чіплялися краями за зуби, і кабіна ліфта зависала в шахті. Е.Отіс назвав своє дітище «безпечним ліфтом» і заснував компанію Otis Elevator.

Але Еліша Отіс далеко не єдиний стояв біля джерел створення ліфтів. Так, в 1867 році в Парижі на Всесвітній виставці французький інженер Леон Едду продемонстрував відвідувачам ліфт, в конструкції якого був використаний

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пустотілий плунжер з 4 окремих частин і противаги на ланцюгах. Фахівці висловлювали думку, що такий механізм не підходить для багатоповерхових будівель. У відповідь на це в 1878 році Л.Едду представив ліфт з удосконаленим циліндром, що піднімається на висоту 128,5 м. Саме такий підіймач і був вперше використаний для оснащення Ейфелевої вежі.

Компанія Otis Elevator не бажала здавати позицій і, починаючи з 1874 року, стала пропонувати ліфти поліпшеної конструкції. Але перегони парових і гідравлічних пристроїв були припинені в 1880 році, коли німецький інженер Вернер фон Сіменс запустив в Мангеймі перший підйомний пристрій з електричною тягою. Такий ліфт міг підніматися на висоту 22 метри всього лише за 11 секунд. Це був значний прорив



Рисунок 1.3 – Демонстрація роботи «безпечного ліфту» [21]

1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

У розробці кіберфізичних систем, зокрема підйомних механізмів, на ринку представлено декілька основних типів рішень. Вони значно відрізняються за вартістю, складністю впровадження, функціональністю та можливістю адаптації до конкретних умов. У цьому розділі розглянуто три основні підходи до побудови «розумного ліфта» з апаратної точки зору: промислові ліфти комерційного

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призначення, відкриті платформи для самостійної розробки, а також модульні конструктори освітнього призначення.

Комерційні ліфтові системи є прикладом високотехнологічного інженерного обладнання, що застосовується у багатоповерхових житлових і комерційних будівлях, лікарнях, аеропортах тощо. Виробники таких систем, як Otis, KONE, Schindler, Mitsubishi Electric, пропонують повністю укомплектовані рішення, які охоплюють електромеханічну частину, систему управління, інтерфейс користувача, засоби безпеки та підключення до інтернету для дистанційного моніторингу.

Переваги:

- надійність і довговічність: такі системи проходять сертифікацію, випробування в умовах навантаження та забезпечують високу стабільність роботи;
- рівень автоматизації: багато моделей оснащено інтелектуальним керуванням, яке оптимізує маршрут ліфта, враховує завантаженість поверхів, кількість пасажирів тощо;
- безпека: застосовуються багаторівневі системи аварійного гальмування, сенсори перевантаження, системи резервного живлення;
- обслуговування: сервісні центри та технічна підтримка здійснюють регулярне обслуговування обладнання.

Недоліки:

- закритість архітектури: розробник не має доступу до внутрішніх алгоритмів або можливості зміни апаратної частини без ліцензії;
- висока вартість: як початкове встановлення, так і сервісне обслуговування потребують значних фінансових витрат;
- обмежена адаптація до нетипових задач: складно інтегрувати в освітні чи експериментальні системи через жорстке ліцензування і складність модернізації.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приклади пристроїв:

Otis Gen2 Life® – популярна модель для житлових і адміністративних будівель, що використовує плоскі ремені та безредукторний привід. Система підтримує енергозбереження, підключення до хмарного моніторингу через Otis ONE.



Рисунок 1.4 – Otis Gen2 Life [32]

Окремої уваги в огляді сучасних рішень заслуговує KONE MonoSpace 500 – ліфт без машинного приміщення (MRL), який широко вважають галузевим еталоном енергоефективності. Його основою є компактний регенеративний електропривід KONE EcoDisc: під час гальмування або руху кабіни вниз система повертає енергію у внутрішню мережу будівлі, що знижує сумарне споживання до 20–35 % порівняно зі звичайними приводами.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – KONE MonoSpace 500 [33]

Schindler PORT Technology – платформа, яка забезпечує інтелектуальне управління пасажиропотоком, персоналізований доступ та інтеграцію з мобільними пристроями.

Переваги:

- індустріальна надійність;
- сучасні технології підключення (IoT);
- підтримка від виробника.

Недоліки:

- надмірна вартість для навчальних цілей;
- закритість і неможливість модифікацій;
- потреба у спеціалізованому монтажі та сервісі.

Платформи на базі відкритого апаратного забезпечення (Open Hardware), такі як Arduino, ESP32, STM32, дозволяють створити повноцінну систему управління підйомним пристроєм для побутового чи навчального використання. Вони є ідеальними для прототипування, оскільки підтримуються спільнотами, мають гнучкі засоби програмування, сумісні з різними датчиками та приводами.

Переваги:

- низька вартість: базовий контролер Arduino можна придбати за \$3-5, а ESP32 із Wi-Fi - за \$5-10;

					КвРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- гнучкість: користувач сам обирає необхідні компоненти, розробляє алгоритми, комбінує функціональні блоки відповідно до завдань;
- навчальний потенціал: чудово підходить для студентів, викладачів, ентузіастів для навчання мікроелектроніці, схемотехніці та програмуванню;
- широка підтримка спільноти: тисячі бібліотек, прикладів і документації у відкритому доступі.

Недоліки:

- низький рівень безпеки: у базовій конфігурації немає сертифікованих засобів захисту – все потрібно розробляти вручну;
- надійність: недорогі компоненти можуть бути нестабільними під час тривалого або інтенсивного використання;
- складність інтеграції: при переході до реального середовища необхідно враховувати шумозахищеність, захист від перенапруги, вогнестійкість тощо;
- високий поріг відповідальності: розробник несе повну відповідальність за конструктивну безпеку системи.

Приклади пристроїв:

DIY Arduino Elevator Project - десятки прикладів проектів доступні на GitHub та YouTube, у яких за допомогою Arduino UNO, сенсорів, кнопок, серводвигунів та ЖК-дисплеїв реалізовано базову ліфтову логіку з рухом між поверхами.



Рисунок 1.6 – Arduino Elevator Project [24]

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ESP32 + TMC2209 – проекти, де ліфт керується за допомогою драйвера двигуна з мікростепінгом, з виводом стану на веб-інтерфейс або мобільний застосунок через Wi-Fi. STM32 Smart Elevator System – проекти з використанням RTOS (реального часу ОС), які симулюють поведінку промислових ліфтів для цілей досліджень.

Переваги:

- повна гнучкість;
- можливість розширення функцій (Wi-Fi, Bluetooth, сенсори наближення, LED-дисплеї);
- низька вартість.

Недоліки:

- потреба у глибших знаннях електроніки;
- відсутність індустриального захисту;
- менша стабільність під час довготривалої роботи.

STEM-конструктори та навчальні платформи (LEGO Mindstorms, Makeblock, Fischertechnik)

Такі системи орієнтовані на швидке складання та вивчення основ робототехніки. Вони не призначені для використання у виробничих умовах, проте чудово підходять для початкового моделювання кіберфізичних систем, у тому числі прототипів підйомних механізмів.

Переваги:

- простота використання: підключення та програмування реалізоване у вигляді блок-схем, доступне навіть дітям;
- наявність навчальних матеріалів: офіційні посібники, методики та візуальні приклади полегшують вивчення;
- безпека: всі компоненти мають низьковольтне живлення, механічно безпечні;
- інтеграція з ПК/смартфоном: зручні засоби керування й моніторингу.

Недоліки:

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– висока вартість у розрахунку на функціональність: набір LEGO Mindstorms коштує \$300-400, але не забезпечує доступу до низькорівневих компонентів;

– обмеження у масштабуванні: не можна інтегрувати в реальні системи без глибокої переробки;

– нереалістичність моделей: створені системи не можуть використовуватися поза навчальним контекстом через мініатюрність, матеріали і потужність.

Приклади пристроїв:

LEGO Mindstorms EV3 Elevator Model – навчальний проект, де діти можуть створити модель ліфта, що рухається між поверхами, реагує на кнопки, має просту програмну логіку.



Рисунок 1.7 – LEGO Mindstorms EV3 Elevator Model [25]

Makeblock mBot Neo Smart Elevator – набори із сенсорами, моторами, блоковим програмуванням (mBlock), що дозволяють моделювати прості автоматизовані системи.

Fischertechnik Smart Factory Elevator – частина навчального комплексу з моделями для симуляції промислової автоматизації (включаючи конвеєри, маніпулятори, ліфти).

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

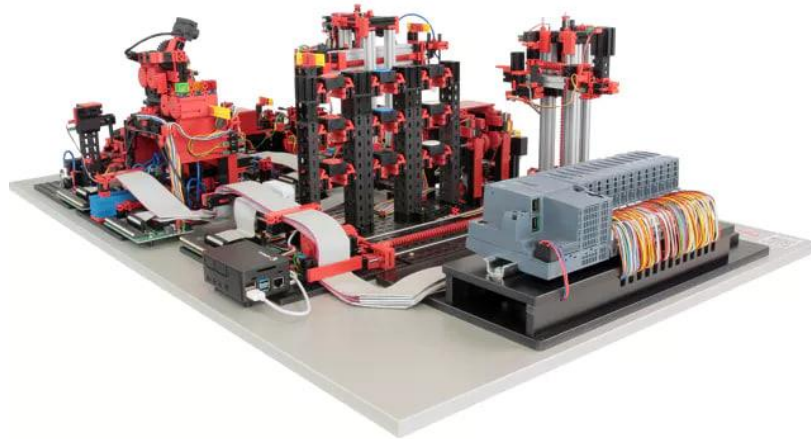


Рисунок 1.8 – Fischertechnik Smart Factor [36]

Переваги:

- простота та безпека в користуванні;
- готові навчальні методики;
- ідеальні для шкільного/початкового рівня вивчення.

Недоліки:

- нереалістичність для інженерних досліджень;
- висока ціна наборів у розрахунку на обмежену функціональність;
- не призначені для тривалої або серйозної експлуатації.

1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження

Розробка кіберфізичної системи типу «розумний ліфт» передбачає вибір відповідної апаратної платформи, яка забезпечить керування процесами переміщення, індикації та обробки команд користувача. Основну увагу в рамках цього проєкту приділено вибору мікроконтролера, як головного елемента управління всією системою.

Серед можливих варіантів найбільш доцільним є використання таких платформ:

– Arduino – проста у використанні платформа з широкою підтримкою та великою кількістю готових бібліотек, що ідеально підходить для створення базової логіки керування ліфтом;

– ESP32 – більш продуктивне рішення з вбудованими можливостями бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth), що відкриває можливості для віддаленого моніторингу та розширеної функціональності;

– STM32 – сучасна мікроконтролерна платформа з підтримкою операційних систем реального часу (RTOS), яка підходить для складніших задач, але вимагає глибших знань з програмування.

Кожна з цих платформ може бути адаптована до конкретних потреб, залежно від обсягу функцій, які передбачається реалізувати у проєкті.

1.4 Висновки до першого розділу

У першому розділі було проведено комплексне теоретичне дослідження сучасних кіберфізичних ліфтових систем. Насамперед здійснено огляд наукових джерел і нормативної бази, що регламентує безпеку та функціональність підйомного обладнання (зокрема, вимоги EN 81-20/50, IEC 61508, українські ДСТУ). Аналіз літератури показав, що останніми роками тематика «розумних» ліфтів тяжіє до інтеграції сенсорних мереж, IoT – телеметрії й алгоритмів штучного інтелекту для оптимізації групового керування кабінами та прогнозного обслуговування. Порівняльний аналіз наявних рішень продемонстрував такі переваги світових зразків: поєднання багатосенсорних схем із безконтактними інтерфейсами керування, застосування алгоритмів розподілу потоків пасажирів та адаптивних систем безпеки. Разом з тим виявлено низку проблем: висока ціна комерційних контролерів, складність уніфікації між блоками безпеки та керування, а також значні вимоги до сертифікації для локального ринку.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Узагальнюючи результати першого розділу, можна зробити висновок, що обрана концепція «Розумного ліфта» – відкрита, модульна, орієнтована на симуляційно-керований цикл розробки – повною мірою відповідає сучасним тенденціям розвитку кіберфізичних систем, задовольняє нормативні вимоги та має потенціал для подальшого практичного впровадження.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ЛІФТ»

2.1 Визначення апаратних вимог і технічних характеристик

Під час проєктування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт» було сформовано чіткий перелік основних структурних блоків, необхідних для забезпечення надійної роботи та взаємодії усіх компонентів. За результатами аналізу поставлених задач і функцій системи, виділено такі основні блоки:

- керуючий блок (контролер);
- блок приводу дверей та переміщення кабіни;
- блок датчиків (сенсорна система);
- блок індикації та керування.

Вибір саме таких структурних блоків зумовлений необхідністю забезпечити виконання всіх функцій системи з максимальною простотою, надійністю та можливістю подальшого моделювання і тестування в спеціалізованих середовищах. Кожен блок має чітке апаратне призначення та сформований набір компонентів. Далі наведено деталізований опис кожного структурного блоку з конкретизацією обраних елементів, а також обґрунтуванням їхнього вибору.

Ключовим компонентом апаратної частини є мікроконтролер Arduino Mega 2560 на базі мікросхеми ATmega2560. Вибір цього контролера зумовлений значною кількістю доступних цифрових та аналогових входів/виходів, достатнім обсягом пам'яті (256 КБ Flash, 8 КБ SRAM) і тактовою частотою 16 МГц. Arduino Mega здатний одночасно працювати з великою кількістю периферійних пристроїв (датчики, приводи, індикація) без використання додаткових модулів розширення, що значно спрощує реалізацію. Інші контролери (наприклад, Arduino Uno) не мають достатньої кількості доступних виводів, а складніші плати (STM32, Arduino Due) були б надлишковими за продуктивністю і складнішими в налаштуванні без суттєвих переваг. Більш детально з розміщенням виводів можна

потребує складних схем керування, забезпечує достатній момент для переміщення дверей і кабіни у межах модельних навантажень. Для живлення двигуна та захисту мікроконтролера від високих струмів навантаження використано драйвер ULN2003A. Даний драйвер містить інтегровані транзисторні ключі з вбудованими захисними діодами, що забезпечує простоту та надійність схеми, мінімізуючи кількість зовнішніх компонентів.

На рисунках 2.2 та 2.3 можна побачити їх зображення елементів, про які йшла мова в даному розділі у відповідній послідовності

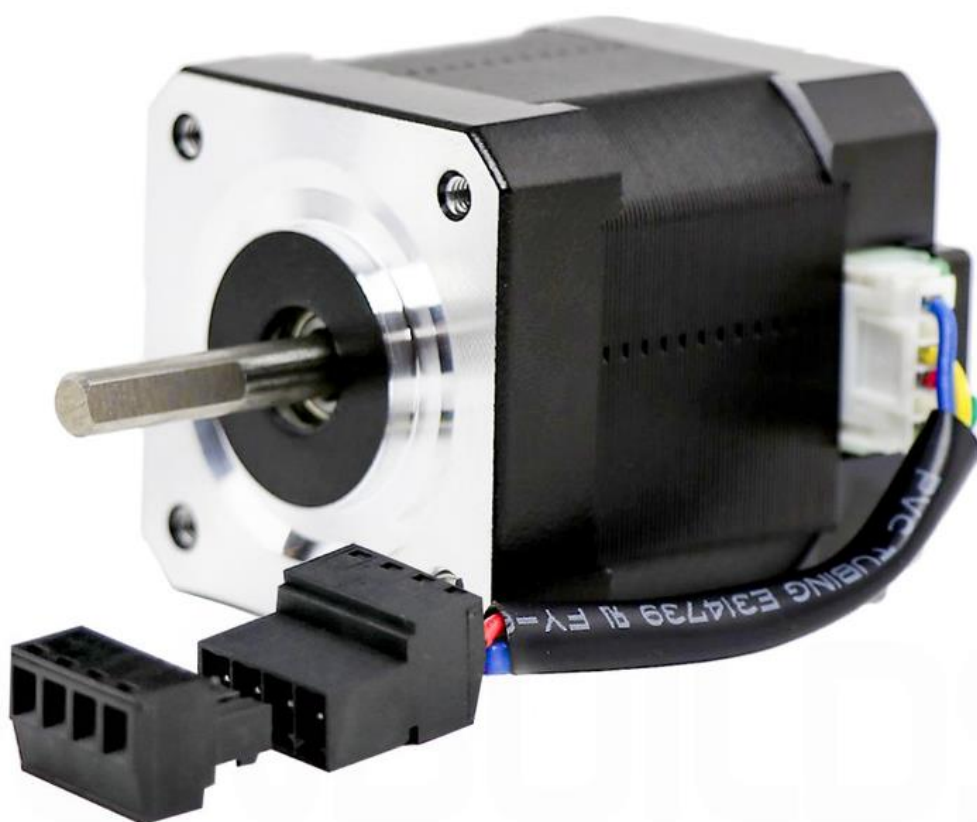


Рисунок 2.2 – кроковий двигун NEMA-17 [28]

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

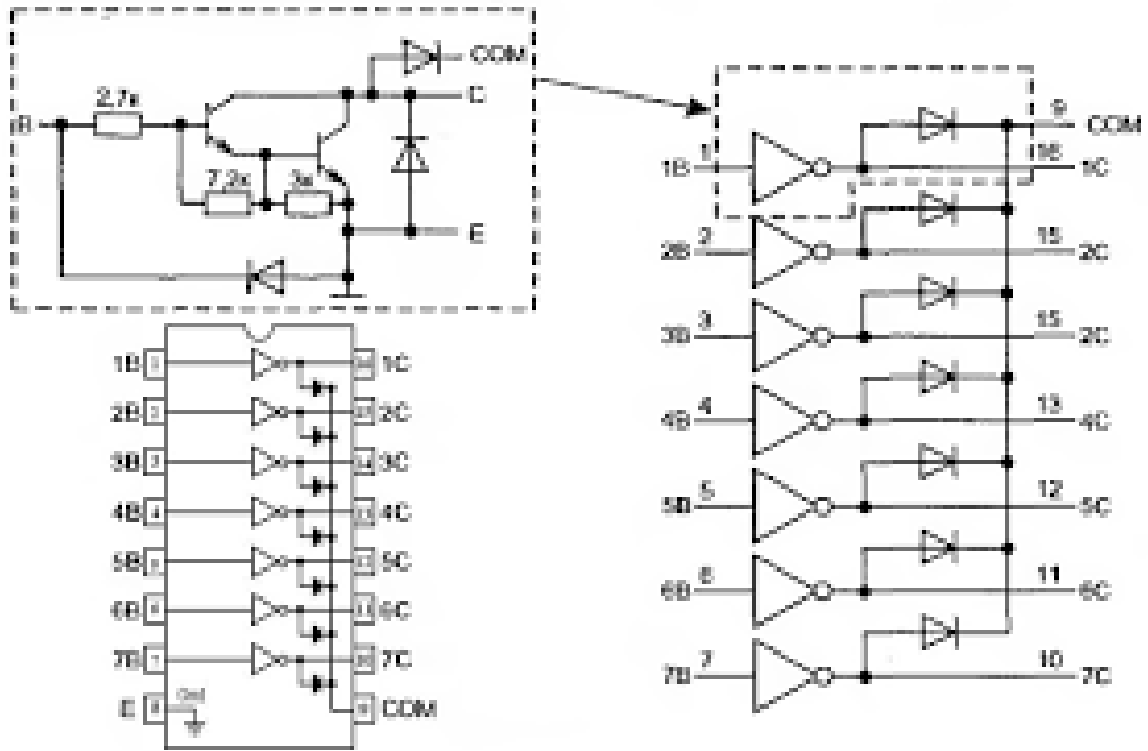


Рисунок 2.3 – Схема роботи мікросхеми-драйвера ULN2003A [29]

Сенсорний блок відповідає за безпеку пасажирів та своєчасну реакцію ліфта на зовнішні події. До цього блоку входять:

- інфрачервоні датчики перешкод (Obstacle IR sensors);
- газовий датчик MQ-2.

Для контролю безпечного руху дверей використано два інфрачервоні датчики, що розміщені у верхній і нижній частині дверного прорізу. Використання саме двох датчиків дозволяє з високою точністю виявляти присутність будь-яких об'єктів (зокрема пасажирів) у зоні закривання дверей. Перевагою таких датчиків є висока швидкість спрацювання, чіткий цифровий сигнал на виході, а також можливість простої інтеграції без додаткових схем. Зображення даного датчику, а також його основні елементи ми можемо побачити на рисунку 2.4.

Блок індикації та керування забезпечує взаємодію користувача із системою ліфта, інформує про стан роботи та дозволяє вручну керувати його функціями. Основні компоненти цього блоку:

- LCD-дисплей (LCD1602);
- LED-індикатори поверхів;
- кнопки виклику поверхів;
- кнопка аварійної зупинки;
- п'єзоелектричний зумер.

LCD-дисплей типу 1602 (два рядки по 16 символів) забезпечує зрозумілу та швидко індикацію основних параметрів роботи ліфта: номер поточного поверху, цільовий поверх, наявність аварійних ситуацій. Цей дисплей простий у керуванні, не потребує значної кількості виводів контролера (лише шість ліній у чотирибітному режимі), що дозволяє ефективно використовувати доступні ресурси.

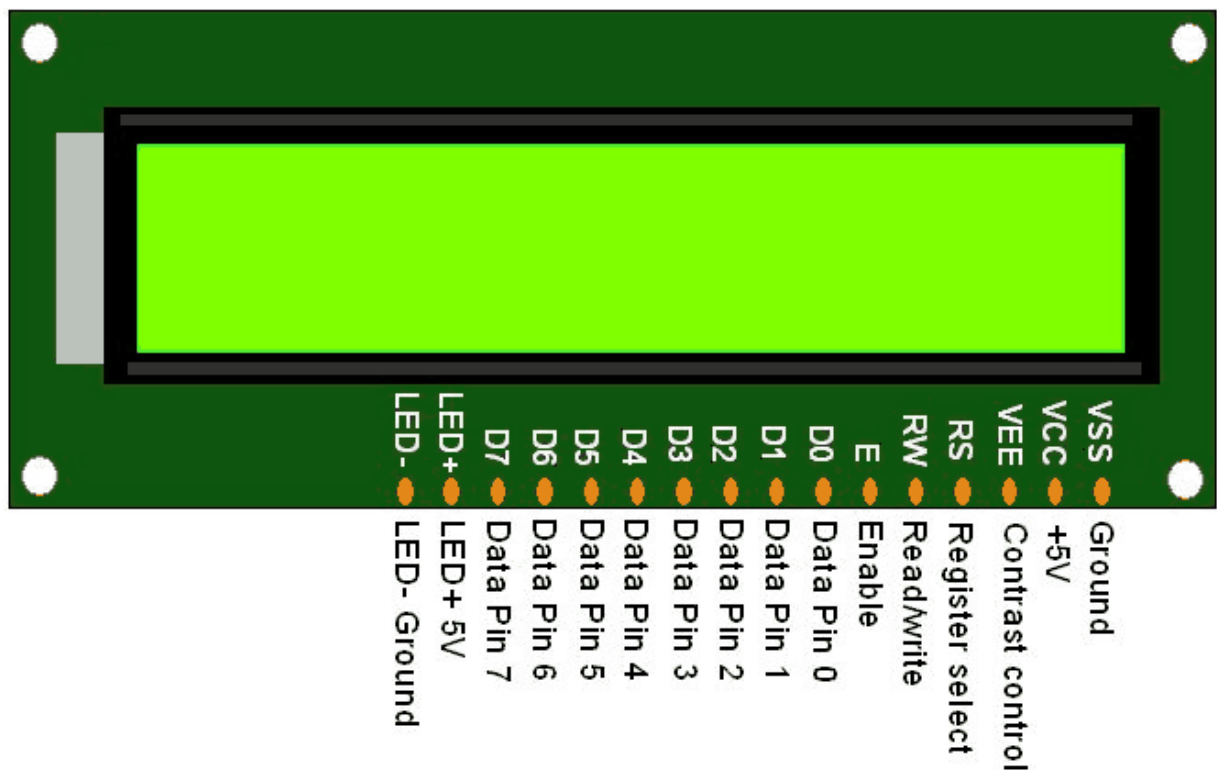


Рисунок 2.6 – LCD-дисплей типу 1602 [22]

LED-індикатори та кнопки виклику поверхів забезпечують зрозумілий інтерфейс для пасажирів: натиснення кнопок виклику супроводжується включенням відповідного LED-індикатора, що підтверджує прийняття команди. Кнопка аварійної зупинки забезпечує миттєву реакцію системи на позаштатну ситуацію.

2.2 Структурна схема апаратних модулів та їх взаємодія

Наступним важливим етапом після визначення переліку компонентів та їх основних характеристик є формування чіткої структурної схеми, яка дозволяє проілюструвати принципову організацію системи та логіку взаємодії окремих модулів. Така схема визначає спосіб апаратного з'єднання компонентів, встановлює межі між різними функціональними блоками та дає змогу зрозуміти, як саме система реагуватиме на ті чи інші вхідні сигнали.

Для забезпечення безвідмовного функціонування кіберфізичної системи «Розумний ліфт» було розроблено розгорнуту структурну схему (див. рисунок 2.7), засновану на концепції централізованого керування. Її фундаментальна ідея полягає в тому, щоб усі периферійні модулі—датчики положення, безпеки та присутності; виконавчі механізми дверей і кабіни; підсистеми індикації, сигналізації й живлення—з'єднувалися безпосередньо з єдиним логічним «мозком», мінімізуючи кількість проміжних вузлів і, відповідно, потенційних точок відмови. У ролі такого ядра обрано плату Arduino Mega 2560, що базується на мікроконтролері ATmega2560. Перевага цієї архітектури полягає у поєднанні великої кількості портів (54 цифрові, 16 аналогових) із достатнім обсягом оперативної пам'яті (8 КБ SRAM) та флеш-пам'яті (256 КБ). Це дозволяє одночасно опитувати комплекс датчиків—від інфрачервоних бар'єрів у дверях до газового сенсора MQ-2—та формувати керуючі послідовності для двох крокових двигунів (кабіна та двері) через драйвери ULN2003A.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

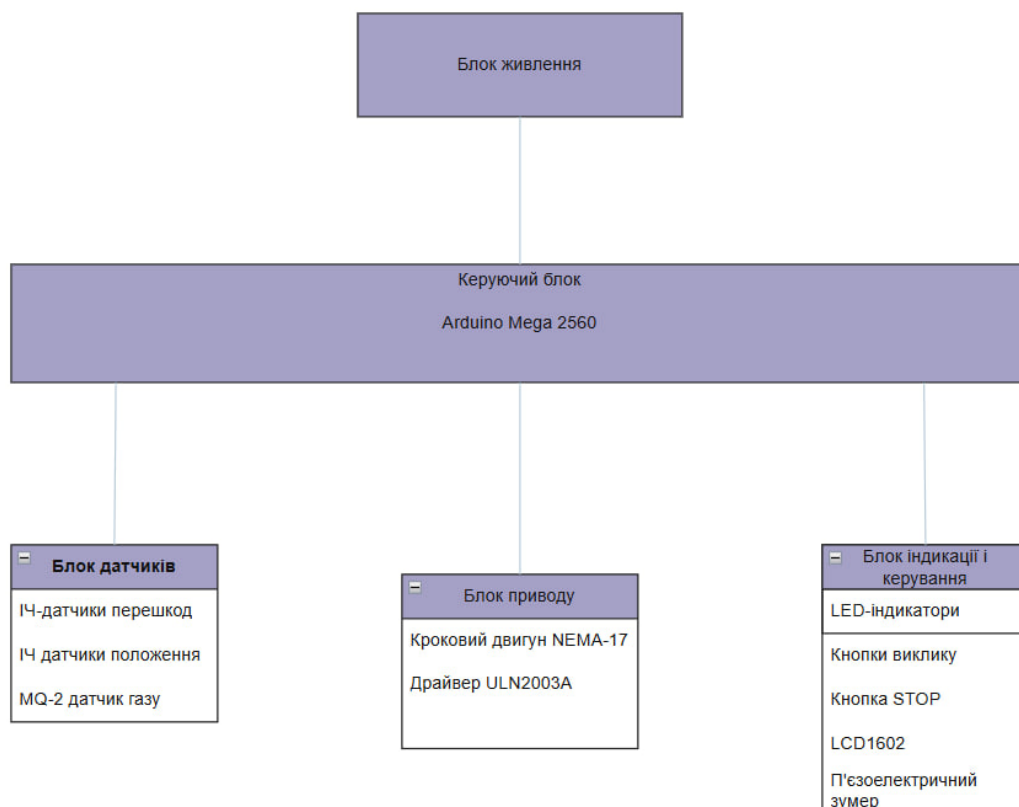


Рисунок 2.7 – Загальна структурна схема апаратної частини «Розумного ліфта»

У структурі системи виділено наступні основні функціональні блоки, які з'єднуються безпосередньо з керуючим блоком:

- блок датчиків положення кабіни;
- блок датчиків безпеки (перешкод і загазованості);
- блок приводу дверей і переміщення кабіни;
- блок індикації та керування;
- блок живлення.

Кожен з цих блоків є автономною частиною системи, яка має чітко визначені функції та способи підключення до центрального вузла.

Керуючий блок (Arduino Mega 2560) забезпечує централізований контроль і координацію роботи всіх елементів. Через свої численні цифрові та аналогові входи він отримує інформацію від датчиків, кнопок виклику, аварійної зупинки та інших елементів. На основі аналізу цих сигналів контролер формує сигнали

керування для приводу дверей, переміщення кабіни та активує різні режими роботи (наприклад, аварійний чи штатний). Крім того, контролер генерує сигнали для індикації та звукового сповіщення, забезпечуючи зручність і безпеку пасажирів.

Блок датчиків положення кабіни включає набір інфрачервоних датчиків, встановлених на кожному поверсі. Ці датчики генерують дискретні сигнали, які чітко вказують на перебування кабіни на певному поверсі. Завдяки цьому забезпечується точне позиціонування кабіни та її своєчасна зупинка. Відповідно, керуючий блок отримує інформацію, яка дозволяє формувати точні та своєчасні керуючі команди для двигуна, запобігаючи помилкам позиціонування кабіни та забезпечуючи максимальну комфортність руху для пасажирів.

Блок датчиків безпеки забезпечує безпеку роботи ліфта та складається з газового сенсора MQ-2 і двох інфрачервоних датчиків перешкод (верхнього та нижнього), встановлених у зоні дверей кабіни. Газовий датчик постійно контролює рівень небезпечних газів та диму. У разі перевищення встановленого порогу контролер миттєво отримує сигнал про небезпеку і переходить у аварійний режим роботи. Два ІЧ-датчики перешкод, які розташовані на дверях кабіни у верхній і нижній частинах, визначають наявність сторонніх об'єктів під час закриття дверей. Ця схема забезпечує чітку логіку: одночасне спрацювання обох датчиків означає повне закриття дверей, тоді як спрацювання лише одного сигналізує про наявність перешкоди, що веде до зупинки та реверсу дверей.

Блок приводу дверей і переміщення кабіни є суто виконавчим модулем, що отримує керуючі сигнали від контролера. Цей блок складається з крокового двигуна NEMA-17 і драйвера ULN2003A. Драйвер перетворює сигнали контролера в струми для крокового двигуна, забезпечуючи точне позиціонування кабіни ліфта і чітке відкриття/закриття дверей. Обраний двигун має достатній крутний момент і точність, що гарантує стабільний і надійний рух механічних частин ліфта. Важливою перевагою такого підходу є повністю кероване,

дискретне переміщення, що забезпечує точність зупинок та мінімізує ризик помилок при позиціюванні кабіни.

Блок індикації та керування призначений для інформування пасажирів та забезпечення зручного керування ліфтом. LCD-дисплей дозволяє відобразити важливу інформацію про поточний стан системи (номер поверху, повідомлення про аварійні ситуації), а LED-індикатори візуально підтверджують команди користувачів. Кнопки виклику поверхів та аварійна кнопка STOP безпосередньо підключені до контролера, що дозволяє миттєво реагувати на дії пасажирів. П'єзоелектричний зумер доповнює інформаційне забезпечення системи, формуючи звукові сигнали при зміні поверху або виникненні аварійних ситуацій.

Блок живлення забезпечує надійну роботу всіх складових системи. Для цього використовується стабілізоване джерело постійного струму з напругою +5 В і максимальним струмом 2 А. Такий підхід дозволяє розмежувати живлення логічної частини (контролер, датчики, дисплей, зумер, LED-індикатори) і двигуна, мінімізуючи перешкоди та забезпечуючи стабільність роботи системи навіть при пікових навантаженнях.

Розроблена та описана структурна схема апаратних модулів (див. Рисунок 2.7) забезпечує чітке розуміння способу підключення та взаємодії компонентів. Кожен структурний блок взаємодіє із центральним керуючим вузлом за чітко визначеним принципом, що робить систему прозорою, логічною та максимально ефективною. Це гарантує стабільну і безпечну роботу кіберфізичної системи «Розумний ліфт».

2.3 Опис функціонального призначення основних модулів апаратної частини, їх взаємозв'язок та принципи обміну даними

Кіберфізична система «Розумний ліфт» є складним комплексом, який об'єднує різноманітні апаратні компоненти. Для забезпечення ефективної роботи такої системи необхідно чітко визначити функціональне призначення кожного з

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модулів, описати їхні взаємозв'язки та способи передачі сигналів між ними. Це дозволяє забезпечити точність роботи, швидку реакцію на зовнішні події та високий рівень безпеки для користувачів системи.

Головним елементом, який забезпечує централізоване керування всіма підсистемами, є мікроконтролер Arduino Mega 2560 на базі ATmega2560. Основна функція цього модуля полягає в прийомі, аналізі та інтерпретації інформації, що надходить від сенсорів, та формуванні команд управління для інших виконавчих пристроїв. Завдяки наявності великої кількості доступних виводів (54 цифрових та 16 аналогових входів), цей мікроконтролер може одночасно обслуговувати значну кількість датчиків і виконавчих механізмів без застосування додаткових модулів розширення, що суттєво спрощує реалізацію проєкту.

Обмін даними всередині контролера відбувається за допомогою вбудованого АЦП (аналогово-цифрового перетворювача), цифрових портів вводу/виводу, внутрішніх регістрів та пам'яті. Контролер виконує безперервне сканування входів, аналізує отримані сигнали, формує алгоритмічно керовані відповіді на ці сигнали та надсилає відповідні команди на виходи. Така схема роботи гарантує миттєве реагування системи на будь-які події та забезпечує високу швидкість обробки інформації (час реакції до кількох мілісекунд).

Модуль датчиків положення кабіни призначений для точного визначення позиції кабіни ліфта щодо поверхів. Для цього використовуються інфрачервоні сенсори, встановлені на рівні кожного поверху. Кожен сенсор генерує цифровий сигнал (логічний рівень «1») при наявності кабіни в зоні його дії. Завдяки цьому контролер має змогу оперативно визначити момент прибуття кабіни на потрібний поверх і миттєво зупинити її рух, тим самим забезпечуючи максимальний комфорт та безпеку пасажирів.

Інфрачервоні датчики обрані завдяки їх надійності та швидкодії (час спрацювання близько 20 мс). Їхнє пряме підключення до цифрових входів контролера виключає потребу у проміжних компонентах і дозволяє мінімізувати ризик збоїв та помилкових сигналів.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

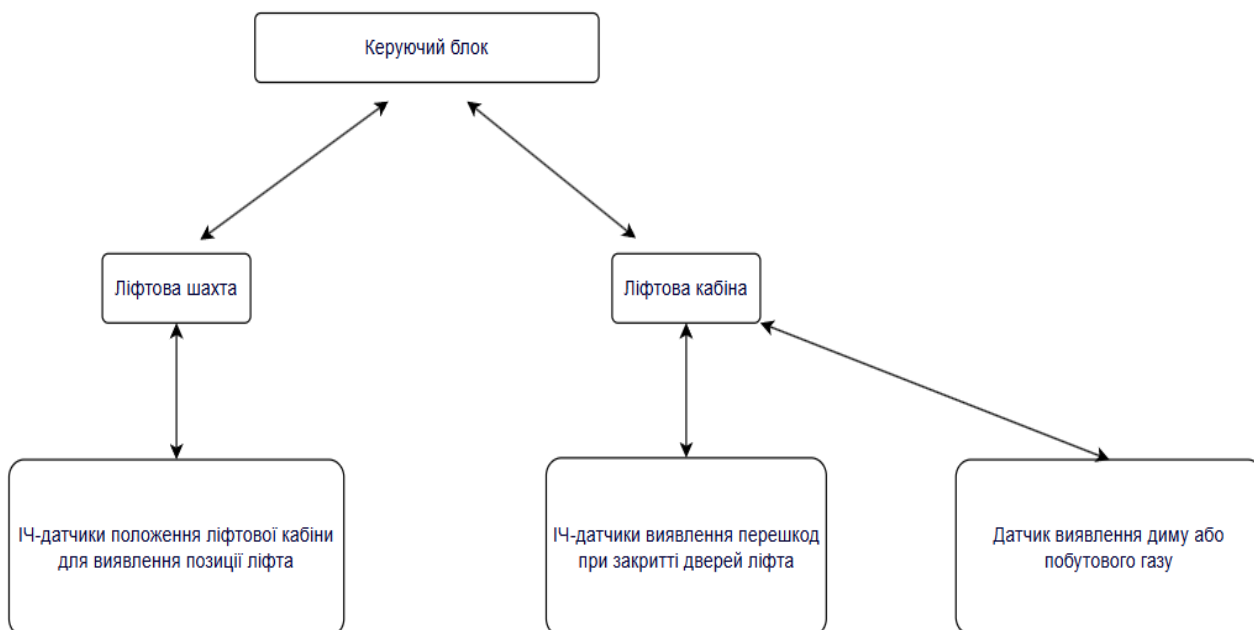


Рисунок 2.8 – Структурна схема блоку датчиків кабіни

Наведена вище схема показує, що кожен інфрачервоний датчик положення (розташований у шахті на рівні поверху) формує окремий дискретний сигнал, який передається безпосередньо на відповідний цифровий вхід мікроконтролера. Стрілки, спрямовані від «Ліфтової шахти» до «Керуючого блоку», ілюструють односторонній характер передачі даних: контролер лише зчитує стан датчиків, не надсилаючи у зворотному напрямку жодних керуючих сигналів. Така конфігурація мінімізує затримки й підвищує точність визначення моменту прибуття кабіни на поверх.

Модуль датчиків безпеки відповідає за забезпечення безпеки пасажирів та системи в цілому. До його складу входять:

- газовий сенсор MQ-2;
- інфрачервоні датчики перешкод дверей ліфта (верхній і нижній).

Газовий сенсор MQ-2 постійно контролює стан повітря в кабіні ліфта на предмет концентрації газів або диму. В разі перевищення критичного рівня контролер отримує аналоговий сигнал, порівнює його з попередньо заданим

пороговим значенням і переводить систему у режим підвищеної небезпеки, негайно зупиняючи ліфт та активуючи аварійну сигналізацію.

Інфрачервоні датчики перешкод, розташовані у верхній та нижній частинах дверного отвору, призначені для запобігання випадкового затискання пасажирів чи предметів дверима. Якщо під час закривання дверей спрацьовує лише один із цих датчиків, контролер негайно припиняє рух дверей і подає сигнал на зворотне відкривання. В разі одночасного спрацювання обох датчиків вважається, що двері повністю закрилися. Це дозволяє гарантувати абсолютну безпеку та виключити будь-яку можливість травмування пасажирів.

Виконавчий модуль, що забезпечує рух кабіни між поверхами та відкривання/закривання дверей, реалізується за допомогою крокового двигуна NEMA-17 та спеціалізованого драйвера ULN2003A. Контролер подає на драйвер чітку послідовність сигналів, що приводить до точних, дискретних рухів двигуна. Це гарантує високий рівень точності зупинки кабіни та точності управління дверима. Саме кроковий двигун був обраний завдяки простоті управління, стабільності роботи та високій точності позиціонування без потреби у додаткових датчиках зворотного зв'язку.

Драйвер ULN2003A забезпечує необхідні струми для керування двигуном, включає в себе транзисторні ключі з захисними діодами, які захищають контролер від високих напруг індуктивного навантаження. Це забезпечує довговічність та надійність експлуатації всієї системи.

Структурну схему блоку приводу можна побачити на рисунку 2.9, який наведено нижче.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

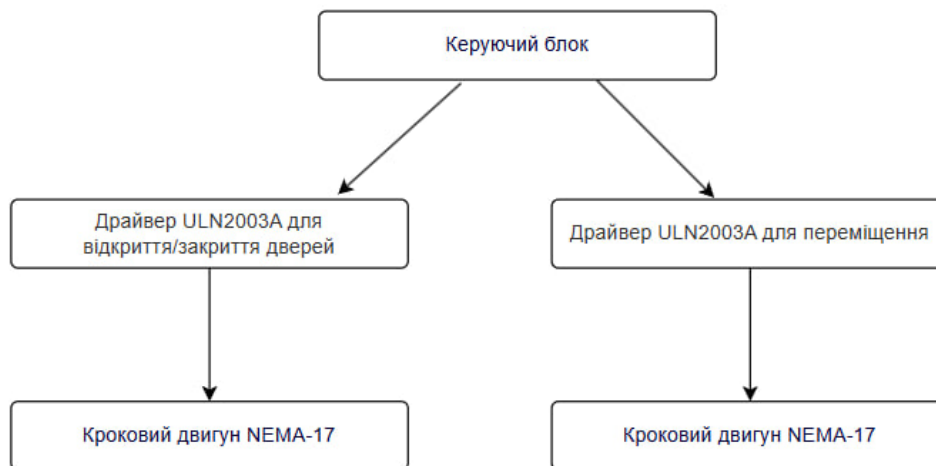


Рисунок 2.9 – Структурна схема блоку приводу

Контролер подає керуючі сигнали на два окремі драйвери ULN2003A. Перший драйвер призначений для відкриття та закриття дверей, другий – для вертикального переміщення кабіни. Кожен драйвер, у свою чергу, керує власним кроковим двигуном NEMA-17. Такий «згрупований» підхід дає змогу:

- рознести силові ланцюги двох механічних систем (двері – кабіна) і тим самим знизити ймовірність взаємних завад;
- застосовувати різні профілі швидкості: для дверей – плавний короткий хід, для кабіни – довгострокова циклічна робота;
- у випадку відмови одного двигуна продовжувати роботу другої підсистеми без втрати контрольованості.

Блок індикації й керування відповідає за взаємодію з користувачами та інформування їх про стан системи. До його складу входять:

- LCD-дисплей (LCD1602);
- світлодіодні індикатори;
- кнопки виклику поверхів та аварійної зупинки;
- п'єзоелектричний зумер.

LCD-дисплей забезпечує виведення інформації щодо поточного стану ліфта: номер поверху, напрямок руху, повідомлення про аварії та попередження. LED-

індикатори показують активні команди і поточний статус роботи ліфта. Кнопки виклику поверхів дозволяють пасажиром легко викликати ліфт на потрібний поверх, а кнопка аварійної зупинки надає можливість оперативно зупинити роботу ліфта в надзвичайних ситуаціях.

Зумер використовується для звукового сповіщення про зміну стану ліфта або для аварійного попередження пасажирів. Всі елементи цього модуля підключені напряму до контролера, що дозволяє здійснювати їхнє оперативне керування без затримок і проміжних пристроїв. Структурну схему роботи даного модуля можна побачити на рисунку 2.10.

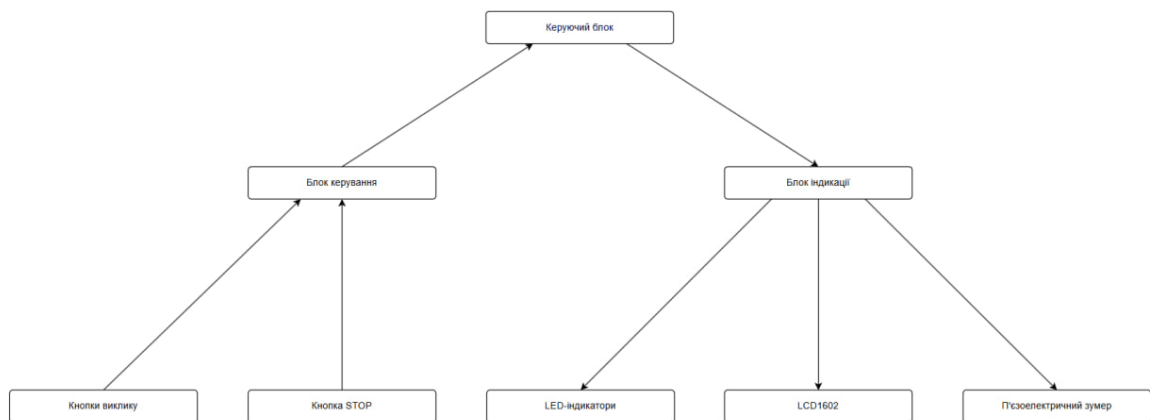


Рисунок 2.10 – Структурна схема блока індикації та керування

Як можна побачити на рисунку 2.10 блок розділено на дві частини:

- «блок керування» – приймає дії користувача (кнопки виклику, кнопка STOP) і формує відповідні сигнали, які одразу надходять на контролер;
- «блок індикації» – містить світлодіоди, LCD-дисплей і п'єзоелектричний зумер. Вихідні лінії від контролера керують цими елементами, відображаючи стан системи.

Особливість схеми полягає в тому, що кнопки і LED-індикатори утворюють «замкнену петлю» зворотного зв'язку: натискання кнопки виклику одразу підсвічує відповідний світлодіод, що підтверджує реєстрацію команди пасажиром, не чекаючи завершення всього циклу логіки.

Важливим додатковим блоком є стабілізоване джерело постійної напруги 5 В, що забезпечує стабільну роботу всіх електронних компонентів. Для надійності роботи модуль має запас потужності (до 2 А) і забезпечує стабільність напруги навіть при пікових навантаженнях, що виникають під час переміщення кабіни чи відкривання дверей.

Об'єднавши всі локальні схеми, отримуємо комплексну картину:

- односторонні «сенсор → контролер» лінії: позиційні ПЧ-датчики шахти, ПЧ-датчики перешкод, газовий сенсор;
- двосторонні «користувач ↔ контролер» канали: кнопки виклику/STOP (вхід) та світлодіоди, LCD, зумер (вихід);
- односторонні силові «контролер → драйвер → двигун» канали: формування послідовностей керування ULN2003А для дверей і кабіни.

Такий розподіл дозволяє централізованому контролеру в реальному часі синхронізувати роботу всіх виконавчих механізмів із показаннями датчиків, не вводячи проміжних логічних рівнів та зберігаючи простоту апаратної архітектури.

2.4 Нормативна та стандарт-орієнтована відповідність апаратної частини

Ефективне впровадження та подальша сертифікація кіберфізичної системи «Розумний ліфт» можливі лише за умови дотримання чинних галузевих норм і стандартів безпеки. Нижче узагальнено, яким чином апаратна конфігурація, описана у підрозділах 2.1–2.3, корелює з ключовими міжнародними та національними документами, а також які додаткові заходи враховано для приведення розробки у відповідність до вимог регуляторних органів. Нижче наведено таблицю 2.1 де наведено базові галузеві стандарти, які враховувались при виборі комплектуючих та проектуванні апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт»

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Базові галузеві стандарти для ліфтових систем

Позначення	Назва та релевантні розділи	Актуальність для проекту
EN 81-20 / EN 81-50 (ISO 8100-20/50)	безпечна конструкція і випробування пасажирських та вантажних ліфтів;	обумовлює застосування двоканальної (redundant) схеми виявлення перешкод і вимогу до зупинки/реверсу $\leq 0,05$ с
EN 12015 / EN 12016	ЕМС-вимоги для ліфтового обладнання (випромінення та чутливість)	підтримується через окреме живлення двигунів, фільтри LC на лінії 5 В та ґрунтування екранів сигнальних кабелів.
IEC 61508-1/2	функціональна безпека Е/Е/П систем; рівні SIL	дворазові ІЧ-датчики дверей + Watchdog-таймер у ПЗ розраховані на SIL 1
ISO 13849-1	безпека машин. Частина систем керування, пов'язані з безпекою	забезпечено архітектурою «категорія 2» – діагностика плюс ручний тест STOP
IEC 61000-4-4 / 4-5	стійкість до EFT/Burst і імпульсних перенапруг	передбачено TVS-діоди 5 В на лініях живлення та оптопарне розділення газового сенсора
ДСТУ 7451:2013	національний стандарт України для ліфтів	система повністю проектується з урахуванням відповідних пунктів щодо захисту від затискання та диму

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ

Арк.
35

Запропонована апаратна конфігурація не лише виконує технічні вимоги до «розумного» ліфта, а й закладає фундамент для формальної сертифікації за європейськими нормами EN 81-20/50, а також національними ДСТУ. Дотримання стандартів із функціональної безпеки та ЕМС мінімізує ризики для пасажирів, спрощує подальший процес узгодження з державними наглядовими структурами й підвищує ринкову привабливість проєкту.

2.5 Висновки

В межах другого розділу дипломної роботи було здійснено детальне проєктування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт». Під час виконання цього етапу визначено основні вимоги до компонентної бази системи, враховуючи специфіку її функціонування та необхідність забезпечення безпеки й надійності експлуатації. Було проведено аналіз та обґрунтовано вибір центрального керуючого пристрою — мікроконтролера Arduino Mega 2560. Вибір саме цього контролера дозволив забезпечити достатню кількість цифрових та аналогових портів для прямого підключення всіх сенсорних та виконавчих модулів без додаткових елементів розширення. Підтверджено, що контролер володіє необхідними характеристиками продуктивності, швидкості обробки сигналів і сумісності з периферією.

Окрему увагу приділено детальному опису структурної схеми системи, у межах якої чітко визначено функції, взаємозв'язки та принципи взаємодії всіх основних апаратних модулів. Доведено, що обрана централізована схема управління є оптимальною з огляду на надійність, простоту реалізації та швидкість реакції системи на вхідні сигнали. Описано принцип обміну даними між датчиками положення, датчиками безпеки, приводом дверей і кабіни, а також блоком індикації й керування.

Кожен блок системи докладно розглянуто з визначенням його функціонального призначення та ролі в загальній архітектурі. Зокрема:

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- блок датчиків положення забезпечує високу точність позиціонування кабіни на заданих поверхах;
- блок датчиків безпеки (двоканальні ІЧ-бар'єри дверей і газовий сенсор MQ-2) дозволяє оперативно реагувати на перешкоди та загазованість;
- виконавчий блок на кроковому двигуні NEMA-17 та драйвері ULN2003A гарантує стабільність, точність і передбачуваність рухів кабіни й дверей;
- блок індикації й керування формує зрозумілий інтерфейс для пасажирів і забезпечує оперативне інформування про поточний стан системи.

Додатково в цьому розділі проведено аналіз відповідності апаратної частини галузевим стандартам (EN 81-20/50, EN 12015/12016, IEC 61508, ISO 13849-1, ДСТУ 7451). Показано, що:

- ланцюги живлення й керування відповідають вимогам SELV/PELV (< 50 В DC);
- двоканальна схема захисту дверей і робота контрольного таймера забезпечують рівень SIL 1 за IEC 61508 та категорію 2 за ISO 13849-1;
- ураховано вимоги EMC (EFT/Burst, Surge), виконано рекомендації щодо фільтрації та екранування;

Таким чином, у результаті виконання другого розділу сформовано повне уявлення про склад і функції апаратної частини системи «Розумний ліфт», підтверджено коректність вибору компонентів та їх схемного з'єднання, а також продемонстровано відповідність ключовим міжнародним і національним нормам безпеки. Отримані результати створюють міцну основу для наступного етапу — моделювання й тестування системи в спеціалізованих середовищах та підготовки до дослідної експлуатації.

3 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ЛІФТ»

3.1 Вибір програмного забезпечення для проектування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт»

Перш ніж перейти до безпосереднього макетування схеми, необхідно було визначити програмне середовище, у якому можна комплексно змоделювати і силову, і логічну частину «Розумного ліфта». Ключові завдання, що постають перед такою платформою, – це детальна перевірка алгоритмів керування кроковими двигунами, верифікація коректності реакції на сигнали від датчиків перешкод та газового сенсора, а також можливість оцінити часові діаграми без залучення дорогого фізичного стенда.

Серед доступних САПР-пакетів саме Proteus Design Suite виявився найбільш придатним для цих цілей. Його головна перевага полягає у глибокій інтеграції мікропроцесорної симуляції з електричною схемотехнікою. У межах одного проекту можна розташувати модель контролера Arduino Mega 2560, під'єднати до неї драйвер ULN2003A, кроковий двигун NEMA-17, кнопки, світлодіоди, LCD-екран та будь-які сенсори - і все це запустити у «живій» віртуальній сесії. Така можливість комбінованого моделювання одразу розв'язує дві практичні проблеми, характерні для ліфтових систем. По-перше, з'являється нагода відстежувати, чи не втрачає двигун кроків під час тривалих циклів «підйом-спуск» і чи не перегрівається при цьому драйвер. По-друге, можна в реальному часі перевірити, чи коректно мікроконтролер реагує на асинхронні події на кшталт раптового спрацювання датчика перешкоди або перевищення порогового рівня газу.

Ще один суттєвий аргумент на користь Proteus – наявність у стандартній бібліотеці вже готових інтерактивних моделей необхідних датчиків. Для проекту ліфта критичним було коректно відтворити роботу двох ІЧ-бар'єрів у дверному отворі та газового сенсора MQ-2. У Proteus ці компоненти не обмежуються

статичними «ущільненими» символами: користувач може вносити початкову чутливість, ширину променя, величину порогового напруження та навіть тривалість відгуку, після чого спостерігати, як змінюються логічні рівні на виходах моделі. Це стало особливо корисним при налаштуванні логіки дверей: завдяки симуляції вдалося одразу побачити, що за певних затримок в алгоритмі двигун не встигає відреагувати на короткочасне перекриття нижнього бар'єру, і відкоригувати часові константи ще до виготовлення друкованої плати.

Третім фактором стала можливість безпосередньо завантажувати у віртуальний контролер той самий HEX-файл, який згодом планується прошивати у «залізний» зразок. Це спрощує цикл розробки: достатньо внести зміни в Arduino IDE, згенерувати прошивку й, не виходячи з Proteus, перезапустити симуляцію. Оскільки програма виконується у моделі мікроконтролера з точним емулятором інструкцій AVR, результат поведінки у віртуальній кабіні практично збігається з тим, що буде отримано на фізичній платі. Для задач, де критичною є затримка між прийомом сигналу датчика й зупинкою двигуна, така точність моделі виявилася вирішальною.

Не менш вагомим є блок осцилографічного та логічного аналізу, вбудований у Proteus. Під час тестування приводного вузла довелося переконатися, що послідовність імпульсів на входах ULN2003A зберігає правильний порядок навіть після тисячі циклів поспіль. У реальній лабораторії для цього потрібні зовнішні логічні аналізатори; у симуляції ж достатньо відкрити вкладку «Graph» і накласти канали IN1...IN4, спостерігаючи безперервний оберт без пропусків.

Щодо інсталяції, то процес не потребує специфічних навичок. Після стандартного встановлення пакета Proteus достатньо активувати студентську ліцензію і додати до папки LIBRARY файли MQ2.LIB/IDX з репозиторію спільноти Labcenter. Так само інтегрується й пара бібліотек ІЧ-датчиків, якщо стандартної моделі бракує. Усе це робиться кількома кліками через «Library Manager», без ручного редагування конфігурацій. У підсумку розробник отримує

готове середовище, де одразу можна розміщувати контролер, датчики, двигуни й починати налагодження.

Proteus також спрощує командну роботу. Файл проєкту зберігає топологію схеми разом із прошивками, тому передати його колезі достатньо через репозиторій — додаткові залежності не губляться. Це важливо, коли програміст, який відповідає за прошивку, і схемотехнік, що корегує силові ланцюги, працюють паралельно.

Підсумовуючи, саме Proteus Design Suite максимально відповідає специфіці задач, які стоять перед розробником «розумного» ліфта:

- дає змогу інтегровано спостерігати роботу цифрової логіки й силових виконавчих вузлів;
- містить реалістичні параметризовані моделі потрібних датчиків;
- дозволяє завантажувати та виконувати «бойову» прошивку безпосередньо в симуляторі;
- забезпечує зручні інструменти вимірювання часових діаграм.

У результаті перехід від схеми до віртуального прототипу відбувається без «розривів» між програмною і апаратною частинами, а всі критичні нюанси — від затримок у дверному приводі до дрейфу чутливості газового сенсора — можна відловити до того, як буде витрачено ресурси на фізичний макет.

Для завантаження Proteus 8 Professional завантажимо архів з необхідними для встановлення файлами. Далі за допомогою наявних програмних засобів розпаковуємо архів в будь яку зручну директорію. Після розпакування архіву в нас з'явиться файл для запуску встановлення програми на енаш пристрій. Вигляд цього файлу ми можемо побачити на рисунку 3.1

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

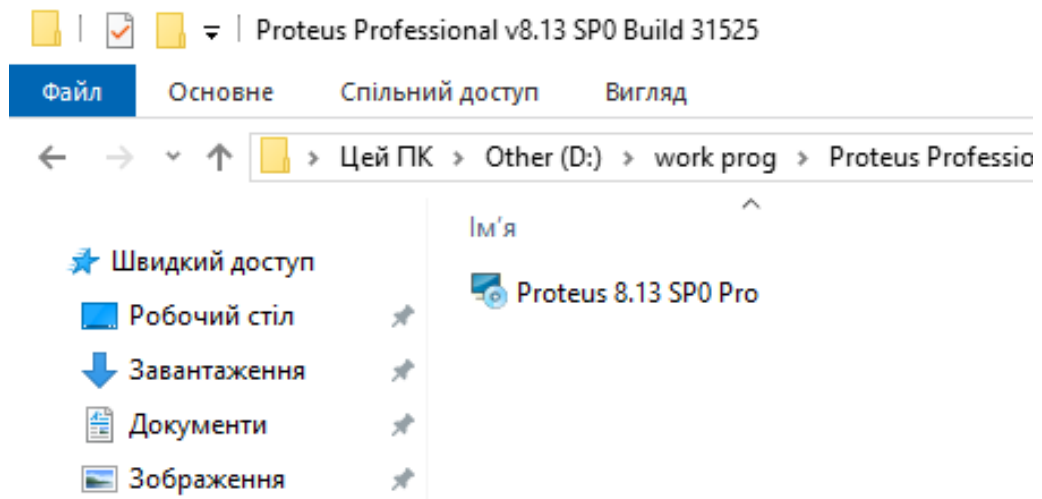


Рисунок 3.1 – Застосунок для встановлення Proteus 8 Professional

При відсутності майстра встановлення, спочатку з’явиться запит на запуск майстра встановлення. Натискаємо «Далі» та ставимо позначку «Погоджуюся» . Потім майстер встановлення буде встановлено. Це необов’язковий процес . При наявності цього майстра, система перейде безпосередньо до наступного кроку.

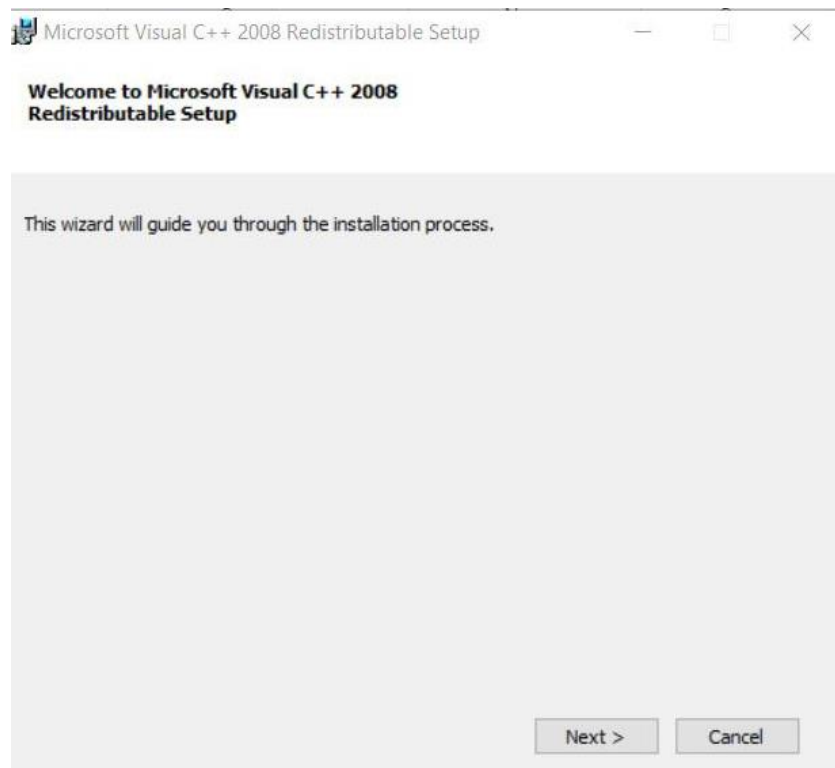


Рисунок 3.2 – Вікно запуску майстра встановлення

Далі з'явиться наступний інтерфейс, де потрібно вибрати місце, куди ми хочемо встановити це програмне забезпечення. Натискаємо кнопку «Далі».

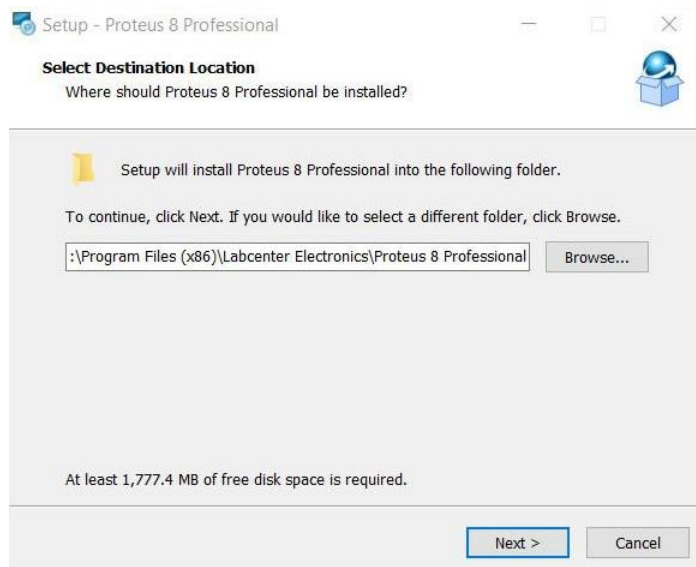


Рисунок 3.3 – Вибір місця встановлення Proteus

Далі погоджуємося з тим, що буде вказано в наступному інтерфейсі, після чого очікуємо на завершення процесу завантаження та налаштування середовища Proteus. Після завершення процесу встановлення з'явиться наступний інтерфейс. Просто натискаємо кнопку «Готово».



Рисунок 3.4 – Звершення процесу встановлення Proteus 8

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після встановлення Proteus 8 для повноцінної роботи нашого проекту потрібно встановити додатков бібліотеки для роботи інфрачервоного датчика та датчику диму. Потрібні бібліотеки знаходяться у відкритому доступі. Завантаживши архіви з бібліотеками нам необхідно розмістити вміст директорій з бібліотеками до вже наявних бібліотек Proteus. Потрібна нам директорія знаходиться за шляхом C:\Program Files (x86)\Labcenter Electronics\Proteus 8 Professional\DATA\LIBRARY

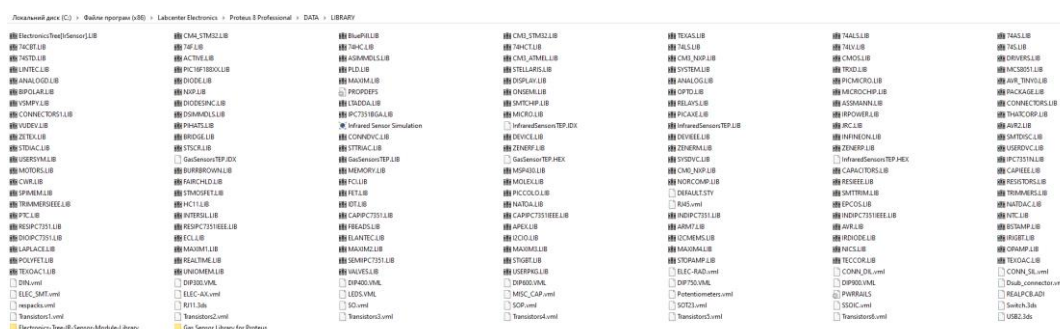


Рисунок 3.5 – Додавання файлів бібліотек для необхідного обладнання

Маючи усе необхідне для проектування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт» ми можемо перейти до безпосередньої розробки у спеціалізованому середовищі. Після встановлення та додавання необхідних бібліотек створюємо проект, в якому будемо розробляти апаратну частину нашого проекту натиснувши «New Project» в меню.

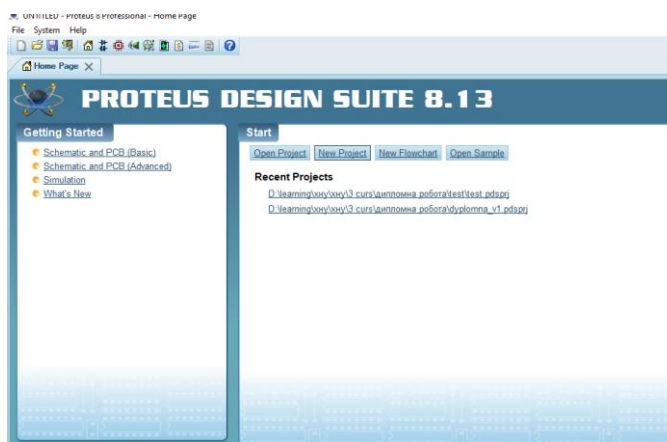


Рисунок 3.5 – Створення нового проекту в середовищі Proteus

Далі в нас з'явиться вікно створення проекту, в якому ми обираємо опцію «From Developer Board», після чого обираємо необхідний нам мікроконтроллер, в нашому випадку це Arduino Mega 2560, після чого натискаємо «Finish».

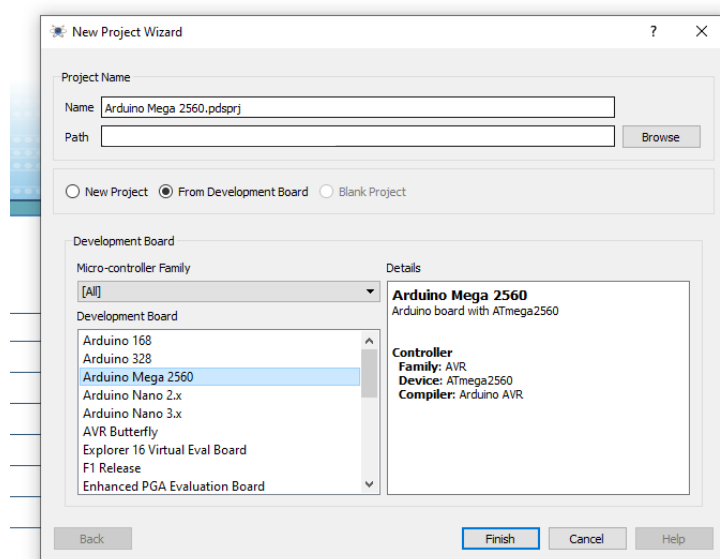


Рисунок 3.6 – Налаштування проекту перед створенням

В результаті отримуємо готовий проект у середовищі Protus, де можна приступити до подальшого процесу проєктування апаратної частини нашої кибєрфизичної системи

3.2 Опис процесу розробки блоку приводу

Одним із ключових етапів розробки апаратної частини «Розумного ліфта» є реалізація блоку приводу, що забезпечує вертикальне переміщення кабіни та відкриття дверей. Для реалізації цієї задачі, як було визначено у другому розділі роботи, використовується кроковий двигун типу NEMA-17, керування яким здійснюється за допомогою спеціалізованого драйвера ULN2003A. Даний вибір обумовлений тим, що саме кроковий двигун забезпечує високу точність та стабільність позиціонування, необхідні для систем такого типу.

Проектування блоку приводу розпочалось зі створення окремої підсхеми у середовищі Proteus, що дозволило ізолювати процес моделювання приводу від інших частин апаратної системи. Першим етапом стало розміщення необхідних елементів на робочому аркуші, зокрема: самого крокового двигуна NEMA-17 та мікросхеми драйвера ULN2003A, яка забезпечує силове керування обмотками двигуна. Наступним кроком стало виконання правильного з'єднання електричних вузлів. Відповідно до документації на двигун та драйвер, виводи двигуна були під'єднані до виходів OUT1–OUT4 драйвера. Сигнали керування, у свою чергу, подавались на входи IN1–IN4 драйвера. Таким чином було сформовано принципову схему, яка відповідає реальним рекомендаціям виробників компонентів і дозволяє однозначно встановити відповідність логічних сигналів та фаз двигуна.

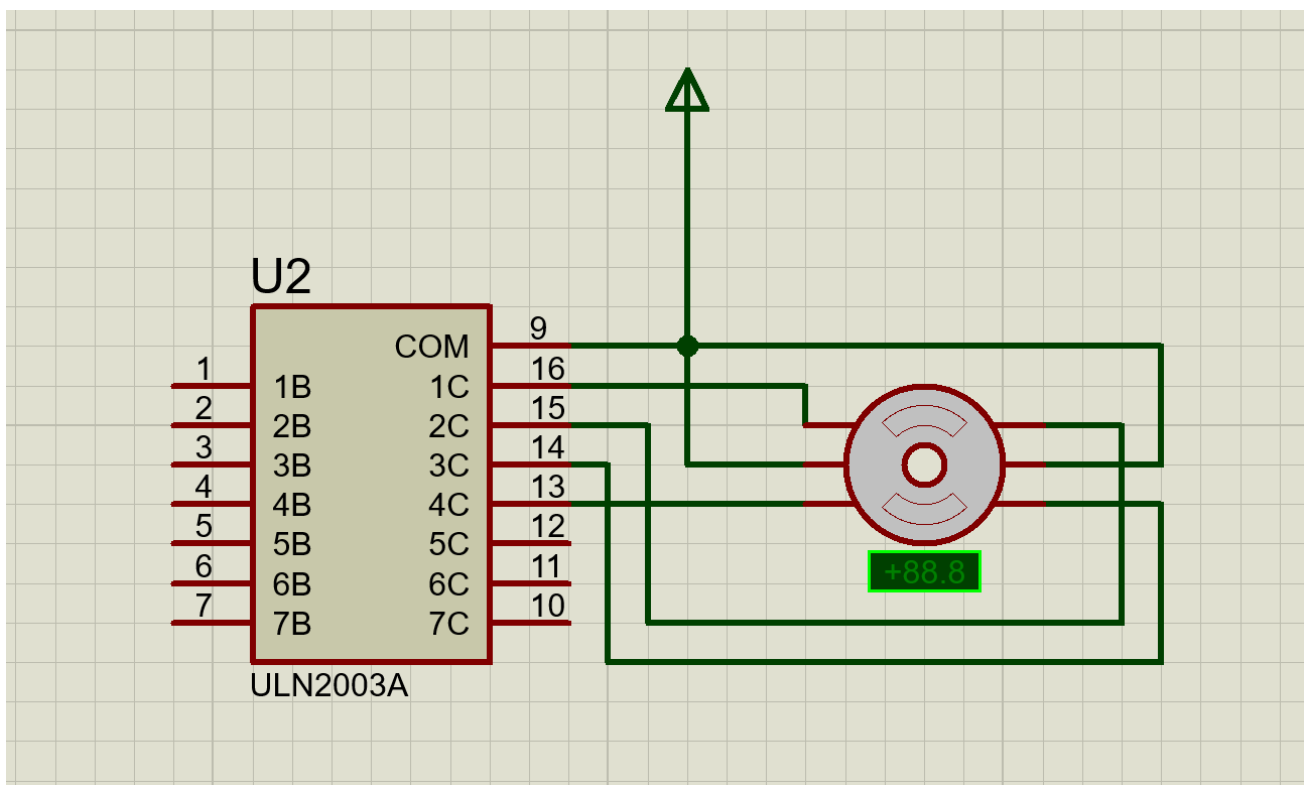


Рисунок 3.7 – схема з'єднання модуля приводу в середовищі Proteus

Оскільки на даному етапі ще не передбачалось залучення мікроконтролера, виникла необхідність перевірити працездатність зібраного блоку приводу шляхом безпосередньої подачі логічних сигналів на входи драйвера вручну. Для цього в середовищі Proteus було використано спеціальні віртуальні джерела цифрових сигналів (LOGICSTATE), які дозволяють задавати логічні рівні «0» або «1» без програмування контролера. В результаті для перевірки роботи двигуна у режимі напівкроку була розроблена схема, зображена на рисунку 3.8

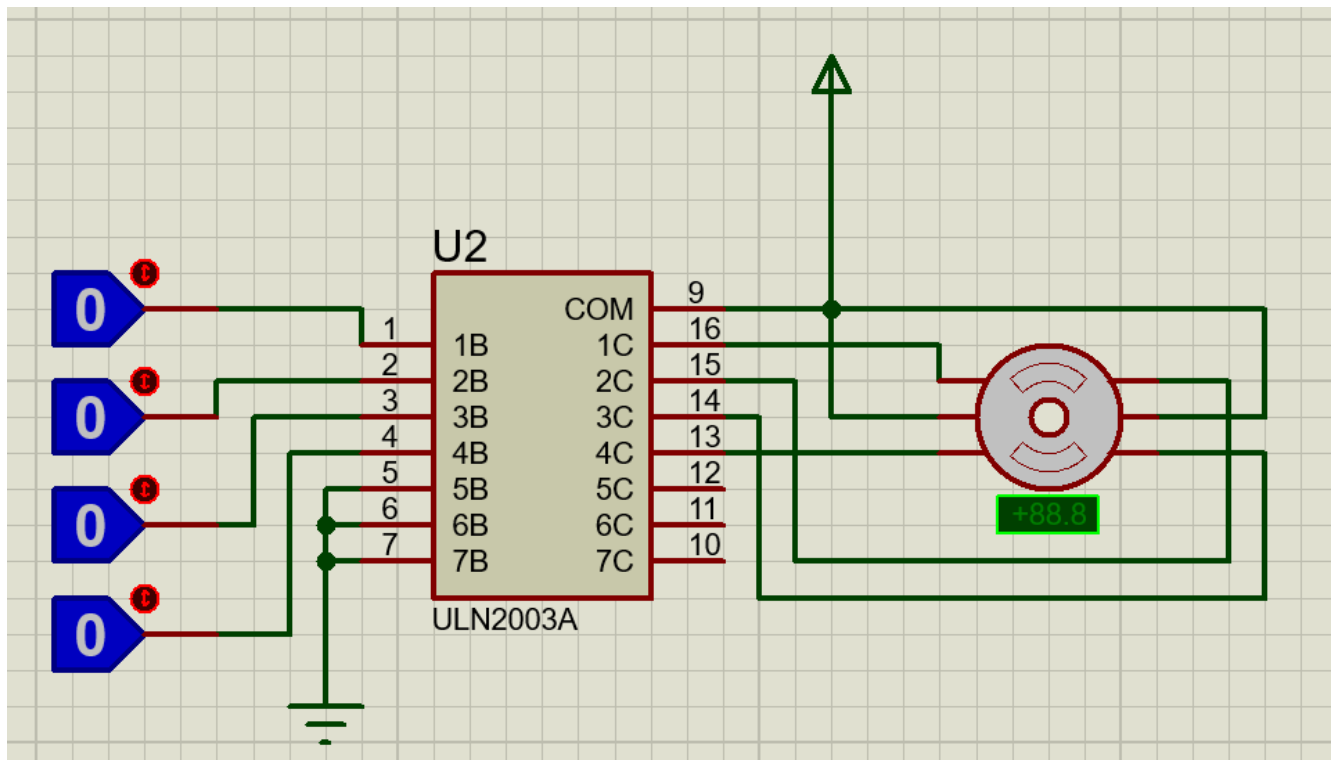


Рисунок 3.8 – Схема для перевірки роботи двигуна без використання контролера

З метою симуляції роботи двигуна в режимі half-step (напівкроку), на вхідні канали IN1–IN4 драйвера була подана спеціально підібрана послідовність логічних сигналів. Ця послідовність відповідає типовим рекомендаціям виробника двигуна NEMA-17 і дозволяє максимально плавно та точно керувати рухом ротора. Важливо зазначити, що симуляція саме такого режиму роботи обрана для забезпечення максимальної точності позиціонування кабіни ліфта та дверних

механізмів. Завдяки такому підходу вдалося ефективно визначити, що схема двигуна разом із драйвером працює коректно і забезпечує необхідні характеристики для подальшої інтеграції. Таким чином, уже на даному етапі розробки стало зрозуміло, що вибір компонентів був зроблений правильно, а виконана конфігурація відповідає поставленим задачам.

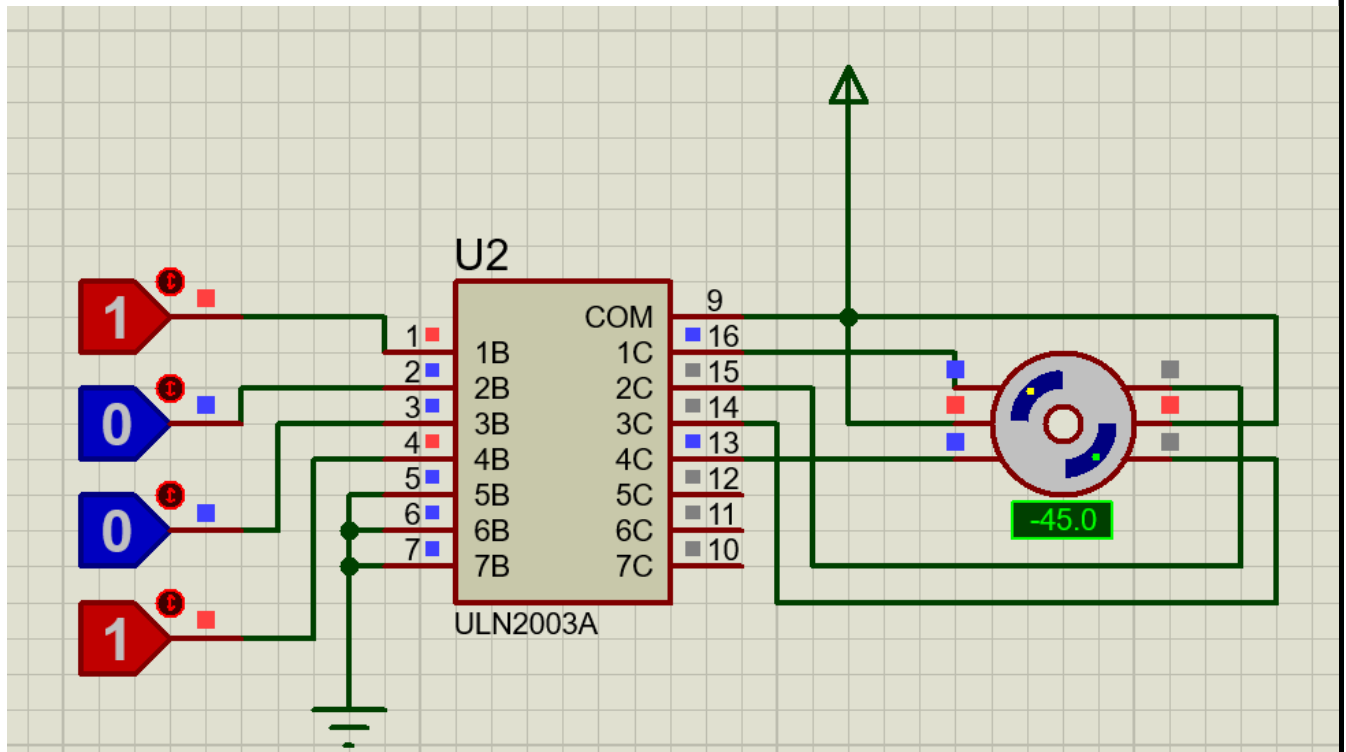


Рисунок 3.9 – Перевірка роботи двигуна в режимі півкроку

Окремо варто зазначити, що саме застосування середовища Proteus для реалізації блоку приводу дозволило уникнути помилок, які могли виникнути під час реального складання схеми, і дало можливість швидко протестувати різні комбінації керуючих сигналів, не витрачаючи додатковий час і ресурси на виготовлення фізичного макета. Це є суттєвою перевагою, оскільки потенційні помилки, які могли б бути виявлені на реальному обладнанні, в середовищі Proteus були усунуті ще на початковому етапі моделювання. Отже, у результаті виконаної роботи було отримано готовий до подальшої інтеграції блок приводу,

який забезпечує стабільну, передбачувану і точну роботу крокового двигуна, а також підтверджено доцільність та ефективність використання вибраних апаратних компонентів для реалізації поставлених у проєкті задач.

3.3 Опис процесу розробки блоку індикації та керування

Наступним етапом у проєктуванні апаратної частини «Розумного ліфта» стала розробка блоку індикації та керування. Цей блок відіграє важливу роль у взаємодії пасажирів із системою, забезпечуючи зручне введення команд керування ліфтом та візуальну індикацію поточного стану системи. До основних компонентів цього блоку належать символний рідкокристалічний дисплей LCD1602, кнопки для вибору поверху, виклику ліфта і аварійної зупинки, а також набір світлодіодних індикаторів для візуалізації окремих станів системи.

Першим етапом розробки цього блоку стало розміщення на робочій схемі символного дисплея LCD1602, який забезпечує виведення інформації у форматі 16 символів на 2 рядки. Вибір саме цього типу дисплея обумовлений його надійністю, низьким енергоспоживанням та простотою використання в інтегрованих системах. Підключення дисплея виконувалося відповідно до типової схеми: лінії даних (D4–D7), лінія вибору регістру (RS), лінія ввімкнення (E) були з'єднані із відповідними віртуальними портами контролера. Лінія читання/запису (RW) приєднана до логічного «0» (земля), оскільки читання даних з дисплея не передбачено. Готову схему підключення LCD-дисплею до контролеру можна побачити на рисунку 3.10. Зображена схема повністю підходить для нашого завдання і відповідає тій, яка вказана в технічній документації розробника використаною дисплею.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рекомендацій, з метою запобігання виходу елементів з ладу та забезпечення комфортної для сприйняття яскравості.

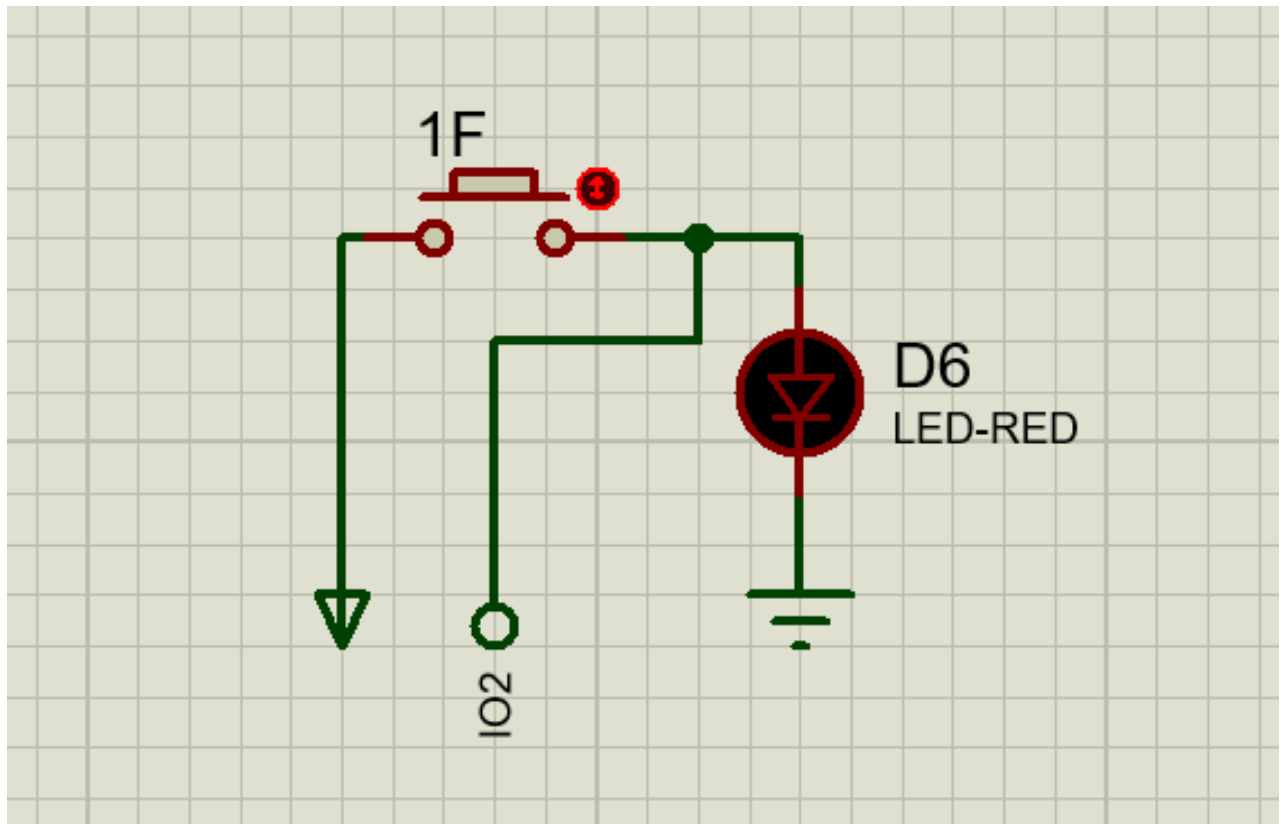


Рисунок 3.11 – Схема підключення кнопки з індикацією

Для перевірки правильності схеми кнопок та світлодіодних індикаторів у середовищі Proteus було застосовано пряме керування логічними рівнями без залучення програмного коду. Завдяки цьому стало можливим виконати оперативну перевірку коректності електричних з'єднань та реакції окремих компонентів на подачу керуючих сигналів. Кнопки перевірялися шляхом ручної активації джерел логічного сигналу, після чого було зафіксовано правильність їхнього спрацювання (перехід із «0» у «1»). Світлодіоди також тестувалися за допомогою прямої подачі сигналів «1» на відповідні входи, що дозволило переконатися у правильності їхньої роботи та визначити коректність схеми підключення.

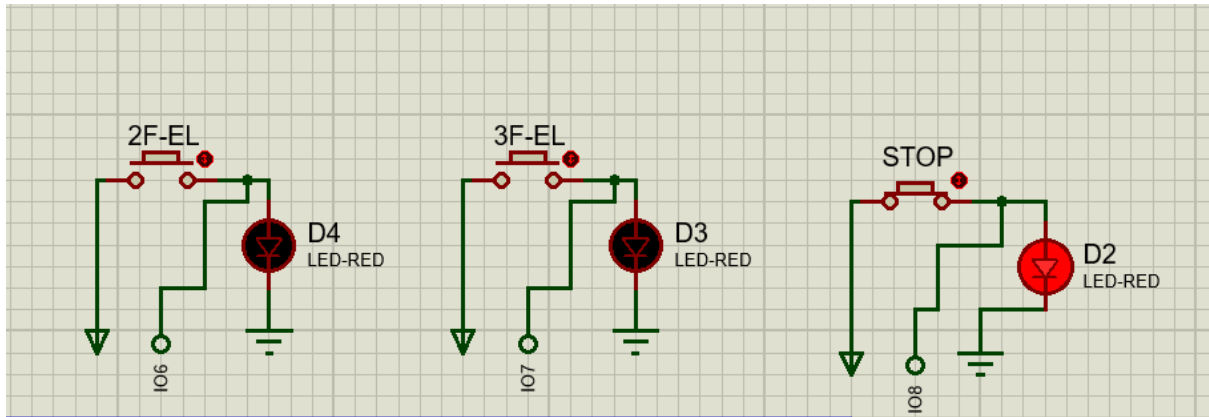


Рисунок 3.11 – Перевірка роботи кнопок з індикацією

Таким чином, завдяки застосуванню середовища Proteus, було здійснено ефективне проектування та попередню перевірку блоку індикації та керування. На цьому етапі було підтверджено, що розроблена схема відповідає технічним вимогам, є коректною з погляду електричних з'єднань, що дозволяє перейти до наступних етапів інтеграції блоку індикації та керування із іншими компонентами системи та подальшого програмування у складі цілісної системи «Розумний ліфт».

3.4. Опис процесу розробки блоку датчиків

Одним із найважливіших блоків у проєкті «Розумний ліфт» є блок датчиків, який забезпечує контроль за поточним положенням кабіни ліфта, безпекою пасажирів при закриванні дверей, а також виявлення небезпечних умов, таких як загазованість чи задимленість у ліфтовій кабіні. Розробка цього блоку базувалася на використанні інфрачервоних датчиків (ІЧ-бар'єрів) для виявлення перешкод при закриванні дверей, інфрачервоних датчиків позиціонування кабіни на поверхах, а також газового датчика MQ-2. Проектування блоку датчиків почалося з інтеграції інфрачервоних датчиків безпеки, що встановлюються безпосередньо в зоні дверного отвору кабіни ліфта. Було використано два ІЧ-бар'єри, один з яких встановлюється у верхній частині дверей, інший – у нижній. Така конфігурація

дозволяє системі оперативно реагувати на появу будь-яких перешкод під час закривання дверей, захищаючи пасажирів від випадкового травмування. Виходи цих датчиків було з'єднано відповідно до схеми таким чином, що при спрацьовуванні лише одного датчика система отримує сигнал логічного рівня «1», що інформує про наявність перешкоди. Якщо одночасно спрацьовують обидва датчики, система сприймає це як штатну ситуацію, що свідчить про те, що двері вже майже повністю закрились.

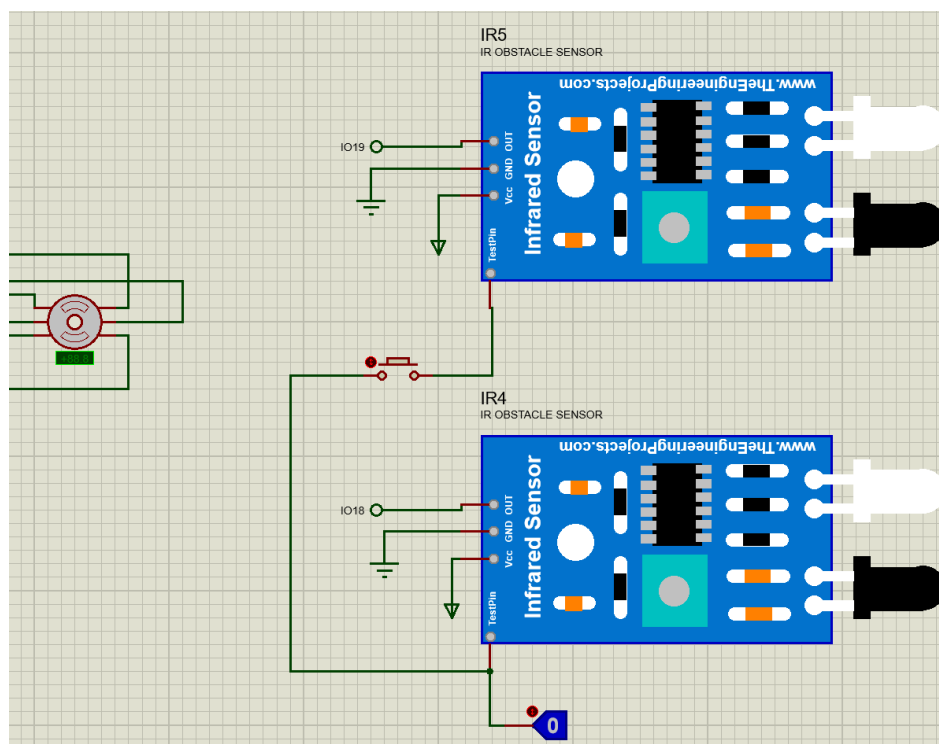


Рисунок 3.12 – Датчики для визначення перешкод на шляху дверей ліфта

Перевірка правильності підключення інфрачервоних датчиків дверей виконувалась шляхом прямого подавання логічних сигналів у середовищі Proteus. Для цього застосовувались віртуальні джерела сигналів, що дозволяло вручну змінювати стани виходів датчиків. У результаті тестування було встановлено, що схема коректно розпізнає ситуації як наявності перешкоди (логічний «1» на

одному з датчиків), так і штатне закриття дверей (одночасне спрацювання двох датчиків).

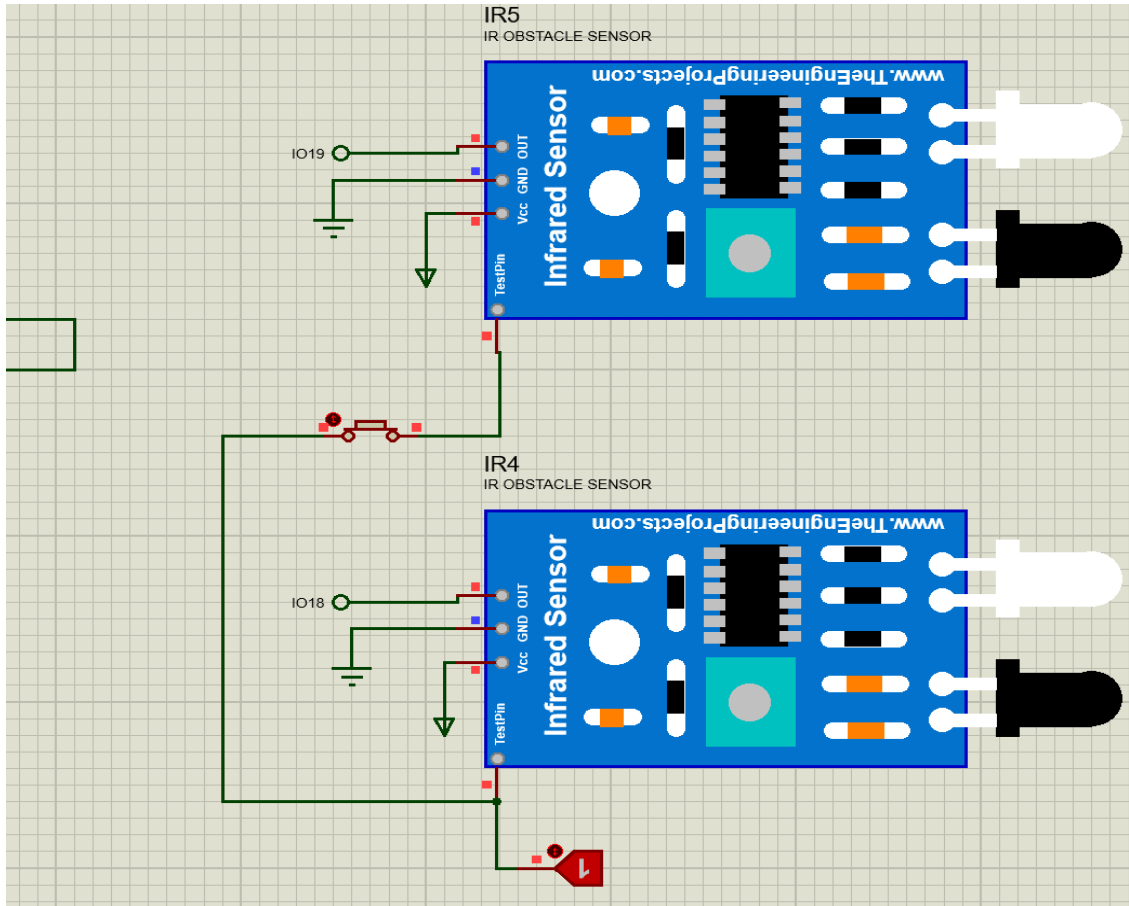


Рисунок 3.13 – Перевірка роботи датчиків з використанням логічного рівня

Наступним етапом стало підключення інфрачервоних датчиків позиціонування кабіни, які дозволяють точно визначати момент, коли ліфт перебуває на одному з поверхів. Для цього використовувались три окремих датчики, кожен з яких був закріплений на відповідному поверсі. Їх виходи під'єднані таким чином, що сигнал логічного рівня «1» надходить на контролер тільки тоді, коли кабіна чітко знаходиться на заданому поверсі. Аналогічно до попереднього блоку, ці датчики тестувалися прямою подачею логічних сигналів у

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

середовищі Proteus, що дозволило однозначно встановити коректність схеми підключення та спрацювання датчиків на задані логічні сигнали.

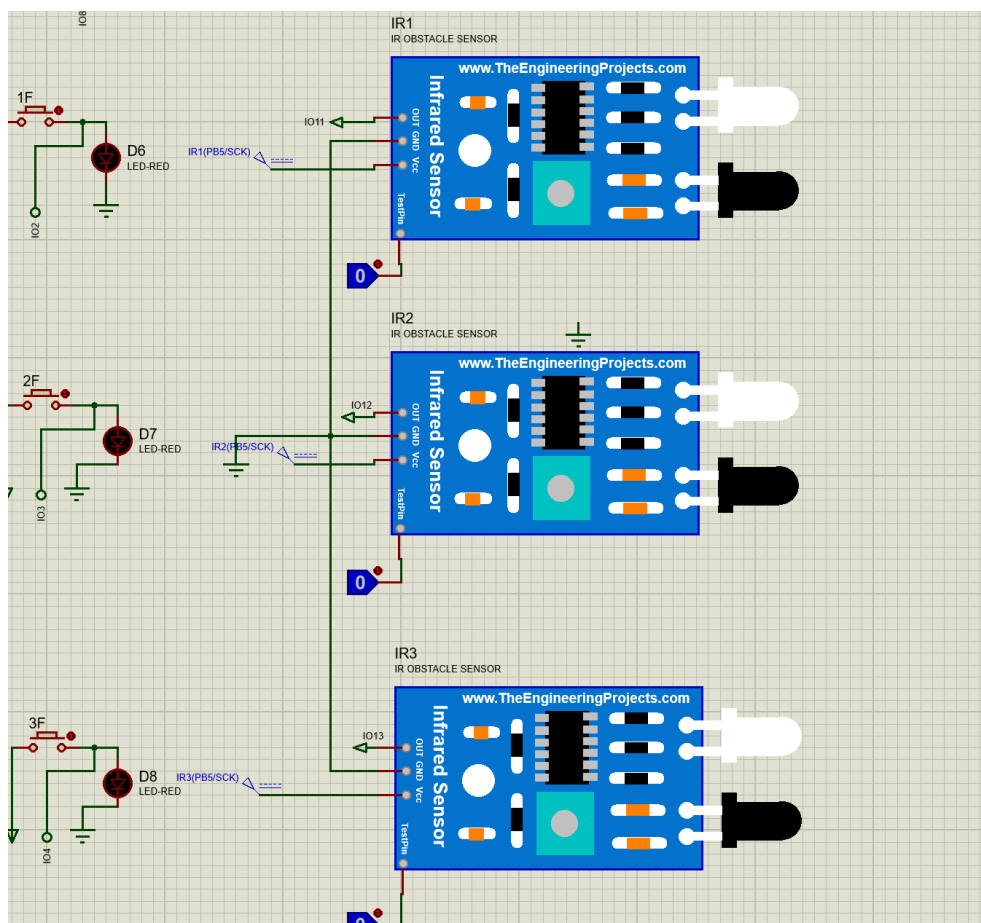


Рисунок 3.14 – Схема підключення датчиків визначення положення

Останнім елементом цього блоку є газовий датчик MQ-2, що використовується для моніторингу концентрації газів (зокрема, диму та чадного газу) всередині кабіни ліфта. У фізичних реалізаціях часто використовується резисторний дільник напруги для налаштування чутливості цього датчика. Однак, у рамках даного проєкту було прийняте рішення не використовувати резисторний дільник через специфіку симуляційного середовища, у якому немає можливості подавати точні концентрації газів. Натомість, у моделі датчика MQ-2 був передбачений спеціальний вивід, що дозволяє безпосередньо імітувати спрацювання сенсора. Використовуючи цей тестовий вивід, у процесі моделювання в середовищі Proteus було перевірено коректність схеми

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

підключення датчика та реакцію системи на зміну логічного рівня на виході. Це дозволило впевнитися в тому, що система оперативно реагує на виявлення потенційно небезпечних ситуацій.

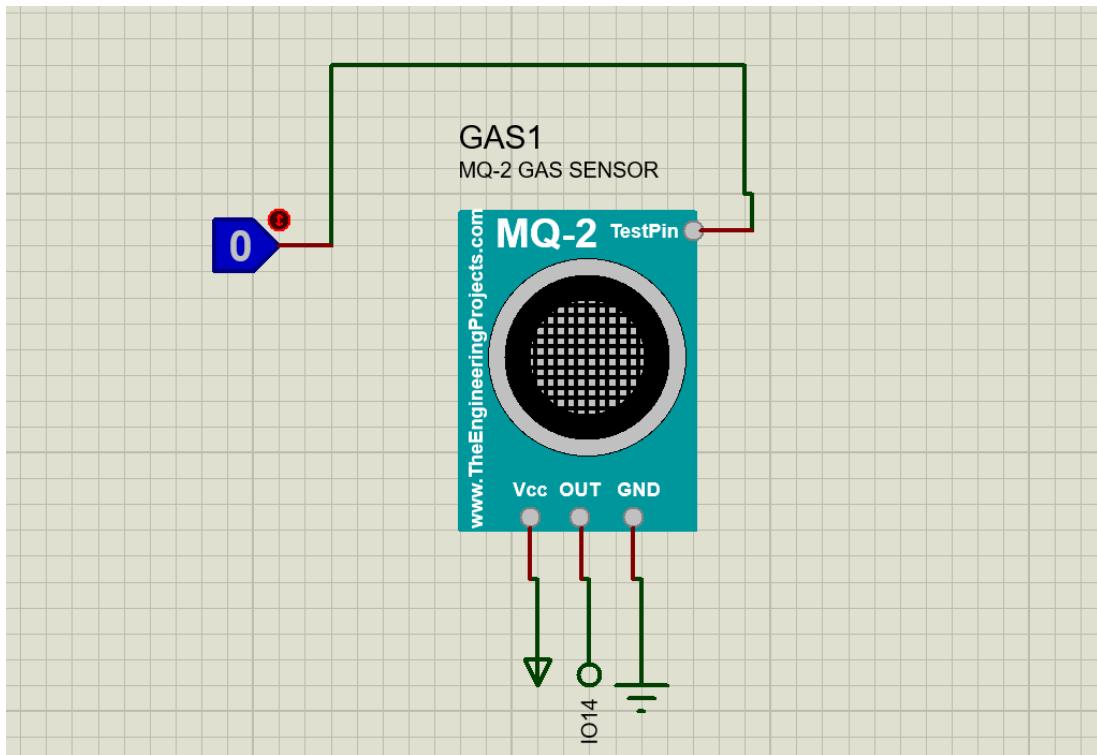


Рисунок 3.15 – Схема підключення датчика MQ-2 до контролера

Усі етапи розробки блоку датчиків супроводжувалися послідовною перевіркою схемних з'єднань та реакції компонентів шляхом прямої симуляції сигналів у середовищі Proteus. Завдяки такому підходу вдалося на ранніх етапах усунути можливі помилки, що суттєво підвищило загальну надійність блоку. В результаті виконаної роботи було отримано повністю функціональний блок датчиків, готовий до подальшої інтеграції у загальну систему «Розумний ліфт».

3.5 Тестування роботи з використанням програмної частини

Після завершення розробки та інтеграції усіх окремих апаратних блоків у середовищі Proteus, наступним логічним етапом стала перевірка функціонування

передбачав утримування кнопки STOP у натиснутому положенні. В цьому випадку кабіна залишалася зупиненою до того моменту, поки кнопка не була відпущена. Ця функція дозволяє оперативно реагувати на надзвичайні ситуації, забезпечуючи додаткову безпеку пасажирів та персоналу.

Під час моделювання в Proteus було перевірено, що двигун моментально припиняє роботу, не проявляючи затримок, що свідчить про коректність схеми керування та програмного забезпечення.

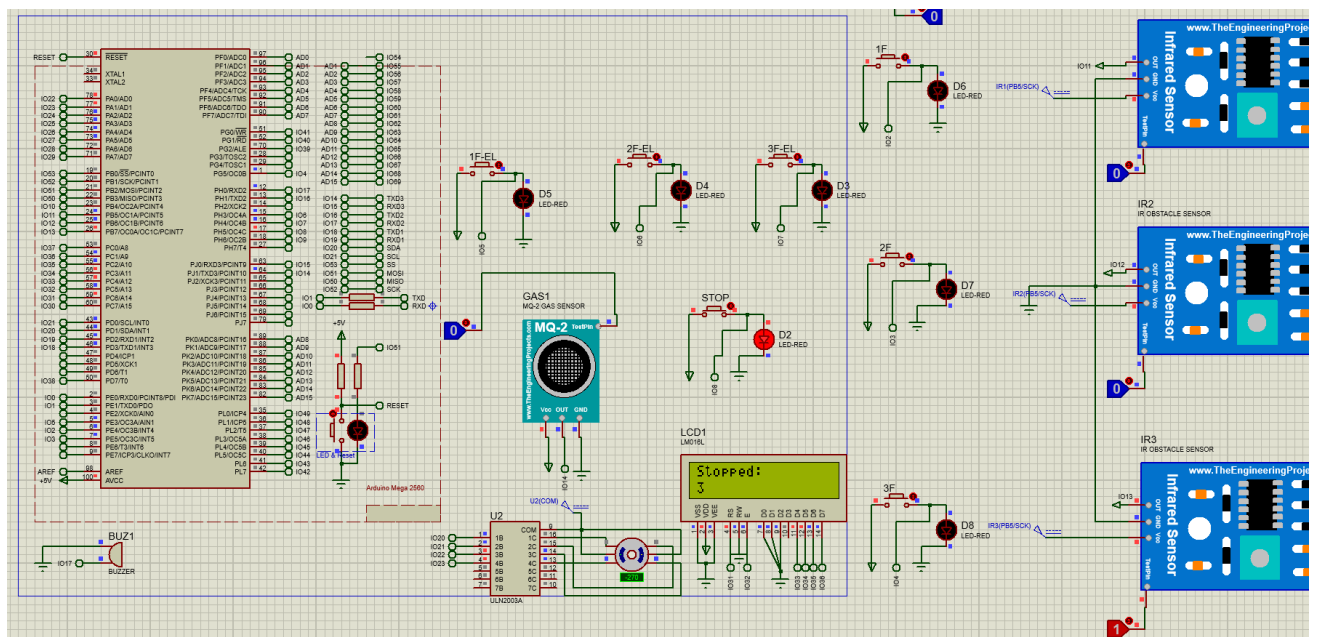


Рисунок 3.17 – Зупинка ліфта при натисканні відповідної кнопки

Тестування роботи газового датчика MQ-2 було проведено шляхом подачі відповідного сигналу на спеціальний тестовий вивід цього датчика. При моделюванні ситуації виявлення небезпечної концентрації газу (логічний сигнал «1» з тестового виходу) система автоматично переводила ліфт у аварійний режим. У цьому режимі кабіна рухалася до найближчого поверху (залежно від напрямку попереднього руху), де зупинялася, і автоматично відкривалися двері. Додатково активувалася звукова сигналізація, що інформувала пасажирів про потенційну небезпеку. Перевірка показала, що аварійний режим активується коректно й

оперативно, забезпечуючи максимально безпечні умови для евакуації пасажирів із кабіни. Після усунення небезпеки (припинення сигналу з датчика MQ-2) система автоматично виходила з аварійного режиму, повертаючи ліфт до штатного режиму експлуатації.

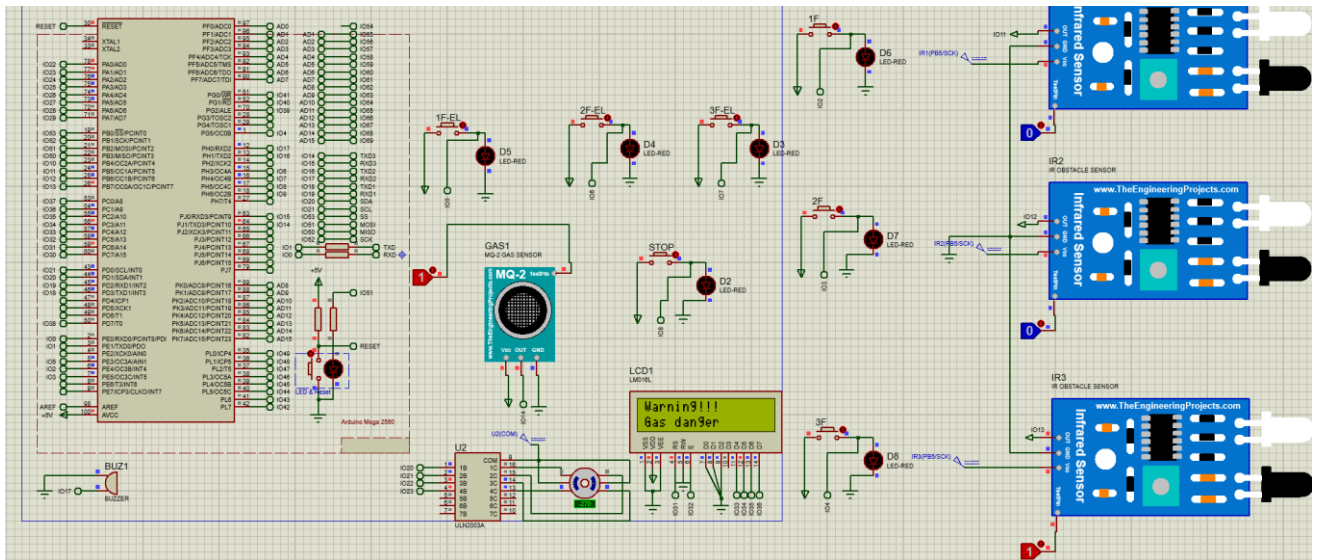


Рисунок 3.18 – Реакція контролера на спрацювання датчику газу

Важливою функцією, перевіреною в ході тестування, була реакція системи на появу перешкод у дверному отворі під час закривання дверей. При моделюванні в Proteus було перевірено поведінку ліфтової кабіни за умов появи перешкоди, яка визначалася сигналом логічної одиниці тільки на одному з двох інфрачервоних датчиків дверного отвору. В цьому випадку система негайно зупиняла процес закривання дверей і запускала їх у зворотному напрямку, повністю відкриваючи дверний отвір, щоб забезпечити безпеку пасажирів.

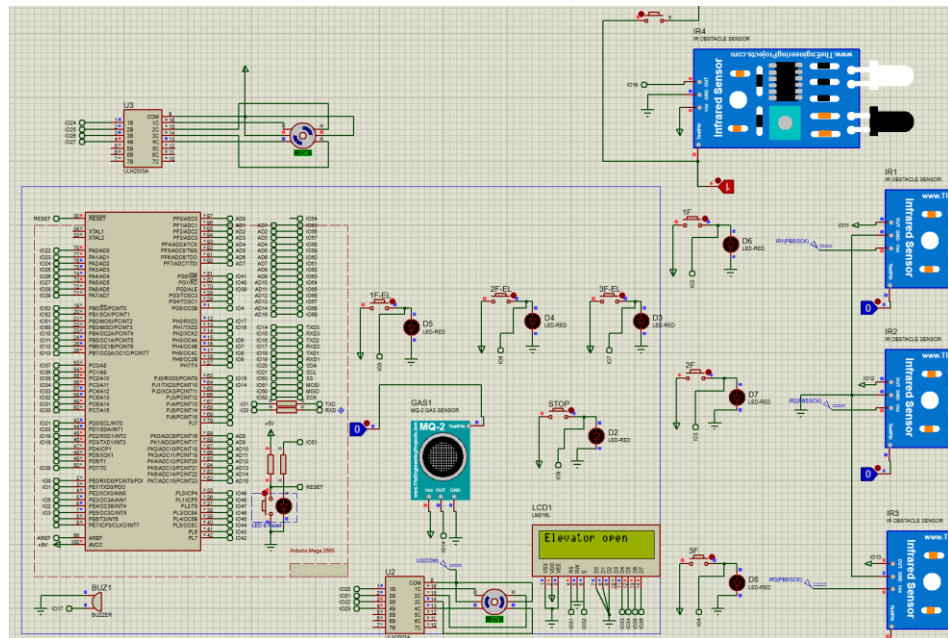


Рисунок 3.19 – Відкриття дверей при виявленні перешкоди в дверному отворі

Таким чином, тестування дозволило підтвердити, що розроблений алгоритм керування дверним приводом забезпечує швидку і чітку реакцію на будь-які перешкоди, виключаючи можливість травмування або дискомфорту пасажирів. Усі описані сценарії були ретельно промодельовані в середовищі Proteus. Результати показали, що апаратна схема та програмне забезпечення кіберфізичної системи «Розумний ліфт» повністю відповідають вимогам безпеки, стабільності роботи й оперативності реакції на різноманітні позаштатні ситуації. Завдяки цьому подальші етапи розробки можуть бути спрямовані на реалізацію вже фізичного прототипу, заснованого на отриманих результатах тестування.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі дипломної роботи було здійснено комплексне моделювання та ретельне тестування роботи розробленої апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт». На початковому етапі цього розділу було детально обґрунтовано вибір середовища Proteus Design Suite для проведення моделювання. Середовище Proteus було обрано завдяки його широким

можливостям щодо детального проєктування електричних та електронних схем, великому набору інтерактивних компонентів, зручності роботи з мікроконтролерами, а також через можливість проведення комплексного тестування розроблених схем без фізичного виготовлення макета. У рамках роботи були наведені рекомендації та інструкції з налаштування цього програмного забезпечення, що дозволило виконати швидке та ефективно налаштування робочого середовища. Подальше проєктування здійснювалось поступово, з послідовним моделюванням та перевіркою працездатності кожного окремого функціонального блоку системи. Першим етапом була реалізація блоку приводу. У межах цього етапу було створено та перевірено електричну схему з використанням крокового двигуна NEMA-17 та драйвера ULN2003A. Використовуючи можливості Proteus щодо прямої подачі логічних сигналів, було підтверджено правильність вибору компонентів та коректність їхнього підключення. Тестування цього блоку дозволило чітко визначити, що двигун забезпечує точність руху і відповідну реакцію на керуючі сигнали, відповідаючи повною мірою вимогам щодо точності й стабільності роботи ліфта. Наступним було виконано моделювання та тестування блоку індикації та керування. Цей блок включає рідкокристалічний дисплей LCD1602, набір кнопок керування та світлодіодні індикатори. Під час проєктування було детально описано особливості підключення кожного з компонентів і способи забезпечення стабільності роботи блоку. Кнопки керування було протестовано з використанням віртуальних логічних сигналів, що дозволило підтвердити коректність їхньої схеми підключення і здатність системи однозначно ідентифікувати кожен окрему команду, подану користувачем. Додатково були виконані перевірки правильності роботи світлодіодної індикації, що засвідчило коректність реалізованого функціоналу візуального інформування користувачів ліфта. Після цього було здійснено моделювання блоку датчиків. Особливу увагу було приділено інфрачервоним датчикам, які встановлюються у дверному отворі для виявлення перешкод. Конструктивно ці датчики були розміщені у верхній і нижній частинах

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дверей, і їх робота перевірялась у різних режимах симуляції з метою точного виявлення перешкод та забезпечення безпеки пасажирів. Також було змодельовано та протестовано роботу інфрачервоних датчиків позиціонування, встановлених на кожному поверсі, що дозволило впевнено визначати положення кабіни з точністю до кількох міліметрів. Крім того, було виконано моделювання газового датчика MQ-2, який використовується для виявлення потенційної загазованості чи задимленості кабіни. Для тестування цього датчика було використано спеціальний тестовий вихід, завдяки якому було підтверджено коректність роботи схеми та адекватність реакції системи на позаштатні ситуації. Після моделювання окремих блоків, було проведено комплексне тестування всієї системи. На цьому етапі було перевірено ряд ключових функцій, які забезпечують безпечну та комфортну експлуатацію ліфта. Зокрема, було успішно протестовано переміщення між поверхами, що підтвердило високу точність позиціонування кабіни. Крім цього, було перевірено роботу кнопки екстреної зупинки в двох режимах: короткочасне натискання (зупинка на 10 секунд) та утримання кнопки (зупинка ліфта на необмежений час). Моделювання підтвердило, що в обох випадках система реагує без затримок і чітко забезпечує передбачувані режими зупинки. Особливу увагу також було приділено тестуванню роботи системи у випадку спрацювання датчика газу MQ-2. Під час моделювання було підтверджено, що у разі виявлення підвищеної концентрації газів кабіна автоматично зупиняється на найближчому поверсі, відкриває двері і залишається в такому стані до повного усунення небезпеки. При цьому спрацьовує звуковий сигнал, який інформує пасажирів про необхідність термінової евакуації. На завершальному етапі тестування було змодельовано ситуацію появи перешкоди при закритті дверей. Завдяки правильній організації схеми інфрачервоних датчиків дверей, система негайно реагувала на одиничне спрацювання датчика і забезпечувала негайне зупинення та зворотний рух дверей, що унеможливило травмування пасажирів.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено, детально обґрунтовано і змодельовано апаратну частину кіберфізичної системи «Розумний ліфт». За результатами моделювання було підтверджено правильність прийнятих рішень щодо вибору апаратних компонентів і архітектури системи.

У першому розділі проведено аналіз предметної області, здійснено вивчення наявних рішень та існуючих проблем, визначено актуальність та перспективи розвитку систем «розумного» керування ліфтами. Також було визначено основні функціональні й нефункціональні вимоги до системи, що стали основою для подальшого проектування.

У другому розділі здійснено детальне проектування апаратних блоків системи, обґрунтовано вибір мікроконтролера Arduino Mega 2560, проведено аналіз і вибір компонентів для приводу, датчиків, індикації та керування. Було розроблено структурні схеми взаємодії окремих модулів, що дозволило детально визначити особливості їх роботи, взаємодії й інтеграції.

У третьому розділі проведено ретельне моделювання апаратних модулів у середовищі Proteus Design Suite, що дозволило повністю перевірити функціональність системи, виявити та виправити потенційні помилки на ранніх етапах. За результатами тестування було підтверджено працездатність, безпеку, точність та надійність роботи системи у різних режимах експлуатації.

Отже, результати виконаної роботи підтверджують успішність та доцільність реалізації проєкту «Розумний ліфт», а також створюють міцну базу для майбутньої фізичної реалізації й впровадження розробленого рішення на практиці.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Menghi C., Viganò E., Bianculli D., Briand L. C. Trace-checking CPS properties: bridging the cyber-physical gap. In: *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering (ICSE)*. IEEE, 2021. P. 847–859.
2. Rajesh G., Raajini X., Dang H. *Industry 4.0 — Interoperability, Analytics, Security, and Case Studies*. Boca Raton : CRC Press, 2021. 412 p.
3. Han L., Ali S., Yue T., Arrieta A., Arratibel M. Uncertainty-aware robustness assessment of industrial elevator systems *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2022. Vol. 31, № 4. P. 1–51.
4. Greengard S. *The Internet of Things*. 2nd ed. Cambridge : MIT Press, 2021. 248 p.
5. Taha W., Taha A., Thunberg J. *Cyber-Physical Systems: A Model-Based Approach*. Cham : Springer, 2021. 364 p.
6. Arrieta A., Ayerdi J., Illarramendi M., Agirre A., Sagardui G., Arratibel M. Using machine learning to build test oracles: an industrial case study on elevator dispatching algorithms. In: *2021 IEEE/ACM International Conference on Automation of Software Test (AST)*. IEEE, 2021. P. 30–39.
7. Fontes A., Gay G. Using machine learning to generate test oracles: a systematic literature review. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Test Oracles*. ACM, 2021. P. 1–10.
8. Zohdinasab T., Riccio V., Tonella P. DeepATaSh: focused test generation for deep-learning systems. In: *Proceedings of the 32nd ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA)*. 2023. P. 954–966.
9. Ayerdi J., Terragni V., Jahangirova G., Arrieta A., Tonella P. GenMorph: automatically generating metamorphic relations via genetic programming *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2024. (Early Access).
10. Jung C., Ahad A., Jung J., Elbaum S., Kwon Y. SwarmBug: debugging configuration bugs in swarm robotics. In: *Proceedings of the 29th ACM ESEC/FSE Joint Meeting*. 2021. P. 868–880.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Fischer S., Ramier R., Klammer C., Rabiser R. Testing of highly configurable cyber-physical systems: a multiple case study. In: *15th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems (VaMoS)*. ACM, 2021. P. 1–10.

12. Haq F. U., Shin D., Briand L. Efficient on-line testing for DNN-enabled systems using surrogate-assisted many-objective optimisation. In: *Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering (ICSE)*. 2022. P. 811–822.

13. Humeniuk D., Khomh F., Antoniol G. A search-based framework for automatic generation of testing environments for cyber-physical systems *Information and Software Technology*. 2022. Vol. 149. 106936.

14. Kartunov S. Mechatronics at the age of 50: situational analysis of its diamond age *Automation of Discrete Production Engineering*. 2022. Vol. 4. P. 27–31.

15. Galarraga J., Arrieta A., Ali S., Sagardui G., Arratibel M. Genetic algorithm-based testing of industrial elevators under passenger uncertainty. In: *2021 IEEE ISSRE Workshops (ISSREW)*. IEEE, 2021. P. 353–358.

16. Shin S. Y., Chaouch K., Nejati S., Sabetzadeh M., Briand L. C., Zimmer F. Uncertainty-aware specification and analysis for HIL testing of cyber-physical systems *Journal of Systems and Software*. 2021. Vol. 171. 110813.

17. Klikovits S., Castellano E., Cetinkaya A., Arcaini P. Frenetic-Lib: an extensible framework for search-based generation of road structures for ADS testing *Science of Computer Programming*. 2023. Vol. 230. 102996.

18. Riccio V., Humbatova N., Jahangirova G., Tonella P. DeepMetis: augmenting a deep-learning test set to increase its mutation score. In: *2021 36th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE)*. IEEE, 2021. P. 355–367.

19. Jodat B. A., Chandar A., Nejati S., Sabetzadeh M. Test generation strategies for building failure models and explaining spurious failures *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2024. Vol. 33, № 4. P. 1–32.

20. Valle P. Metamorphic testing of autonomous vehicles: a case study on Simulink. In: *2021 IEEE/ACM 43rd ICSE Companion Proceedings*. IEEE, 2021. P. 105–107.

21. Biagiola M., Tonella P. Testing the plasticity of reinforcement-learning-based systems *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2022. Vol. 31, № 4. P. 1–46.

22. Ayerdi J., Terragni V., Arrieta A., Tonella P., Sagardui G., Arratibel M. Generating metamorphic relations for cyber-physical systems with genetic programming: an industrial case study. In: *Proceedings of the 29th ACM ESEC/FSE Joint Meeting*. 2021. P. 1264–1274.

23. Han L., Ali S., Yue T., Arrieta A., Arratibel M. Are elevator software robust against uncertainties? results from an industrial case study. In: *Proceedings of the 30th ACM ESEC/FSE*. 2022. P. 1331–1342.

24. Zohdinasab T., Riccio V., Gambi A., Tonella P. Efficient and effective feature-space exploration for testing deep-learning systems *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2023. Vol. 32, № 2. P. 1–38.

25. Riccio V., Tonella P. When and why test generators for deep learning produce invalid inputs: an empirical study. In: *45th International Conference on Software Engineering (ICSE)*. IEEE, 2023. P. 1161–1173.

26. Huai Y., Almanee S., Chen Y., Wu X., Chen Q. A., Garcia J. SCENO-RITA: generating diverse, fully mutable test scenarios for autonomous-vehicle planning. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2023. (Early Access).

27. Han R., Yang C., Ma S. та ін. Control parameters considered harmful: detecting range bugs in drone configuration modules via learning-guided search. In: *Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering (ICSE)*. 2022. P. 462–473.

28. Gartzandia A., Arrieta A., Agirre A., Sagardui G., Arratibel M. Using regression learners to predict performance problems on software updates: a case study

on elevator dispatching algorithms. In: *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC)*. 2021. P. 135–144.

29. Valle P., Arrieta A., Arratibel M. Applying and extending the delta-debugging algorithm for elevator dispatching algorithms. In: *32nd ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA)*. 2023. P. 1055–1067.

30. Wu J., Lu C., Arrieta A., Yue T., Ali S. Reality bites: assessing realism of driving scenarios with large language models *arXiv preprint arXiv:2403.09906*, 2024.

31. Li H., Chen Z. Cloud-edge collaborative architecture for elevator predictive maintenance // *Future Internet*. 2021. Vol. 13, № 8. Art. 205.

32. Ayerdi J., Arrieta A., Pobee E. B., Arratibel M. Multi-objective metamorphic test-case selection: an industrial case study. In: *2022 IEEE 33rd International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE)*. IEEE, 2022. P. 541–552.

33. Arrieta A., Otaegi M., Han L., Sagardui G., Ali S., Arratibel M. Automating test-oracle generation in DevOps for industrial elevators. In: *2022 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*. IEEE, 2022. P. 284–288.

34. Biagiola M., Tonella P. Boundary-state generation for testing and improvement of autonomous driving systems *arXiv preprint arXiv:2307.10590*, 2023.

35. Khatiri S., Panichella S., Tonella P. Simulation-based test-case generation for unmanned aerial vehicles near real flights. In: *2023 IEEE Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST)*. IEEE, 2023. P. 281–292.

36. Mandrioli C., Shin S. Y., Bianculli D., Briand L. Testing CPS with design-assumptions-based metamorphic relations and genetic programming. In: *2024 IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST)*. IEEE, 2024. P. 361–372.

37. Stocco A., Pulfer B., Tonella P. Model- vs system-level testing of autonomous-driving systems: a replication and extension study. *Empirical Software Engineering*. 2023. Vol. 28, № 3. Art. 73.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

38. Nejati S., Sorokin L., Safin D. та ін. Reflections on surrogate-assisted search-based testing: taxonomy and replication studies. *Information and Software Technology*. 2023. 107286.

39. Buyvol P., Parsin G. Problems and prospects of using remote-learning technologies in different countries. In: Auer M., Tsiatsos T. (eds) *New Realities, Mobile Systems and Applications*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 411. Springer, 2021. P. 3–15.

40. Riccio V., Humbatova N., Jahangirova G., Tonella P. Efficient and effective feature-space exploration for testing deep-learning systems. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2023. Vol. 32, № 2. P. 1–38.

					КВРКІ 022002.22.02.34 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

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: Ігор БАРАНОВ

Співавтор:

Назва: БАРАНОВ_Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:17.8%

Коефіцієнт подібності 2:10.2%

Мікропробіли: 8

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-13 18:23:42.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

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

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

Обґрунтування:

2025-06-13

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionary check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 9%**

ID: 245759 Title: БКР Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина Added in a DB: 2025-06-13 Authors: Ігор БАРАНОВ Heads: Юрій ВОЙЧУР Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	74978	587	2659 (4%)	24 (4%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ігор БАРАНОВ

Тема: Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки _____

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є визначення умов і особливостей застосування апаратних компонентів «розумного» ліфта, також оцінка механізмів обробки інформації у кіберфізичній системі керування ліфтом для забезпечення безпечного та енергоефективного переміщення пасажирів між поверхами.

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: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз предметної області та пошук оптимально рішення для проектування апаратної частини кіберфізичної системи «розумний ліфт». В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування апаратної частини кіберфізичної системи «розумний ліфт». В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано апаратну реалізацію кіберфізичної системи «розумний ліфт».

4. Позитивні сторони роботи: Висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи:

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 високому інженерно-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

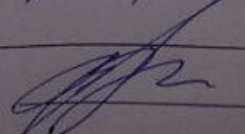
9. Оцінка дипломної роботи: добре (4.00/5)

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

Доктор Володимир Миколайович, доцент, ХНУ кооп.
Київська

4 " 06

2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Ігоря БАРАНОВА

ПІВ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІЖ-22-1

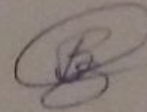
ЗАЯВА

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

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

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

16.06 2025 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Кіберфізична система «Розумний ліфт». Апаратна частина

Автор: Ігор Баранов

Спеціальність: 123- Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Войчур Юрій Олексійович д.ф.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

- 1) Запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи.;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) Окремі збіги представлені загальноживаними фразами, наприклад: «на рисунку зображено», «загальна структура системи», «висновки до розділу» тощо.
- 4) Якість запозичень відповідає технічним особливостям дослідження: виявлено збіги в кодах, формулах і термінах, які є вихідними даними до великої кількості задач і не можуть вважатися авторськими порушеннями.
- 5) Система зафіксувала технічні модифікації тексту, зокрема: заміну окремих символів, скорочення індексів у формулах, зміну розміщення символів. Це є наслідком форматування або експорту документа, а не цілеспрямованого уникнення перевірки.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 17.8% і адресується до 29 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 10.2%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Юрій ВОЙЧУР

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА