

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА


# Розробка системи Автоматичного розливу напоїв

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка


Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
2 курсу група ЕТзм-24-1

  
Підпис

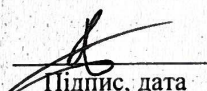
Сидорчук Д.В.  
Ініціали, прізвище

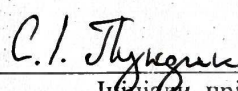
Керівник

  
Підпис, дата

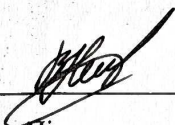
к.т.н., доц. Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

10 12 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Спеціалізація Електропобутова техніка

Освітня програма \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



10.12.2025

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Сидорчук Дмитро Володимирович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка системи авторозливу напоїв  
керівник роботи Неймак В.С., к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики насосів, контролерів та допоміжних датчиків

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

Вступ 1.Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції системи автрозливу.

3.Розробка компонентів системи. ✓Висновки Перелік джерел посилань.

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

1. Зовнішній вигляд системи авторозливу (ГК, А1). 2. Методи вимірювання літражу (ДО, А1). 3. Схема функціональна (Е2, А1). 4. Схема електрична принципова (Е5, А1). 5. Параметри інтерфейсу системи (ДІ, А1), 6 Структурна схема роботи авторозливу (Е1, А1)

### 7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 28.10.25р	
2. Розробка системи автоматичного розливу напоїв	до 15.11.25р	
3. Розрахунки для вибору правильних компонентів системи	до 17.11.25р	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.25р	

Студент \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

**Д.В.Сидорчук**  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

**В.С.Неймак**  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Сидорчук Дмитро Володимирович

2. Тема магістерської роботи  
Розробка системи автоматичного розливу напоїв.

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 82

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: \_\_\_\_\_

Перший розділ присвячено аналізу існуючих систем авторозливу. Наведено їх основні особливості, принципи роботи та способи вимірювання літражу рідини. Описано найпоширеніші типи насосів, їх характеристики та придатність до використання у дозувальних установках. Розділ формує загальне уявлення про сучасні технології та допомагає обґрунтувати вибір конструкції майбутньої системи.

Другий розділ містить розробку конструкції системи авторозливу. Подано структурну і принципову схеми, пояснено логіку взаємодії основних вузлів. Описано алгоритм роботи, режими системи та елементи користувацького інтерфейсу. Також представлено базові рішення щодо друкованої плати та корпусу пристрою з урахуванням експлуатаційних вимог.

Третій розділ охоплює технічні розрахунки, необхідні для вибору обладнання. Виконано підбір елементів, визначено споживані струми та вибрано відповідний блок живлення. Наведено розрахунок датчика літражу та конденсатора для роботи насоса. Розділ забезпечує технічне обґрунтування працездатності та надійності системи.

Підпис студента 

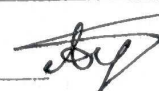
" 10 " 12 20 25 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 2 від " 23 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК добре / В / 86  
Рекомендації ЕК -


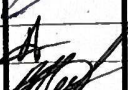
Особливі відмітки -

Технічний секретар Буняк А.В.   
" 23 " 12 20 25 р.

## Зміст

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ .....	8
1.1 Особливість роботи систем авторозливу .....	8
1.2 Огляд існуючих систем .....	11
1.3 Методи вимірювання літражу рідини.....	17
1.4 Типи насосів .....	22
Висновки до першого розділу .....	28
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ АВТОРОЗЛИВУ .....	30
2.1 Розробка структурної схеми системи авторозливу .....	30
2.2 Розробка принципової схеми.....	33
2.3 Алгоритм роботи системи.....	36
2.4 Розробка користувацького інтерфейсу.....	38
2.5 Розробка друкованої плати .....	44
2.6 Розробка корпусу для системи .....	46
Висновки до другого розділу.....	50
3 РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ.....	52
3.1 Вибір елементів ситеми авторозливу .....	52
3.2 Розрахунок струмів живлення та вибір блоку живлення .....	59
3.3 Розрахунок датчика літражу .....	63
3.4 Розрахунок конденсатора для підключення насоса .....	66
Висновки до третього розділу .....	68
ВИСНОВКИ .....	70
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	72
Додатки .....	74

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка системи авторозливу напоїв	Літера	Аркуші	Аркущів
Виконав	Сидорчук						2	
Перевір.								
Н.контр. Затвер.						ХНУ гр ЕТмз-24-1		

## ВСТУП

Системи автоматичного розливу рідин сьогодні є невід'ємною складовою сучасного виробництва, харчової індустрії, фармацевтики, косметології та побутових технологій. Їхнє головне призначення — забезпечити точне, стабільне й контрольоване дозування різних типів рідин у тару визначеного об'єму або ваги. Такі системи дозволяють не лише підвищити продуктивність підприємств, а й істотно покращити якість готової продукції, скоротити втрати сировини та мінімізувати вплив людського фактора. В умовах сучасної економіки, де особливо цінуються ефективність, швидкість і повторюваність процесів, автоматизовані розливні комплекси займають провідне місце.

Однією з ключових сфер застосування авторозливу є харчова промисловість. У виробництві напоїв — води, соків, олії, солодких напоїв, енергетиків та молочних продуктів — автоматичні лінії забезпечують точне наповнення пляшок, пакування та маркування продукції. На великих заводах такі системи працюють із продуктивністю від кількох тисяч до десятків тисяч одиниць тари на годину. Автоматизований розлив гарантує стерильність процесу, рівномірність порцій і дотримання вимог санітарно-гігієнічних норм. Окрім того, у цій сфері важливою є можливість швидкого переналаштування обладнання під різні типи тари — від маленьких пляшок до великих ємностей.

Не менш важливе місце автоматичні системи розливу посідають у виробництві алкогольних напоїв. Вино, пиво, лікери, віскі, ром та інші міцні напої вимагають точного дотримання технологічних норм та об'ємів. У цьому сегменті особливо цінується стабільність дозування, адже від неї залежить не лише смак і якість готового продукту, а й економічна ефективність виробництва. Великі виноробні та пивоварні заводи використовують змішувальні системи, які поєднують авторозлив із технологіями фільтрації, газування, пастеризації та контролю щільності напою. Окремий напрям становлять системи для змішування й купажування алкоголю: вони дозволяють точно поєднувати різні компоненти, контролювати концентрацію спирту та відтворювати рецептури з

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

високою точністю. У таких рішеннях автоматизація усуває ризики помилки та гарантує однаковість продукції у кожній партії.

У фармацевтичній галузі системи авторозливу виконують ще відповідальнішу функцію — дозування лікарських засобів. Сьогодні майже всі рідкі медичні препарати, настоянки, сиропи та розчини готуються й фасуються саме за допомогою автоматичного розливного обладнання. Це забезпечує стерильність середовища, точність доз і відповідність міжнародним стандартам GMP. У таких системах використовують високоточні датчики, безконтактні клапани, стерильні трубопроводи та захист від зовнішнього забруднення. Будь-яке відхилення в дозуванні фармацевтичної продукції може мати критичні наслідки, тому автоматизація тут не просто бажана, а обов'язкова.

У косметичній індустрії автоматичні системи дозування забезпечують безперервне виробництво кремів, шампунів, лосьйонів, гелів і декоративної косметики. Особливість цих рідин — їхня в'язкість, наявність ароматизаторів, олій та стабілізаторів. Тому тут застосовують насоси спеціального типу, а також системи підігріву або перемішування. Завдяки автоматичному розливу виробники отримують можливість підтримувати високу швидкість і точність, працювати з різними формами та об'ємами упаковок і запобігати відходам дорогої сировини.

В останні роки все більше поширення отримують побутові та напівпрофесійні системи авторозливу, які використовують у лабораторіях, приватних підприємствах, невеликих цехах та навіть у домашніх умовах. Це можуть бути системи для фасування меду, молока, рідкого мила, засобів побутової хімії, бензину, мастил, розчинників, парфумів чи косметичних компонентів. У таких пристроях зазвичай застосовують мікроконтролери — Arduino, Raspberry Pi або промислові ПЛК — а також датчики ваги, лічильники потоку, електромагнітні клапани й насосні модулі. Вони дозволяють точно контролювати процес наливу, автоматично вимикати насоси, вести статистику, підлаштовувати параметри та калібрувати процес під різні рідини.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Окрему категорію становлять системи автоматичного розливу у сфері хімічного та технічного виробництва. Розчини кислот, лугів, мастил, теплоносіїв, фарб і лаків потребують підвищеної точності та безпеки. Тут застосовуються спеціальні матеріали, стійкі до корозії, системи фільтрації, захисні екрани та механізми контролю тиску. Автоматизація дає можливість працювати з агресивними речовинами без ризику для персоналу та довкілля.

Ключовою перевагою автоматизованих систем є їхня здатність забезпечувати точність дозування при високій швидкості роботи. У порівнянні з ручним наливом такі системи мінімізують похибки, гарантують однаковий об'єм кожної одиниці продукції та значно скорочують час операцій. У виробництві, де використовуються дорогі або дефіцитні компоненти, точність стає критичним фактором, адже кожна зайва крапля може призвести до значних фінансових втрат у масштабах підприємства.

Сучасні системи авторозливу також здатні інтегруватися в загальну інфраструктуру підприємства: вони можуть працювати у зв'язці з системами контролю якості, лініями пакування, конвеєрами, роботизованими маніпуляторами та автоматичними складами. Таке поєднання дозволяє створювати повністю автоматизовані виробничі лінії з мінімальною участю персоналу. У свою чергу, це підвищує безпеку, зменшує ризик нещасних випадків і покращує загальну ефективність виробництва.

Ще одна важлива особливість — можливість адаптації системи до різних типів рідин: від водоподібних до високов'язких або навіть пінистих. Для цього виробники пропонують різні типи насосів — мембранні, шестеренні, перистальтичні, центробіжні — а також датчики різного принципу дії: вагові, ультразвукові, оптичні, турбінні та магнітно-імпульсні. Грамотна комбінація цих компонентів дозволяє налаштувати обладнання під конкретне виробництво та отримати максимальну точність і стабільність.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ СИСТЕМИ

## 1.1 Особливість роботи систем авторозливу

Системи автоматичного розливу рідин являють собою складні технологічні комплекси, призначені для точного, стабільного та контрольованого дозування різних за властивостями рідин у тару заданого типу та об'єму. Їхня особливість полягає в поєднанні механічних, електронних, програмних і сенсорних компонентів, що утворюють єдину автоматизовану систему керування технологічним процесом. Основною функцією авторозливних систем є забезпечення повторюваності процесу дозування, мінімізації втрат сировини, підвищення продуктивності та гарантування якості кінцевої продукції відповідно до стандартів конкретної галузі промисловості. Ці системи працюють на основі алгоритмів, які враховують властивості рідини, умови її подачі, параметри тари та технічні вимоги до точності наповнення. Особливості функціонування таких систем можна розглядати через їхню здатність пристосовуватися до змін параметрів середовища, реагувати на відхилення та автоматично коригувати технологічний процес.

Однією з ключових особливостей роботи систем авторозливу є забезпечення високого рівня точності дозування, що досягається завдяки використанню сенсорів різного типу: вагових тензометричних датчиків, лічильників потоку, ультразвукових або магнітоіндукційних витратомірів. Точність дозування визначається кількома чинниками, серед яких: стабільність роботи насоса, сталість швидкості потоку, відсутність пульсацій у рідині, а також мінімізація впливу вібрацій та зовнішніх чинників на вимірювальні прилади. У системах, де застосовуються тензодатчики, рідина дозується за масою, що дозволяє досягати точності в межах часток грама. Це особливо важливо у фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловості, де зміна маси навіть на 1–2 % може призвести до відхилення від рецептури або втрати якості продукції. В об'ємних системах точність забезпечується реалізацією

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

поршневого або ротаційного принципів, де заданий об'єм визначається механічною конструкцією дозатора. Тут особливо важливою є стабільність в'язкості рідини, температури та тиску.

Особливість роботи авторозливних систем також полягає у високому рівні автоматизації, що дозволяє інтегрувати обладнання в повноцінні виробничі лінії. У таких лініях процес розливу пов'язаний з подачею тари, її фіксацією, заповненням, герметизацією та маркуванням. Завдяки інтеграції з транспортними системами та конвеєрами авторозливні апарати забезпечують плавність руху продукції та синхронізацію швидкостей між різними етапами циклу. Сучасні системи керування, що базуються на ПЛК або мікроконтролерах, підтримують функції адаптивного налаштування, зміну параметрів «на льоту», а також управління кількома каналами розливу одночасно. Такий підхід дозволяє вирішувати завдання швидкого переналаштування обладнання під різні типи продукції або об'єми тари, що особливо важливо для підприємств, які працюють у режимі багатомоделного виробництва.

Важливою особливістю роботи систем автоматичного розливу є їхня здатність враховувати фізико-хімічні властивості рідин, зокрема густину, в'язкість, температуру, схильність до піноутворення чи випаровування. Наприклад, при роботі з газованими напоями необхідно застосовувати технології стабілізації тиску, контролю CO<sub>2</sub> та плавного заповнення тари знизу, щоб мінімізувати утворення піни. У виробництві олії або сиропів додаткову увагу приділяють підтриманню постійної температури, що впливає на в'язкість та швидкість проходження рідини через дозувальний вузол. Для агресивних хімічних рідин, таких як кислоти або луги, використовуються спеціальні матеріали корпусів насосів і дозаторів, стійкі до корозії, а також безконтактні методи вимірювання. У фармацевтичній галузі критичним фактором є чистота та стерильність, тому особливістю таких систем є наявність CIP/SIP-технологій (очищення та стерилізація на місці), що дозволяють автоматично промивати та знезаражувати робочі лінії без розбирання обладнання.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Ще однією важливою характеристикою роботи авторозливних систем є керування динамікою потоку та компенсація інерційних ефектів. Коли насос вимикається, рідина деякий час продовжує рух за інерцією, що може спричинити перелив або перевищення встановленого об'єму. Тому сучасні системи використовують алгоритми попереднього гальмування потоку, багатоетапні режими наливу (швидкий + точний долив), а також компенсаційні поправки, що визначаються під час калібрування. У вагових системах розливу широкого застосування набув принцип «заздалегідь вимкненого насоса», коли подача зупиняється на кілька грамів раніше, а остаточний об'єм формується інерційним рухом рідини. Подібні алгоритми дозволяють досягати високої стабільності результатів навіть при роботі з продуктивними насосами та великими об'ємами тари.

Особливе значення у роботі систем авторозливу має забезпечення надійності та безпеки обладнання. Автоматичні комплекси забезпечують захист від переповнення, роботи «всуху», перевищення тиску, аварійних ситуацій та нестабільності живлення. Датчики наявності тари запобігають подачі рідини в порожній простір, що є обов'язковою функцією на виробничих лініях. Крім того, програмні модулі ведуть облік кількості виробленої продукції, контролюють параметри роботи насосів і датчиків, а також реєструють помилки для подальшої діагностики.

Важливим аспектом особливостей роботи систем авторозливу є їхня адаптивність та модульність. Сучасні виробничі комплекси дозволяють легко змінювати конфігурацію, додаючи нові дозувальні головки, змінюючи типи датчиків або впроваджуючи нові алгоритми керування. Завдяки модульному принципу системи можуть працювати у складі великих ліній або як автономні установки у невеликих виробництвах. Модульність також передбачає можливість підключення систем контролю якості, машин візуального огляду, систем маркування та пакування.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Отже, особливості роботи систем автоматичного розливу визначаються складною взаємодією механічних, електронних та програмних компонентів, що разом забезпечують точність, продуктивність, адаптивність та безпеку технологічного процесу. Авторозливні системи є багаторівневими комплексами, здатними працювати з широким спектром рідин і виконувати функції від простого дозування до повної інтеграції у високопродуктивні виробничі лінії. Їхні особливості роблять ці системи ключовими елементами сучасної промисловості, забезпечуючи якість продукції та ефективність виробництва.

## 1.2 Огляд існуючих систем

Сучасні системи автоматичного розливу рідин представлені на ринку надзвичайно широким спектром конструкцій та технологічних рішень. Вони відрізняються принципом дозування (вагове, об'ємне, за витратою), типом наповнювального вузла (гравітаційні, поршневі, вакуумні, насосні), компоновкою (лінійні та роторні), рівнем гігієнічності (звичайні, гігієнічні, асептичні), а також ступенем автоматизації (від напівавтоматичних до повністю інтегрованих ліній високої продуктивності). У технічній літературі та промислових каталогах зазвичай виділяють основні групи машин: гравітаційні, напірні (pressure fillers), поршневі, вакуумні, насосні (pump fillers), переливні (overflow), вагові (net-weight), а також спеціалізовані асептичні та перистальтичні системи для фармацевтики й біотехнологій.

Одну з найпоширеніших груп становлять гравітаційні системи розливу, в яких наповнення тари відбувається за рахунок різниці рівнів і дії сили тяжіння. Такі машини добре підходять для відносно рідких та малов'язких продуктів: води, вина, соків, слабогазованих напоїв. Принципово гравітаційні наповнювачі мають простішу конструкцію, можуть виконуватися як у лінійній, так і в роторній компоновці та забезпечують прийнятну точність при невисокій вартості обладнання. У промислових оглядах гравітаційні машини згадуються як базове рішення для ліній розливу напоїв низької та середньої продуктивності.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



причому перша схема краще для однорідних рідин, а друга — для продуктів з частинками.



Рисунок 1.2 – Зображення промислового дозатора.

До насосних систем належать машини, що використовують шестерневі, мембранні, перистальтичні чи інші типи насосів для подачі рідини. Такі рішення універсальні з точки зору номенклатури продуктів: відповідно до промислових каталогів, виробники пропонують лінійні та роторні машини, в яких реалізовано заповнення за допомогою шестерневого насоса, витратоміра, вакуумного контуру чи перистальтичного вузла. Насосні системи дозволяють гнучко налаштувати швидкість і профіль подачі (швидкий налив + повільний долив), що особливо важливо для точного дозування та мінімізації бризок.

Важливе місце в огляді існуючих систем займають вагові (net-weight) наповнювачі, в яких контроль дози відбувається за масою, що визначається ваговими датчиками під кожною позицією пляшки або платформи. Такі рішення

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

реалізуються як у лінійному, так і в роторному виконанні. У промислових описах зазначається, що вагові системи забезпечують найвищу точність та гнучкість: одна й та сама машина може працювати з різними об'ємами, густинами та типами тари без складних механічних переналаштувань, оскільки вирішальною є маса, а не геометрія ємності.



Рисунок 1.3 – Зображення побутового дозатора.

Серед роторних високопродуктивних комплексів для розливу напоїв одним із широко відомих сімейств є машини Krones Modulfill. Компанія Krones пропонує різні модифікації: Modulfill VFS для об'ємного розливу води в ПЕТ-тару з використанням витратомірів; Modulfill HVT — вакуумний наповнювач для скляних пляшок; Modulfill NWJ — вагова система для соусів і в'язких продуктів; інші моделі спеціалізовані під пиво, соки, газовані напої та вина. Зокрема, Modulfill HVT реалізує електропневматичну схему з коригувальною

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

трубкою: тара притискається до клапана, далі відбувається наповнення до досягнення рівня у вент-трубці, після чого лишок вакуумом стягується в окремий канал; це дозволяє одночасно точно витримати рівень і зменшити втрати продукту. У документації для Modulfill-серій наголошується на можливості роботи з двома швидкостями наповнення (швидка/повільна фаза), що мінімізує піноутворення та інерційні ефекти потоку.

До окремого класу належать вакуумні машини розливу, які застосовуються головню для заповнення пляшок вином, міцним алкоголем, ароматичними рідинами та іншими продуктами, де потрібен контроль рівня та зниження впливу розчинених газів. У таких машинах над пляшкою створюється вакуум, завдяки чому рідина затягується в ємність до певного рівня. Саме так працюють промислові системи, подібні до Modulfill HVT, а також численні вакуумні наповнювачі для виноробної промисловості, які гарантують стабільний рівень і низький контакт напою з киснем.

Окремий сегмент ринку становлять асептичні системи розливу, що забезпечують наповнення стерильного продукту в стерильну, попередньо знезаражену упаковку. Найвідоміші промислові реалізації в цьому класі — асептичні картонні лінії Tetra Pak (моделі TBA, TFA, A1, A3/Speed/Flex тощо), які використовуються для фасування молока, соків, нектарів та інших рідких харчових продуктів. Компанія Tetra Pak відзначає, що такі машини поєднують асептичну обробку пакувального матеріалу, стерильну зону наповнення та герметичне зварювання, забезпечуючи випуск до 21 600 упаковок на годину для деяких моделей при мінімальній участі оператора. На вторинному ринку широко представлені вживані асептичні лінії TBA/TFA для молока та соків з продуктивністю 4 500–7 500 пак/год, що свідчить про високу розповсюдженість та тривалий життєвий цикл таких систем.

Особливу нішу займають перистальтичні системи розливу, які широко застосовуються у фармацевтиці, біотехнологіях, парфумерії та для високочутливих рідин невеликих об'ємів. Принцип дії полягає в тому, що рідина

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

переміщується всередині гнучкої трубки, яку періодично стискають ролики ротора; сам насос і дозатор не контактують з продуктом. Виробник Watson-Marlow відзначає, що перистальтичні насоси та системи забезпечують високу точність, захист від контамінації та можливість швидкої заміни «рідинного шляху» за рахунок заміни трубок, що важливо при роботі з різними препаратами та при одноразових (single-use) системах. Лінійка Flexicon компанії Watson-Marlow включає настільні перистальтичні наповнювачі PF22 та OEM-системи PD12P, розраховані на діапазон доз від 0,1 до понад 250 мл із заявленою точністю краще  $\pm 0,5\%$ , що робить їх типовим рішенням для ампул, флаконів, очних крапель та ін'єкційних форм

На рівні загальної класифікації в сучасних оглядах систем розливу часто виділяють також лінійну та роторну компоновки. Лінійні машини, як правило, мають кілька (2–40) наповнювальних голівок, розташованих уздовж конвеєра; тара зупиняється під кожною голівкою, проходячи по станціях. Такі системи простіші в конструкції, легше масштабуються та підходять для середніх швидкостей. Роторні (карусельні) машини будуються у вигляді обертового столу, на якому розміщено десятки наповнювальних позицій; вони досягають дуже високої продуктивності й широко застосовуються в напоївній промисловості. У технічних описах зазначається, що один і той самий виробник може пропонувати як лінійні, так і роторні рішення з різними типами дозувального вузла — поршнеvim, ваговим, вакуумним, шестерневим, витратомірним тощо.

Окрім великих моноблоків для напоїв та асептичних ліній, на ринку існує широкий спектр напівавтоматичних та настільних систем розливу, орієнтованих на малий і середній бізнес, лабораторії та малосерійне виробництво. Це можуть бути ручні гравітаційні дозатори, настільні перистальтичні машини, невеликі поршневі апарати, що обслуговуються одним оператором. У промислових оглядах підкреслюється, що такі системи дозволяють реалізувати той самий принцип дозування, що і великі лінії (перистальтичний, поршневий, ваговий),

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

але з меншою кількістю каналів та нижчою продуктивністю, що є економічно доцільним для невеликих обсягів виробництва.

Узагальнюючи, сучасний стан розвитку систем автоматичного розливу характеризується не стільки окремими «моделями», скільки цілими класами рішень, що комбінують різні принципи дозування, типи насосів і компоновки. На ринку представлені гравітаційні, напірні, поршневі, вакуумні, переливні, вагові, перистальтичні та асептичні системи у лінійному й роторному виконанні, які можуть бути адаптовані під конкретні властивості рідини, вимоги до продуктивності, точності, гігієни й інтеграції в загальний виробничий процес.

### 1.3 Методи вимірювання літражу рідини

У системах автоматичного розливу рідини, що реалізуються на базі мікроконтролерів, зокрема Arduino, особливе місце займають методи вимірювання об'єму чи маси продукту. Від правильного вибору методу залежить не лише точність дозування, але й стабільність, довговічність та передбачуваність роботи всієї установки. У промислових і побутових рішеннях найчастіше застосовують три основні методи: дозування за часом роботи насоса, вимірювання за масою із використанням тензодатчиків та визначення літражу за допомогою імпульсних датчиків потоку. Кожен із них має відмінну природу, технічні особливості, власні сильні сторони та характерні недоліки, які проявляються в реальних умовах експлуатації.

Метод дозування за часом роботи насоса є одним із найстаріших і найпростішими у реалізації. Принцип дії ґрунтується на тому, що заздалегідь вимірюється продуктивність насоса в мілілітрах за секунду, а надалі Arduino регулює тривалість роботи помпи, виходячи з цього значення. Простота цього підходу робить його привабливим у ситуаціях, де бюджет обмежений, або де точність не відіграє вирішальної ролі. Він дозволяє повністю уникнути встановлення складних датчиків, що важливо для невеликих виробництв, аматорських проєктів чи домашніх систем розливу. Однак цей метод має низку

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

критичних недоліків. Найсерйознішим є залежність від стабільності продуктивності насоса. З часом двигун старіє: щітки зношуються, крильчатка деформується, механічні частини забруднюються. Через це фактична швидкість подачі рідини помітно змінюється. Додатковий фактор нестабільності — коливання напруги: якщо живлення падає навіть на 5–10 %, оберти двигуна зменшуються, що одразу впливає на об'єм рідини, яку він перекачує

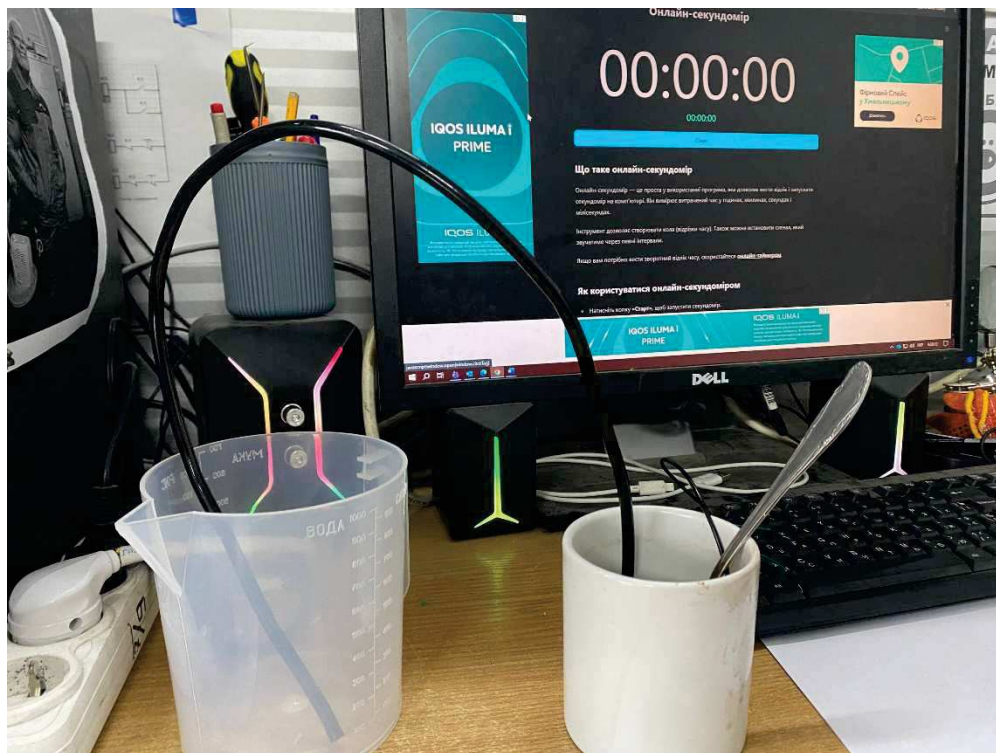


Рисунок 1.4 – Приклад калібровки розливу по часу

. Зміни температури або в'язкості рідини також змінюють швидкість потоку, інколи дуже суттєво. Наприклад, вода, охолоджена до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тече значно повільніше, ніж при кімнатній температурі, а для густих рідин (мед, олія) похибка може бути взагалі непередбачуваною. Через такі фактори точність методу сильно плаває і може сягати похибки 20 %, якщо система не калібрується щоразу перед роботою. Усе це робить дозування по часу прийнятним лише там, де невелика похибка не є критичною, або використовується додаткова корекція результатів через ваговий контроль чи датчик потоку.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

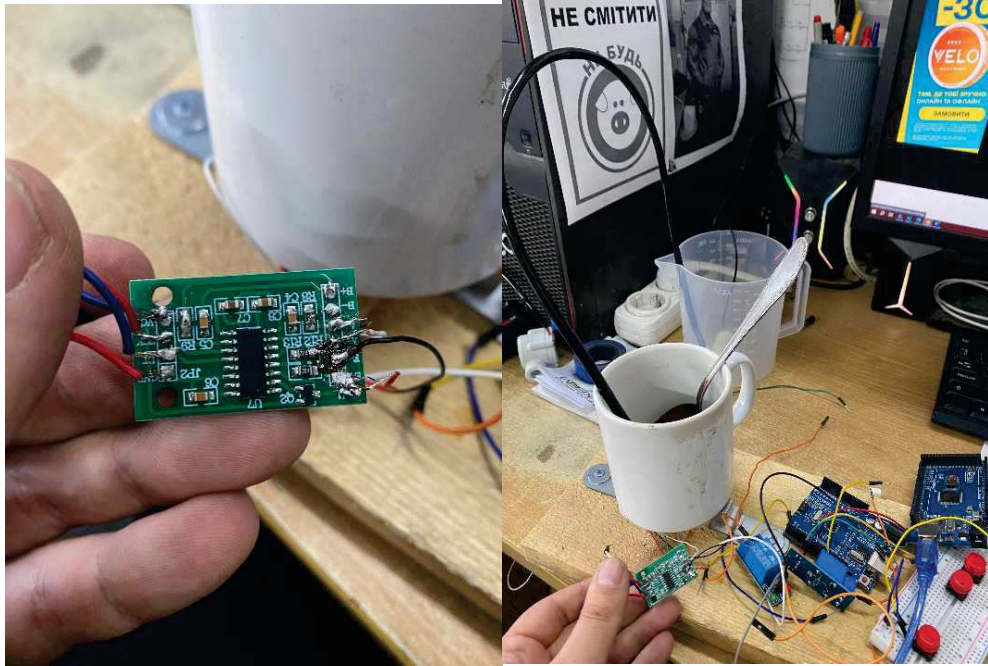


Рисунок 1.5 – Приклад калібровки наливу по датчику ваги

Вимірювання за масою із використанням тензодатчика та підсилювача типу НХ711 є одним із найнадійніших і найточніших методів контролю кількості рідини в автоматичних системах. Arduino отримує значення ваги у реальному часі, і дозування завершується не за часом, а за фактичним досягненням потрібної маси. Цей підхід повністю знімає проблему залежності від стану насоса або властивостей рідини, адже система контролює не процес, а результат. Масу можна вимірювати однаково точно незалежно від густини, в'язкості чи піноутворення рідини. Це робить ваговий метод універсальним для широкого спектра рідин — від води і молока до рідкого мила, шампунів, технічних мастил та спиртових розчинів. Перевагою є можливість роботи з будь-якою тарою, оскільки система «дивиться» лише на масу, а не на форму або об'єм. Завдяки цьому тензодатчики популярні навіть у промислових вагових лініях. Проте ваговий метод не позбавлений недоліків. Тензодатчики надзвичайно чутливі до навіть невеликих вібрацій, ударів та зовнішніх коливань. Якщо система стоїть на нестабільній або хиткій поверхні, показники можуть «стрибати», що інколи призводить до передчасної зупинки насоса. Електричні шуми від двигунів, імпульсних блоків живлення та реле можуть впливати на покази НХ711, що

потребує додаткових методів фільтрації. Крім того, тензодатчики мають властивість дрейфувати з часом — маса може повільно змінюватися навіть без зміни ваги, що потребує періодичного «обнулення» або повторного калібрування. У системах, де стоїть задача дуже точного дозування (до 1–2 грамів), доводиться використовувати алгоритми цифрового згладжування, рухомі середні та ліміти чутливості, щоб уникнути завеликих стрибків показів. Незважаючи на ці недоліки, ваговий метод залишається найбільш точним та універсальним і найчастіше використовується в сучасних системах автоматичного розливу, включаючи професійні.



Рисунок 1.6 – Приклад калібрувки наливу через датчик літражу.

Третій метод — вимірювання літражу за допомогою імпульсних датчиків потоку — поєднує технічну елегантність і достатню точність, роблячи його одним із найпопулярніших рішень у системах на базі Arduino. Датчики типу YF-S201, FS400A та подібні містять крильчатку, що обертається під тиском рідини.

Магніт на крильчатці генерує імпульси, які Arduino рахує й перетворює на об'єм, використовуючи відомий коефіцієнт імпульсів на літр. Цей метод дає значно точніші результати, ніж дозування по часу, і при сталому потоці може забезпечувати похибку лише 2–5 %. Важливою перевагою датчика потоку є його здатність давати інформацію в режимі реального часу: система може відстежувати, чи тече рідина, чи не забився шланг, чи не впав тиск і чи не зупинився насос. Проте і цей метод має власні слабкі сторони. Найбільшою проблемою є залежність крильчатки від властивостей рідини. Якщо рідина густа, містить тверді частинки, бульбашки повітря або має високий поверхневий натяг, крильчатка може обертатися нерівномірно або взагалі зупинитися. У результаті імпульси фіксуються неправильно, і об'єм визначається неточно. Так само датчик потоку чутливий до мінімальної швидкості руху рідини: якщо насос слабкий або система має великий опір, крильчатка обертається повільно й видає неточні дані. Ще один суттєвий недолік — пульсації потоку в перистальтичних насосах, які викликають нерівномірні стрибки імпульсів. Тому для практичного використання потрібні спеціальні математичні фільтри, які згладжують ці коливання. Крім того, зворотний тиск або бурління рідини на виході можуть створювати паразитні імпульси, що ускладнює контроль точності. Незважаючи на ці нюанси, датчики потоку залишаються одним із найзручніших способів отримання даних про об'єм, особливо якщо система працює з водоподібними рідинами — водою, соками, напоями, спиртовими розчинами, технічними рідинами низької в'язкості.

У багатьох сучасних системах автоматичного розливу застосовується комбінований підхід, коли датчик потоку або метод часу визначає приблизний об'єм, а фінальну точність контролює тензодатчик. Така гібридна схема дозволяє мінімізувати недоліки кожного з методів окремо. Дозування по часу компенсується ваговим контролем, а датчик потоку дозволяє уникати сухого ходу та виявляти помилки в реальному часі. Завдяки цьому комбіновані системи здатні забезпечити не лише точність, але й стабільність та безпеку роботи.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Загалом усі три методи — по часу, ваговий та імпульсний — придатні для роботи з Arduino, але кожен із них має свою чітку нішу. Якщо потрібна максимальна простота — підходить час. Якщо потрібна максимальна точність — ваги. Якщо необхідний баланс між швидкістю, простотою та контролем потоку — найкращим рішенням є датчик літражу. Розуміння цих особливостей дозволяє обрати оптимальний метод для конкретної задачі та забезпечити надійну й передбачувану роботу системи автоматичного розливу.

#### 1.4 Типи насосів

Особливу увагу при виборі насосів до систем авторозливу на базі Arduino необхідно приділяти не лише електричним характеристикам, а й структурним особливостям конкретної установки. У більшості невеликих автоматичних розливних комплексів насос є елементом, що найбільше впливає на точність, швидкість та стабільність роботи. Тому важливо оцінювати не тільки його продуктивність у мілілітрах за хвилину, а й поведінку при тривалих циклах, нагрівання, зміну навантаження, а також відповідність конкретному алгоритму дозування — по часу, по масі або за допомогою імпульсного датчика потоку. Те, який тип насоса застосовується, часто визначає, наскільки система буде чутливою до інерції, зворотного тиску, перепадів напруги та гідравлічних опорів.

У промисловому середовищі давно відомо, що найбільш стабільні та передбачувані режими потоку забезпечують насоси з механічною точністю подачі — шестерневі й поршневі. Вони здатні створювати рівномірний тиск навіть при роботі з густими або неоднорідними рідинами. Однак для систем, побудованих на Arduino і з обмеженим бюджетом, такі насоси часто виявляються недоступними через високу вартість, складність електронного керування та вимоги до обслуговування. У зв'язку з цим у реальних конструкціях малих авторозливних пристроїв переважають та перистальтичні насоси, які хоча й мають деякі недоліки, але повністю узгоджуються з

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

низьковольтною логікою живлення та простими алгоритмами керування.



Рисунок 1.7 – Приклад звичайної занурювальної помпи 5В.

Особливе поширення в системах, що працюють від 12 В, мають мембранні насоси, які поєднують достатній тиск, помірну витрату та стійкість до зворотних потоків. У контексті автоматичного розливу вони відомі здатністю формувати «стрибкоподібний» потік, що проявляється в коротких імпульсах тиску, викликаних рухом мембрани. Ці пульсації часто негативно впливають на точність дозування при роботі по часу або з датчиком потоку. Однак вони майже не впливають на точність при роботі за масою, де система контролює кінцевий результат, а не сам процес подачі. Саме тому мембранні насоси у поєднанні з тензодатчиком дають один із найкращих результатів у малобюджетних розливних системах, зважаючи на свою унікальну будову, часто застосовуються там, де потрібна висока гігієнічність, мінімальний контакт рідини з механізмами

та простота обслуговування. Ключовою їхньою особливістю є те, що рідина рухається виключно всередині трубки, а тому заміна трубки повністю оновлює «внутрішній шлях» рідини. Це особливо корисно в системах, де потрібно часто змінювати тип продукту чи працювати з агресивними або забруднювальними рідинами. Перистальтичні насоси також є одним із найкращих рішень для систем, що працюють з датчиком потоку, оскільки здатні створювати відносно стабільний потік за умови використання трубок однакової жорсткості. Проте на високих обертах у них з'являються суттєві пульсації, які вимагають програмного згладжування вимірювань. У системах, де потрібна висока точність, перистальтичні насоси часто застосовуються у зв'язці з ваговим методом дозування — насос подає більшу частину об'єму у швидкому режимі та завершує долив повільною фазою.

Цікавим варіантом для Arduino є й шестерневі насоси низьковольтного виконання, які зазвичай працюють від 12 В і зустрічаються у спеціалізованих установках для мастил та технічних рідин. Такі насоси створюють дуже рівномірний, стабільний потік і можуть працювати з в'язкими середовищами, що робить їх надзвичайно ефективними в складних умовах. Їхнім головним мінусом є підвищена чутливість до частинок та необхідність майже ідеально чистої рідини. Ці насоси істотно дорожчі, а їхня загальна конструкція складніша, однак у системах, де точність і рівномірність потоку є критичними, вони можуть значно перевершувати мембранні або перистальтичні аналоги.

Занурювальні насоси, з одного боку, є максимально простими для використання — вони всмоктують рідину, перебуваючи безпосередньо всередині резервуара. Така конструкція дозволяє позбутися необхідності облаштування окремих підвідних шлангів, знизити шум і спростити гідравлічну частину. Проте занурювальні насоси погано працюють з густими рідинами, створюють слабкий тиск і не підходять для високоточного дозування. Їхнє використання найчастіше обмежується побутовими системами, наприклад: подачею води, акваріумними пристроями або декоративними системами. В установках авторозливу такі

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

насоси можна застосовувати лише для малих обсягів або коли точність не є критичною.



Рисунок 1.8 – Приклад діафрагмового насосу.

Мініатюрні центробіжні помпи, що працюють від 6–12 В, здатні створювати досить великий обсяг потоку, однак вони майже не піддаються тонкому регулюванню подачі. Потік таких насосів практично не лінійний, сильно залежить від рівня рідини в резервуарі та зміни опору в шлангах. Через це їх використовують переважно для перекачування великих обсягів або для попереднього подання рідини в буферний резервуар, а не для точного дозування у тару.

У всіх зазначених типах насосів особливо важливою є поведінка при коливаннях напруги живлення. Оскільки Arduino-системи часто працюють від блоків живлення побутового рівня, коливання напруги на 0,5–1 В можуть

викликати зміну швидкості обертання двигуна на 10–20 %. Через це у точних системах використовують окремі стабілізовані блоки живлення або DC-DC перетворювачі зі стабілізацією. Для насосів, що працюють на перистальтичному або шестерневому принципах, це критично важливо, оскільки навіть незначне зниження швидкості впливає на час подачі та викликає похибку.

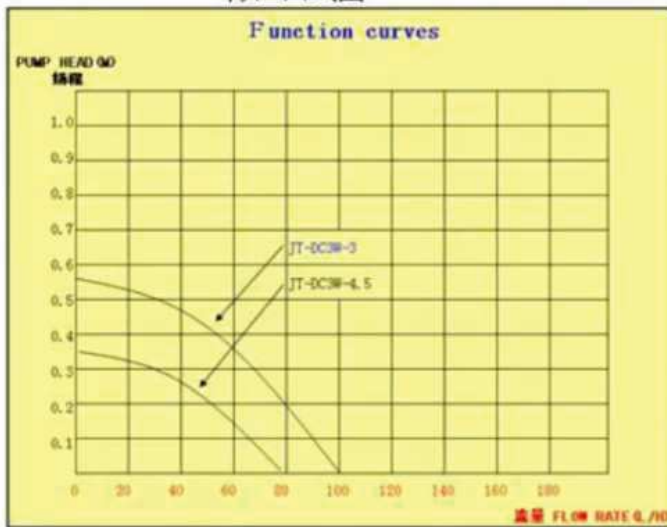
Таким чином, для систем автоматичного розливу на базі Arduino типовим є застосування мембранних 12-вольтових насосів для універсальних завдань, перистальтичних насосів для стерильних або особливо чутливих рідин, занурювальних насосів для низькоточного наливу малих обсягів і шестерневих насосів для точного потоку густих рідин. Кожен із цих типів має власну зону ефективності, яка визначається властивостями продукту, вимогами до точності, доступним бюджетом і рівнем складності, який допускає проєкт.

У теоретичному плані система автоматичного розливу на базі Arduino може працювати практично з будь-яким типом насоса, незалежно від його конструкції чи номінальної напруги живлення. Це можливо завдяки тому, що мікроконтролер не живить насос безпосередньо, а лише керує проміжним виконавчим елементом — реле або транзисторним ключем. Реле дозволяє комутувати навантаження значно більшої потужності, ніж може видати Arduino, тому через нього можна підключити навіть професійні помпи, що працюють на 24 В або 220 В. Головне — правильно підібрати реле за струмом та створити окрему, стабільну й безпечну систему живлення для насоса. Такий підхід дає можливість використовувати широкий спектр насосів — від побутових мембранних і перистальтичних до шестерневих промислових або навіть високопродуктивних центробіжних агрегатів. Саме це робить Arduino універсальною платформою, яка здатна адаптуватися під практично будь-які вимоги: досить лише обрати відповідний силовий модуль керування й забезпечити коректну електричну розв'язку між логічною та силовою частинами системи.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Model 型号	Voltage Scope (DC) 电压	Current (A) 电流	Power (W) 功率	Max Water Head (M) 扬程	Max Flow Rate (L/H) 流量	Starting Voltage 启动电压	waterproof ing grade 防水等级
JT-DC3W-3	3V	0.12	0.36	0.35	80	1	IP68
JT-DC3W-4.5	4.5V	0.18	0.91	0.55	100	1	IP68

特性曲线图



使用范围及材质说明

使用环境温度	零下20度到60度
使用环境湿度	90%RH以下
使用介质的温度	零下20度到60度
使用介质	水、不易燃的流动性好的液体
使用场所 (operation place)	医疗、喷泉等
寿命 (lifetime)	≥200H (连续工作)
重量	30G
噪声 (unpitched sound)	≤40dB
水泵壳材料 (Pump shell Material)	ABS
电机轴铁	铁氧体永磁
电机嵌包铜线	2UEW 耐温130度
水泵材料	ABS
电路板材料	PVC
电机型号	140型 5500RPM/MIN

Рисунок 1.9 – Технічні характеристики занурюваної помпи 5В

У наданій специфікації виробник подає графік з гідравлічними характеристиками насосів серії JT-DC3W, який демонструє залежність між продуктивністю насоса (витратою рідини) та створюваним напором. Графік складається з двох кривих, що належать різним модифікаціям моделі: JT-DC3W-3 (працює від 3 В) та JT-DC3W-4.5 (працює від 4.5 В). По вертикальній осі відкладено напір, який насос здатен створити, у метрах водяного стовпа, а по горизонтальній — витрата рідини в літрах за годину.

Такий тип графіка не має жодного відношення до пускових струмів чи електричних характеристик двигуна. Це виключно гідравлічна функціональна крива, що дозволяє оцінити роботу помпи у різних умовах навантаження. Зокрема, з графіка видно, що при максимальному напорі (тобто коли насос піднімає воду на найбільшу висоту) витрата дорівнює нулю — це природно, оскільки у цьому режимі насос лише долає гравітаційний тиск без реальної подачі рідини. Для моделі JT-DC3W-4.5 максимальний напір становить

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

приблизно 0,9 м, тоді як для менш потужної версії на 3 В він становить близько 0,55 м.

Із зменшенням опору системи (наприклад, при горизонтальному прокладанні трубки або малій висоті підйому) напір зменшується, проте витрата збільшується. За графіком видно, що модель на 4.5 В здатна забезпечити витрату до  $\approx 170\text{--}180$  л/год при мінімальному напорі. Модель на 3 В демонструє нижчі параметри — близько 100–130 л/год.

Таким чином, графік показує робочі режими насоса та дозволяє правильно підібрати модель для конкретних умов експлуатації — зокрема, для системи авторозливу, де важливо знати, чи зможе помпа працювати стабільно при необхідній висоті резервуара та довжині шлангів. Водночас цей графік не містить інформації про пускові струми двигуна, а характеристика «5500 RPM» у таблиці праворуч не стосується навантажувальної кривої, а вказує лише номінальну швидкість обертання ротора насоса, що не є показником стартового електричного навантаження на систему.

#### Висновки до першого розділу

У першому розділі було проаналізовано особливості роботи сучасних систем авторозливу, існуючі технічні рішення, а також методи вимірювання об'єму рідини й типи насосів, що застосовуються в автоматизованих установках. Проведений огляд показав, що більшість промислових і побутових систем ґрунтуються на використанні імпульсних датчиків літражу, реле або транзисторних ключів, а також мікроконтролерних платформ, здатних обробляти дані в реальному часі. Визначено, що поділ низьковольтної логіки та силових елементів є ключовим критерієм стабільності роботи таких систем, а наявність захисних механізмів — обов'язковою умовою безпечної експлуатації.

Аналіз існуючих рішень дав змогу сформуванню переліку вимог до майбутньої системи: точне вимірювання об'єму рідини незалежно від швидкості потоку, автоматичне блокування в разі відсутності тари, можливість регулювання

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

заданого об'єму, стійкість до пускових струмів насосів, зручний інтерфейс користувача та модульна побудова схеми. Було визначено найбільш раціональний метод вимірювання літражу — імпульсні датчики з датчиком Холла, які забезпечують надійність, простоту інтеграції та високу точність. Розгляд типів насосів дозволив обґрунтовано обрати занурювальні 5-вольтові моделі, що відповідають вимогам компактності, безшумності та безпечного внутрішнього встановлення.

Отже, результати першого розділу стали теоретичною основою для проектування власної системи авторозливу, дозволили визначити оптимальну структуру майбутнього пристрою та сформулювати ключові технічні вимоги, які були реалізовані в наступних розділах.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ АВТРОЗЛИВУ

### 2.1 Розробка структурної схеми системи авторозливу

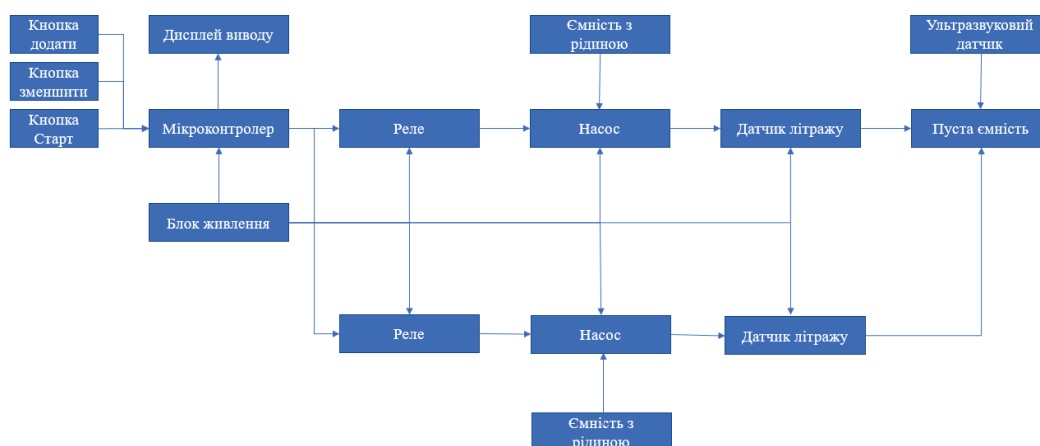


Рисунок 2.1 – Структура роботи системи авторозливу.

Подана структурна схема демонструє логічну організацію роботи автоматизованої системи розливу рідини, у якій кожен функціональний блок виконує чітко визначену роль, а загальна послідовність їхньої взаємодії забезпечує точність, стабільність та повторюваність технологічного процесу. У центрі всієї системи знаходиться мікроконтролер, який синхронізує роботу всіх модулів, отримує сигнали від органів керування, обробляє дані сенсорів і формує керуючі команди для виконавчих механізмів. Робота системи починається із взаємодії користувача з панеллю керування, представленою трьома кнопками: «Додати», «Зменшити» та «Старт». Кнопки формують первинний набір команд, який визначає об'єм рідини, параметри режиму роботи або момент запуску процесу дозування. Сигнали від кнопок надходять до мікроконтролера, де вони цифровим чином фільтруються, обробляються та порівнюються з поточними параметрами системи. Це дозволяє уникнути помилкових спрацьовувань, викликаних механічним дребезгом контактів або електричними завадами.

Мікроконтролер виконує функції центрального обчислювального вузла. Залежно від алгоритму роботи він аналізує стан системи, визначає необхідний режим дозування, зчитує дані з датчика літражу та формує комутаційні сигнали для реле. Для коректної роботи контролера необхідне стабільне живлення, яке забезпечується через блок живлення. Він подає енергію як безпосередньо на мікроконтролер, так і на інші модулі системи, причому логічні та силові кола можуть бути розмежовані для уникнення флуктуацій напруги та електромагнітних перешкод. Наявність стабільного джерела живлення є критичною, адже будь-які коливання можуть впливати на точність зчитування датчиків, роботу реле та продуктивність насоса.

Важливим елементом інформаційної взаємодії з користувачем є дисплей, під'єднаний до мікроконтролера. Через нього система відображає поточні параметри: встановлений об'єм наливу, режим роботи, покази сенсорів, статус насоса та діагностичні повідомлення. Дисплей дозволяє оператору контролювати процес у режимі реального часу, що значно підвищує ергономічність та безпеку використання системи. Одночасно він виконує роль інструмента візуальної діагностики, допомагаючи виявляти несправності, наприклад відсутність рідини, обрив у ланцюзі датчика або некоректну роботу насоса.

Силовим елементом у схемі виступає реле, яке слугує електромеханічним посередником між мікроконтролером і насосом. Оскільки мікроконтролер працює з низьковольтними сигналами (5 В) і не може забезпечувати високий струм, реле дозволяє йому керувати насосом, що живиться від окремої потужної лінії 12 В. Коли мікроконтролер подає сигнал увімкнення, реле замикає силове коло, передаючи живлення на насос; при вимкненні — розмикає його. Таким чином реалізується повноцінне електричне розділення логічної та силової частин, що підвищує безпеку та зменшує ймовірність пошкодження мікроконтролера внаслідок перенавантаження або короткого замикання у ланцюзі насоса.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Насос є ключовим механічним виконавчим пристроєм, який забезпечує фізичне переміщення рідини від ємності з рідиною до порожньої тари. У процесі роботи насос створює необхідний тиск та витрату, завдяки чому рідина проходить крізь трубопровід і датчик літражу. Продуктивність насоса може залежати від типу рідини, висоти підйому, довжини шланга, температури та електричного навантаження, тому система передбачає можливість корекції параметрів через програмні алгоритми або додаткові сенсорні вузли.

Датчик літражу виконує функцію точного вимірювання об'єму рідини, що пройшла крізь систему. У більшості випадків він працює на основі крильчатки, яка обертається потоком рідини та генерує імпульси, пропорційні швидкості потоку. Мікроконтролер рахує ці імпульси та визначає фактичний об'єм рідини, порівнюючи його з встановленим значенням. Такий підхід дозволяє контролювати процес у режимі реального часу, здійснювати точне відслідковування об'єму й миттєво реагувати на досягнення цільового значення. Крім того, датчик може слугувати засобом діагностики: відсутність імпульсів свідчить про блокування потоку, наявність надто високої частоти — про надмірний тиск або можливі гідравлічні перешкоди.

Після проходження датчика літражу рідина надходить у порожню ємність, де завершується цикл дозування. Мікроконтролер постійно порівнює фактичний об'єм з цільовим та керує насосом аж до моменту, коли заданий рівень буде досягнутий. Після цього контролер подає сигнал на реле для вимкнення насоса, зупиняючи подачу рідини. У разі потреби система може реалізовувати додаткові цикли доливу, корекції або паузи, залежно від алгоритму роботи.

Важливо зазначити, що дана структурна схема демонструє базовий однонасосний варіант системи, однак її архітектура є модульною та легко масштабованою. На практиці за тим самим принципом керування через реле або транзисторні ключі можна підключати два, три або навіть десятки насосів, кожен із яких працюватиме в незалежному режимі, але під контролем одного мікропроцесорного блоку. Розширення системи вимагатиме лише додавання

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

нових силових модулів, сенсорів і корекції програмного забезпечення, тоді як основна логіка та структура взаємодії блоків залишаються незмінними. Таким чином, схема слугує не лише прикладом конкретної реалізації, але й універсальною моделлю, придатною для масштабування під складні багатоканальні автоматичні лінії розливу.

## 2.2 Розробка принципової схеми

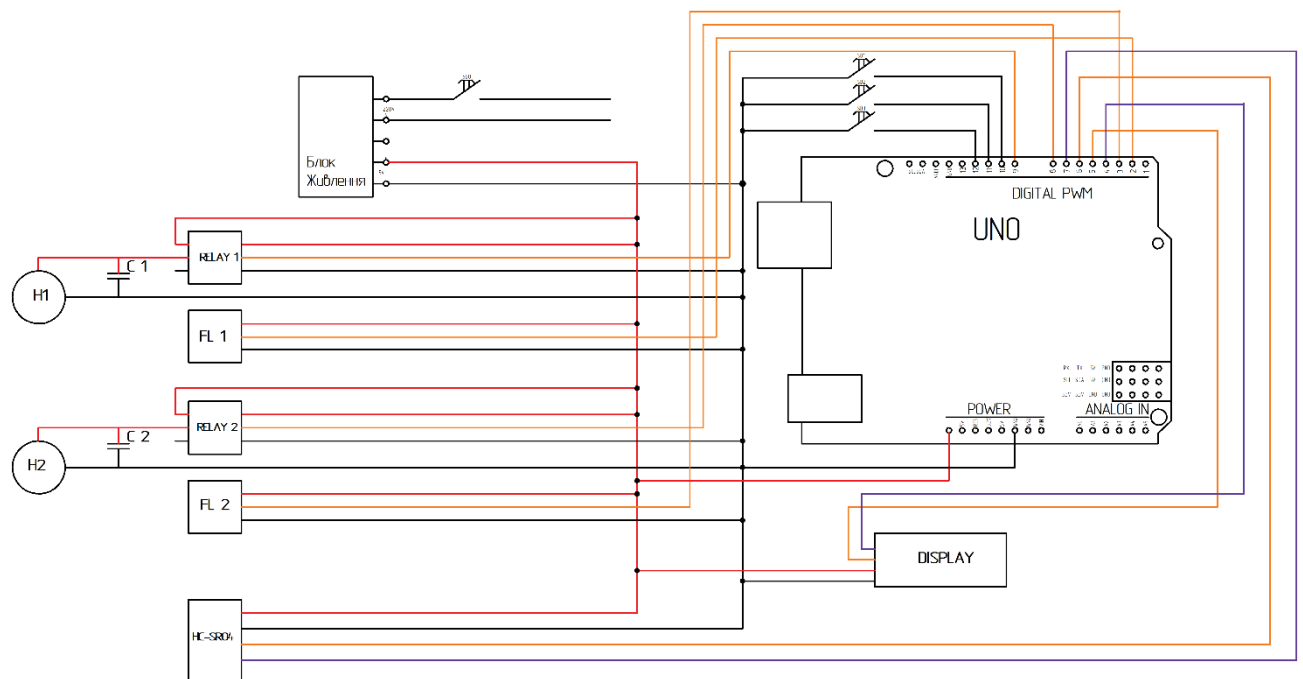


Рисунок 2.2 – Принципова електрична схема системи авторозливу.

У розробленій автоматизованій системі розливу рідини реалізовано комплекс електронних та програмних рішень, що забезпечують точний контроль об'єму, плавне керування виконавчими механізмами та багаторівневий захист від аварійних ситуацій. Основою системи є мікроконтролер Arduino Uno, який координує роботу всіх периферійних елементів та здійснює логічну обробку сигналів, керування реле, обчислення параметрів та взаємодію з користувачем. Оновлена схема містить додану кнопку SB0, що розриває вхідну лінію живлення 220 В перед блоком живлення та виконує роль головного мережевого вимикача.

Завдяки цьому система функціонує як побутовий електроприлад, який можна безпечно вимкнути повністю.

Живлення всіх низьковольтних елементів забезпечує імпульсний блок живлення типу S-15-5, який формує стабілізовану напругу 5 В для Arduino, датчиків, індикатора та виконавчих модулів. Його живлення здійснюється через кнопку SB0, а вихідні клеми 5V та GND утворюють основну шину живлення системи. При подальшому проектуванні було виявлено, що занурювальні насоси Н1 та Н2, попри невелике номінальне споживання струму, створюють значні пускові імпульси, які призводили до миттєвого просідання напруги на шині 5 В. Це викликало перезавантаження Arduino та нестабільну роботу датчиків. Для вирішення цієї проблеми до кожного насоса було додано згладжувальний конденсатор С1 та С2, підключений паралельно живильній лінії. Конденсатори накопичують заряд і миттєво компенсують пусковий струм у момент старту двигуна, завдяки чому система працює стабільно навіть під час інтенсивних циклів увімкнення та вимкнення насосів.

Комутування насосів в оновленій схемі виконують релейні модулі RELAY1 та RELAY2, які створюють електричну розв'язку між низьковольтною логікою Arduino та силовим колом живлення насосів. Кожне реле під'єднане до окремого цифрового виходу мікроконтролера, що дає змогу незалежно керувати насосами в автоматичному або напівавтоматичному режимі. Система працює за принципом: коли Arduino визначає досягнення заданого об'єму або фіксує відсутність тари, реле негайно розриває лінію живлення насосів через контакти COM/NO.

Контроль об'єму рідини забезпечують два датчики літражу FL1 та FL2, кожен з яких генерує імпульси під час проходження рідини крізь турбіну. Імпульси надходять на апаратні входи переривань Arduino, що дозволяє фіксувати кожен оберт турбіни, незалежно від виконання мікроконтролером інших задач. Експериментально встановлено, що середнє співвідношення становить приблизно 63 імпульси на 100 мл рідини, і це значення використано

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

для точного калібрування системи. Завдяки роботі в режимі переривань точність вимірювань не залежить від швидкодії програми, що гарантує стабільну роботу навіть тоді, коли потік рідини змінюється.

Додатковий рівень захисту реалізовано через ультразвуковий датчик HC-SR04, який контролює наявність тари під зоною наливу. Ардуїно постійно відстежує відстань до об'єкта, що перебуває в зоні датчика, і дозволяє запуск насоса лише у випадку, якщо ємність розташована коректно. Якщо під час наливу користувач прибирає стакан, система негайно зупиняє насос, запобігаючи розливу рідини всередині корпусу. Ультразвуковий контроль працює незалежно від датчиків літражу та реле, утворюючи окремий контур безпеки, що суттєво підвищує надійність роботи системи.

Управління системою здійснюється користувачем через три кнопки: SB1 виконує функцію збільшення об'єму наливу, SB2 відповідає за його зменшення, SB3 запускає процес роботи насоса. Логіка кнопок базується на внутрішніх підтягувальних резисторах Arduino, що спрощує схему та підвищує її надійність. Вся інформація про стан системи відображається на індикаторі TM1637, який показує поточний режим, вибраний об'єм, кількість отриманих імпульсів та службові повідомлення. Індикація залишається стабільною, оскільки модуль TM1637 навантажує Arduino мінімально, використовуючи двопровідний інтерфейс.

Сумарно всі елементи працюють як єдина інтегрована система, в якій Arduino виступає центральним логічним ядром, що аналізує покази датчиків FL1 та FL2, контролює наявність тари через HC-SR04, керує реле для вмикання насосів Н1 та Н2, обробляє сигнали від кнопок SB1, SB2 і SB3 та забезпечує інформування користувача через дисплейної модуль. Додана кнопка SB0 на вході 220 В забезпечує повне відключення системи від мережі, що значно підвищує безпеку експлуатації, а згладжувальні конденсатори C1 і C2 стабілізують живлення під час роботи насосів, завдяки чому унеможливорюються мимовільні перезавантаження Arduino. Таким чином сформовано надійну,

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

енергоєфективну та захищену систему авторозливу, придатну для тривалої експлуатації, масштабування та використання в різних побутових і виробничих середовищах.

### 2.3 Алгоритм роботи системи

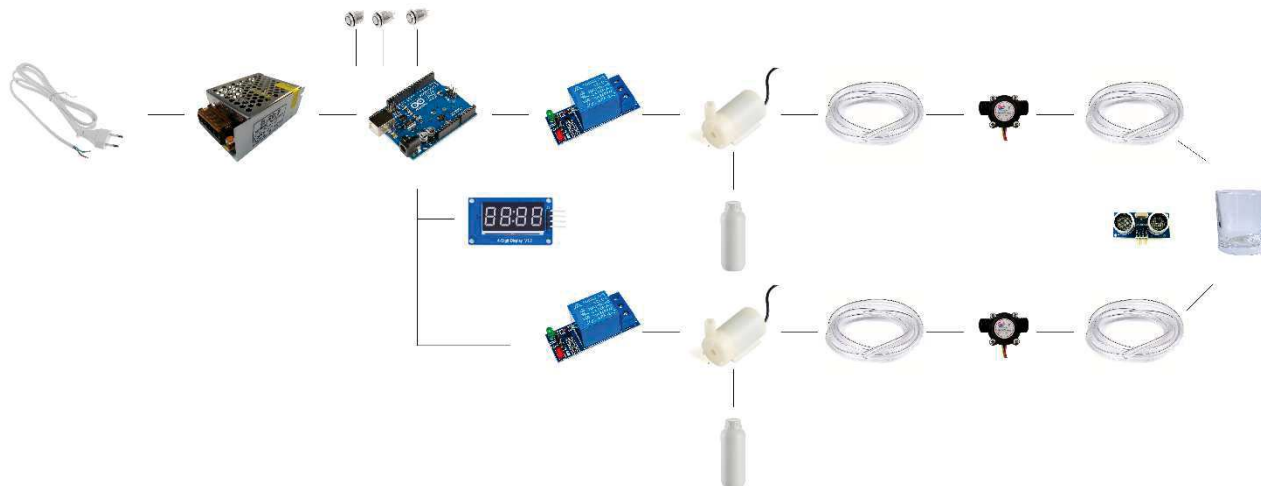


Рисунок 2.3 - Структура роботи системи авторозливу по елементам.

Після подачі живлення від блока живлення на 5 В система переходить у початковий режим, у якому Arduino Uno проводить автоматичну ініціалізацію всіх підключених модулів та сенсорів. На цьому етапі активуються внутрішні підтягувальні резистори для кнопок керування, налаштовуються цифрові входи для зчитування стану ультразвукового датчика й виходи для релейних модулів, на яких за замовчуванням встановлюється вимкнений стан. Одночасно мікроконтролер конфігурує модуль індикатора TM1637 та переходить у режим очікування дій користувача. На дисплей виводиться початкове значення об'єму або попередній режим, що сигналізує про готовність системи до роботи.

У пасивному режимі контролер постійно опитує стан кнопок «+» і «-», дозволяючи користувачу збільшувати або зменшувати цільовий об'єм наливу. При кожному натисканні дисплей оновлює значення, наочно відображаючи задану кількість мілілітрів. Поки користувач налаштовує потрібний об'єм, Arduino паралельно контролює стан ультразвукового датчика, визначаючи наявність або відсутність тари. Якщо тара не знаходиться в зоні наливу,

індикатор може відображати помилку або нульове значення, але запуск насоса при цьому неможливий. Система не реагує на натискання кнопки START, доки ультразвуковий датчик не підтвердить, що посудина встановлена правильно.

Після того як користувач виставив потрібний об'єм і натиснув кнопку START, Arduino переходить до етапу перевірки безпеки запуску. Контролер ще раз зчитує показання ультразвукового датчика, підтверджує, що тара дійсно присутня в зоні подачі рідини, і тільки тоді активує відповідне реле, яке подає живлення на насос. Разом з тим увімкнення насоса не впливає на стабільність системи, тому що на електроживленні двигуна встановлено згладжувальний конденсатор, який компенсує стрибок пускового струму. Це запобігає різкому просіданню напруги та пов'язаним із цим перезавантаженням або збоїм Arduino. Завдяки цьому запуск насоса відбувається плавно з електричної точки зору, а мікроконтролер продовжує працювати стабільно.

Як тільки насос увімкнено, рідина починає рухатися по трубці й проходить через датчик літражу. В середині датчика знаходиться крильчатка, яка обертається під потоком рідини; датчик Холла фіксує кожен оберт і формує електричні імпульси, які надходять на пін переривань мікроконтролера. Arduino реєструє кожен імпульс у реальному часі незалежно від виконання основного циклу програми. Лічильник імпульсів збільшується з кожним обертанням крильчатки, а контролер за допомогою каліброваного коефіцієнта перераховує їх у об'єм рідини. На дисплеї може відображатися або кількість імпульсів, або вже перерахований об'єм залежно від поточного режиму роботи.

Протягом наливу система працює в режимі постійного контролю. На кожній ітерації основного циклу Arduino проводить кілька паралельних перевірок. Першою є контроль об'єму — контролер постійно порівнює накопичену кількість імпульсів із заданою величиною. Як тільки фактичний об'єм рідини досягає встановленого користувачем значення, мікроконтролер негайно знеструмлює відповідне реле, вимикає насос і завершує цикл наливу. Одночасно

на дисплей TM1637 виводиться інформація про завершення процесу або відображається зупинка системи.

Другою паралельною перевіркою є контроль наявності тари під час наливу. Ультразвуковий датчик постійно передає дані про відстань до поверхні посудини, і якщо Arduino виявляє, що тара несподівано була прибрана або змістилась поза допустиму зону, контролер негайно зупиняє насос, незалежно від того, скільки рідини вже налито. Такий механізм дозволяє уникнути проливу рідини повз ємність та забезпечує безпеку роботи системи. Навіть короточасний сигнал про відсутність посудини призводить до негайної зупинки помпи.

Після завершення наливу система переходить у режим очікування нового циклу. Користувач може повторно змінити об'єм за допомогою кнопок «+» та «-» або знову натиснути START після встановлення посудини. Усі датчики, реле та дисплей продовжують працювати у фоновому режимі, а мікроконтролер перебуває у стані постійного моніторингу, готовий негайно реагувати на нові команди. Завдяки чітко вибудованому алгоритму система працює безперервно, стабільно та безпечно, забезпечуючи точний автоматичний налив із контролем об'єму, стану посудини та електричної надійності насосів.

## 2.4 Розробка користувацького інтерфейсу

Користувацький інтерфейс системи побудований на чотирирозрядному семисегментному індикаторі TM1637, який у реальному часі інформує користувача про всі режими роботи дозатора, процеси наливу, налаштування та можливі помилки. Завдяки чіткому стилю відображення та розподілу цифр на чотири незалежні розряди, індикатор дозволяє організувати інтуїтивно зрозумілу навігацію між режимами. Нижче наведено детальний опис усіх станів індикатора з прив'язкою до зазначених зображень.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Під час налаштування об'єму для першого насоса на індикаторі з'являється екран, поданий на (Рис. 1 — верхня ліва картинка). На першому розряді загоряється цифра 1, яка символізує «Перший режим (Насос 1)», а наступні три розряди показують значення встановлених мілілітрів. Значення змінюється кнопками «+» і «-», при цьому кожне натискання відповідає кроку  $\pm 25$  мл, що дає можливість зручно та швидко встановити будь-який об'єм у межах діапазону 25–500 мл. Отже, наприклад, позначення 1.0.0.0 може відповідати 100 мл, 1.2.5.0 – 250 мл, 1.5.0.0 – 500 мл.

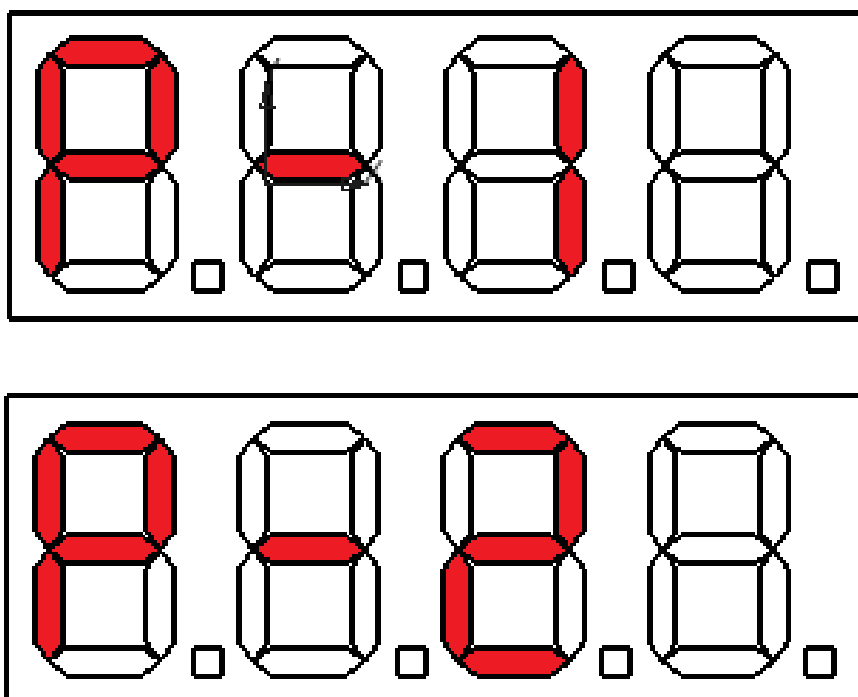


Рисунок 2.4 – Зображення виводу режимів насосів.

Коли користувач переходить до налаштування об'єму другого насоса, індикатор переходить до стану (Рис. 2.1). У цьому режимі перший розряд змінюється на цифру 2, яка позначає «Другий режим (Насос 2)», тоді як подальші три цифри так само вказують на кількість мілілітрів, що задаються кнопками. Таким чином інтерфейс дозволяє легко зрозуміти, для якого насоса встановлюється літраж у конкретний момент.

У разі виникнення помилки система відображає спеціальний екран — (Рис. 3 — нижня ліва картинка). Це екран аварійного стану, який активується, якщо протягом певного часу після запуску насоса датчик об'єму не фіксує руху рідини. Зазвичай це означає, що вода не надходить через порожню каністру, пережятий шланг, засмічення або несправність насоса. Екран помилки відображає характерну комбінацію з червоних сегментів, яка візуально помітно відрізняється від усіх інших режимів. Побачивши її, користувач одразу розуміє, що налив не відбувся і потрібне втручання.

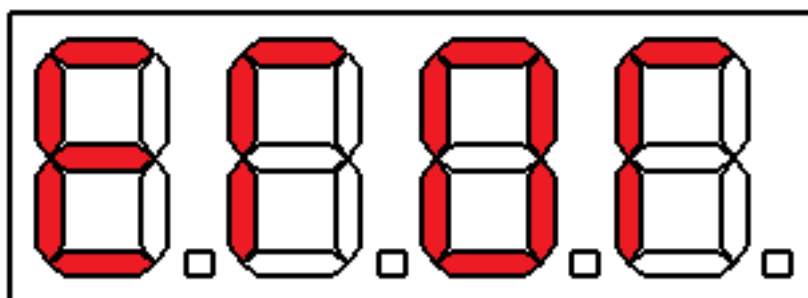


Рисунок 2.5 – Зображення екрану помилки

Коли процес наливу першого насоса розпочато, індикатор переходить до режиму реального часу — (Рис. 2.5). Перший розряд відображає «I» (римську одиницю), що показує активний перший режим. Наступні цифри показують фактично вже налитий об'єм у мілілітрах, який безперервно зростає відповідно до імпульсів датчика потоку. Користувач бачить, як у процесі наливу значення збільшується від 0 до встановленого об'єму (наприклад, 250 мл). Це забезпечує повну прозорість і дозволяє контролювати хід розливу в реальному часі.

Для другого режиму використовується аналогічний принцип, але з римською позначкою «II», що зображено на (Рис. 2.6 ). Дисплей у такому разі показує, як другий насос поступово набирає заданий об'єм води. Збільшення чисел відбувається в реальному часі, і це дозволяє користувачу стежити за роботою другого насоса з такою ж точністю, як і першого.

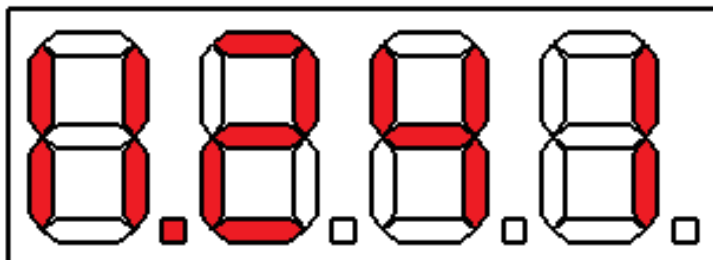
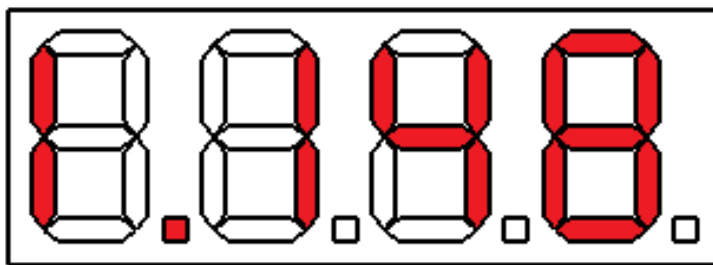


Рисунок 2.6 – Зображення екрану розливу в реальному часі

Коли налив завершено та насос досяг встановленого літражу, інтерфейс переходить у завершальний стан, що відображено на (2.7). Дисплей показує 0000, що однозначно сигналізує про закінчення процесу та успішне завершення циклу наливу. Це універсальний завершальний екран, який однаково працює для обох насосів і не потребує додаткового пояснення користувачеві.

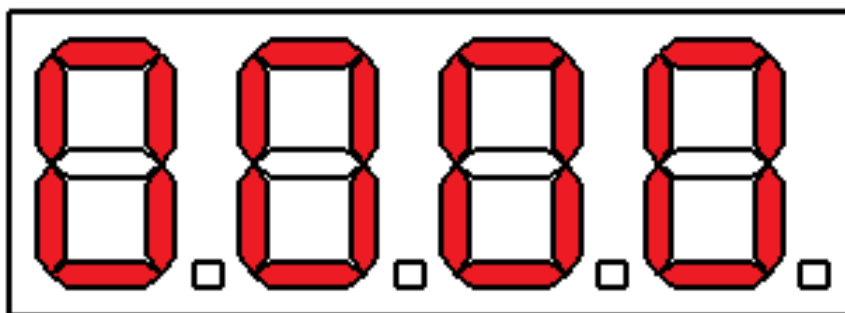


Рисунок 2.7 – Екран завершення розлиття.

Для зручності налаштування літражу система також підтримує режим вибору об'єму, показаний на двох правих зображеннях: (Рис 2.8). Це приклади того, як індикатор може відобразити значення об'єму у форматі 25–500 мл з кроком 25 мл. Користувачеві не потрібно вводити цифри вручну — значення збільшується або зменшується натисканням кнопок, що гарантує швидке й точне

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



функцію руху вперед — вона забезпечує інтуїтивне та логічне збільшення значень у будь-якому параметричному полі. Система так побудована, що відгук на натискання майже миттєвий, а тому зміна цифр на індикаторі дозволяє точно зрозуміти, яке значення встановлено на даний момент.

Кнопка «←» виконує аналогічну, але протилежну функцію — вона відповідає за зменшення встановленого об'єму в межах дозволеного діапазону. Як і кнопка збільшення, вона працює кроками по 25 мл, що робить процес налаштування симетричним і передбачуваним. Завдяки цьому користувач може легко повернутися назад до попередніх значень або встановити мінімальний об'єм, якщо це необхідно для конкретного сценарію використання. Але важливо, що кнопка «←» бере участь також у системній логіці зміни режимів: коли користувач одночасно натискає «+» та «←», інтерфейс переходить до іншого режиму — наприклад, з режиму налаштування Насоса 1 до режиму налаштування Насоса 2, або ж з режиму встановлення об'єму до режиму тестування. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість фізичних кнопок, але водночас зберегти високу функціональність.

Кнопка «START» є центральним елементом управління всією системою, оскільки вона ініціює процес наливу після встановлення всіх параметрів. У момент натискання на кнопку «START» контролер виконує ряд перевірок, включно з вимірюванням наявності посудини через ультразвуковий датчик, перевіркою датчика потоку на готовність та підтвердженням, що об'єм було встановлено коректно. Якщо всі умови виконано, система активує відповідне реле, запускає насос і переходить у режим реального часу, де індикатор починає показувати наростання налитого об'єму. Якщо ж натискання старту відбулося за умов відсутності тари або несправності датчика, кнопка викликає аварійний сценарій і замість запуску на дисплей виводиться спеціальний екран помилки. Таким чином «START» відповідає не просто за початок роботи, а й за безпечну взаємодію користувача з системою, виступаючи своєрідним «контрольним пунктом» перед активацією насоса.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2.5 Розробка друкованої плати

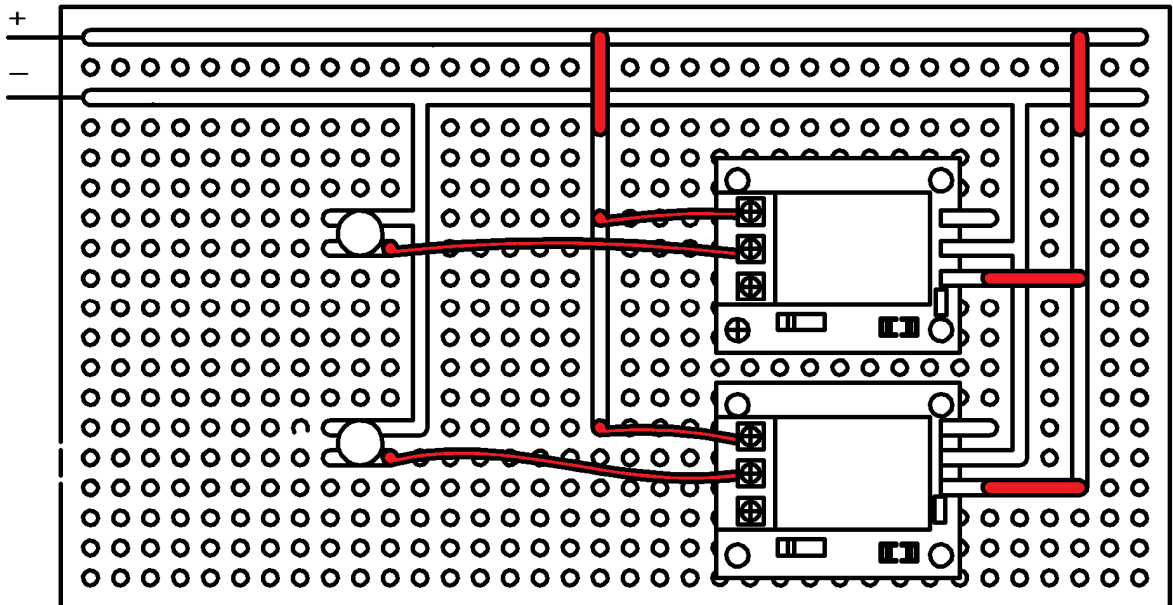


Рисунок 2.9 – Макетна плата силових шин.

У системі автоматичного розливу рідини надзвичайно важливо забезпечити правильну організацію електричних з'єднань між силовими, керуючими та сигнальними елементами. З огляду на те, що в конструкції одночасно присутні малострумові цифрові модулі (мікроконтролер Arduino, датчики потоків, індикатор ТМ1637) та електромеханічні виконавчі пристрої (занурювальні насоси з пусковими струмами до 1 А), було прийнято рішення розробити спеціальну макетну плату, яка виконує функції силового розподільника, монтажної бази для реле й фільтруючого вузла для компенсування пускових імпульсів двигунів.

На відміну від традиційних макетних плат, що застосовуються переважно для монтажу логічних схем, у даному проекті макетка виконує перш за все роль силової платформи, здатної витримувати постійний робочий струм та короточасні пікові навантаження. На її поверхні реалізовані дві масивні паралельні шини — позитивна (+5 В) та загальна (GND), які проходять майже на всю довжину плати. На ці шини подається живлення від стабілізованого блока S-15-5, що забезпечує струм 3 А, достатній для одночасної роботи двох насосів та

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

периферії. Головне завдання шин — рівномірно розподілити живлення між усіма елементами й запобігти падінню напруги під час пуску двигунів.

У безпосередній близькості до силових шин встановлені електролітичні конденсатори великої ємності (типово 470–1000 мкФ), припаяні паралельно живленню. Їхнє призначення полягає у згладженні імпульсних кидків струму, які виникають у момент запуску насосів. Пусковий струм таких двигунів може в декілька разів перевищувати їхній номінальний споживаний струм (0,08 А), тому конденсатори виконують роль буфера, віддаючи енергію в піковий момент і тим самим запобігаючи просіданню напруги на Arduino, що могло б спричинити його перезавантаження або збої у роботі датчиків. Таким чином, силова частина системи фізично та електрично стабілізована на самій макетній платі, без необхідності додаткових зовнішніх модулів.

Особливістю конструкції є те, що релеїні модулі припаяні безпосередньо до макетної плати, а не підключені навісними проводами. Такий спосіб монтажу значно підвищує надійність комутації, зменшує кількість контактів та мінімізує електричний опір у ланцюзі. Кожне реле має власні припаяні доріжки для підключення силових проводів до насосів, що гарантує послідовність і правильність роботи системи, а також дозволяє швидко проводити діагностику. Пайка забезпечує механічну стійкість реле до вібрацій і виключає ймовірність випадкового роз'єднання у процесі експлуатації.

Логічні сигнали керування від Arduino підводяться до реле тонкими дротами, проте при цьому суворо дотримано розділення між логічними та силовими ланцюгами. Силові траси виконані товстішим дротом, відповідним за перетином для струмів до 1 А, тоді як сигнальні дроти працюють лише з малими струмами у межах кількох міліампер. Така топологія забезпечує мінімальний рівень наведень і перешкод на входах мікроконтролера, що є критично важливим у системах, де одночасно працюють двигуни з імпульсними навантаженнями.

Макетна плата також служить точкою підключення сенсорів — датчики літражу (YF-S201) підводяться до окремих контактів на платі, що дозволяє

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

роз'ємно підключати їх та при необхідності проводити заміну або тестування. Таким чином, плата виконує функцію комунікаційного центру, де сходяться всі основні лінії системи — живлення, керування та сенсорика.

У порівнянні з професійними друкованими платами, наведеними у дипломних проєктах, така макетна плата виконує ті ж самі базові функції: розподіл живлення, забезпечення надійних контактів та структуризація елементів системи. Хоча у промисловому виконанні використовуються багатoshарові РСВ зі складними топологіями, наша макетка повністю відповідає вимогам до домашньої та напівпромислової автоматизованої системи, забезпечуючи простоту модернізації, ремонтпридатність і високу стабільність роботи.

Завдяки використанню макетної плати з силовими шинами, припаяними реле та вбудованими фільтруючими конденсаторами система авторозливу стала надійною та нечутливою до пускових імпульсів насосів, а структура монтажу — чіткою, логічною та зручною для повторення й подальшого розвитку.

## 2.6 Розробка корпусу для системи

Конструкція корпусу автоматичної системи авторозливу була розроблена таким чином, щоб забезпечити надійність роботи електронних компонентів, захист від вологи, просте технічне обслуговування та безпечний контакт користувача із пристроєм. У фінальній версії корпус виконано у вигляді двосекційної конструкції, де внутрішній простір поділений на окрему електронну секцію та гідравлічну секцію, що відповідає сучасним нормам електробезпеки й значно підвищує експлуатаційну надійність системи.

На лицьовій панелі корпусу було розміщено всі елементи взаємодії з користувачем: чотирирозрядний дисплей TM1637, кнопки «+», «-» та «START», а також фронтальний отвір для ультразвукового сенсора HC-SR04. Це дає змогу користувачу легко контролювати режими роботи, задавати об'єм наливу, спостерігати процес у реальному часі, а також отримувати системні

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

попередження або коди помилок. Спеціально сформована зона під стакан забезпечує правильне позиціонування тари щодо датчика наявності, що унеможливорює випадкове розливання.

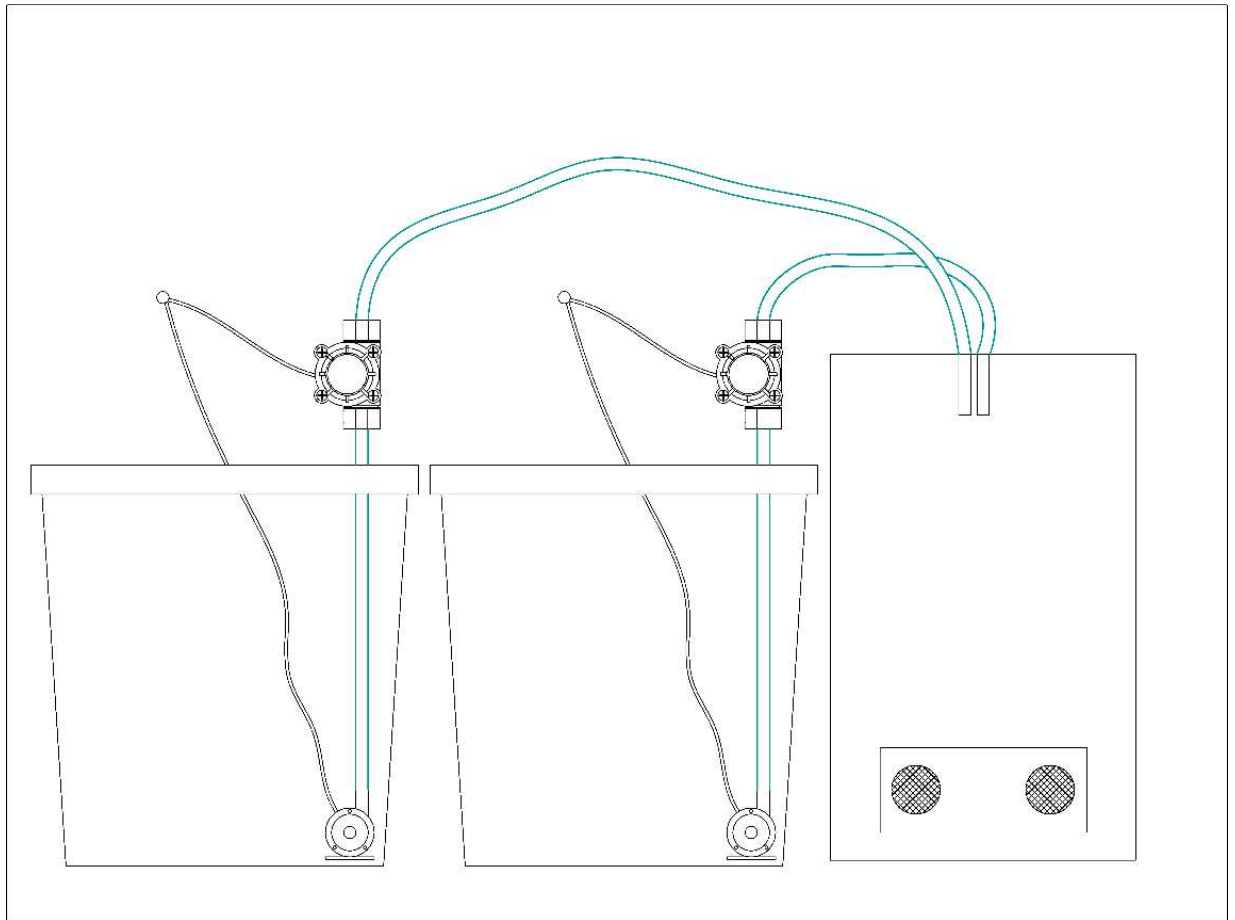


Рисунок 2.10 – Зображення першої секції в розрізі.

Перша секція корпусу — гідравлічна, містить обидва насоси 5 В, датчики потоку, магістральні трубки та розведення до резервуарів. Насоси розміщено нижче центру, на гумових демпферах, які зменшують вібрації та шум під час роботи. Кожен насос підключений через свій пусковий конденсатор — це компенсує високий пусковий струм (близько 1 А) та розвантажує електронну частину, запобігаючи перезавантаженню Arduino чи блока живлення. Гідравлічна частина фізично ізолювана перегородкою від електронної секції, що мінімізує ризик потрапляння вологи до елементів управління.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.  
47

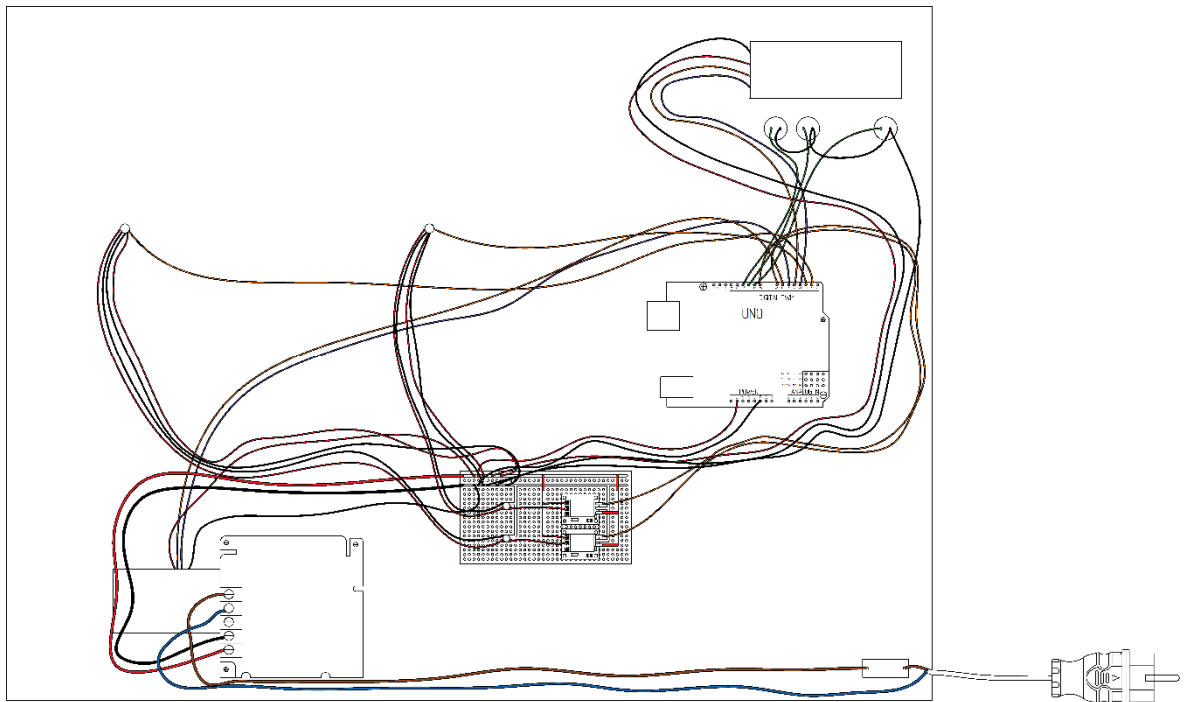


Рисунок 2.11 – Зображення другої секції в розрізі.

Друга секція корпусу — електронна, містить усі керуючі компоненти системи. Завершене креслення показує раціональне та безпечне розміщення плати Arduino Uno, двох релейних модулів, макетної плати з силовими шинами, а також імпульсного блока живлення S-15-5. Блок живлення живиться напругу від мережі 220 В через окремий силовий кабель, що заходить у корпус через спеціальний кабельний ввід із фіксацією та захисним зажимом. Усі вузли змонтовано на пластикових стійках, що забезпечує вентиляцію та виключає контакт плат із металевою поверхнею корпусу.

Провідники секції електроніки організовані за принципом функціонального зонування. Силові шини +5 В та GND, виконані на окремій жорстко припаяній макетній платі, розподіляють живлення до насосів і реле. Під ці силові лінії встановлено відповідні конденсатори, що згладжують імпульсні навантаження та стабілізують напругу живлення. Релейні модулі припаяні безпосередньо до макетної плати з жорсткими з'єднаннями, що усуває ненадійність пружинних контактів стандартних breadboard і гарантує стабільність керування під час високих струмових навантажень.

Логічні дроти — від кнопок, дисплея TM1637, датчиків літражу та ультразвукового сенсора — прокладені у верхній частині секції, максимально віддалено від силових кабелів. Це запобігає наведенням та імпульсним перешкодам, що особливо критично для ліній переривань, використовуваних датчиками потоку.

З метою підвищення електробезпеки в системі застосовано захисний діод серії 1N4007 на вході живлення Arduino Uno. Діод виконує дві функції:

- захист від перенапруги на зворотній полярності при підключенні блока живлення;
- захист Arduino від зворотної подачі струму з силової частини у випадку перехідних процесів чи помилкових з'єднань.

Ця міра додатково підвищує надійність живлення, особливо при роботі з індуктивними елементами, такими як міні-насоси.

Авторська компоновка другої секції корпусу забезпечує логічну організацію всіх елементів: Arduino розташовано в центрі для зручного доступу, релейні модулі — праворуч, а макетну плату з силовими шинами — нижче. Блок живлення розміщений окремо ліворуч, що дає можливість забезпечити фізичне відділення високовольтної зони 220 В від низьковольтних модулів та захищає користувача від випадкового контакту з мережею. Такий підхід відповідає стандартам безпеки та робить пристрій надійним при тривалій експлуатації.

Усі кабелі в електронній секції згруповані та закріплені стяжками, що запобігає їх механічному руху та зношуванню. Доступ до модулів залишається зручним за необхідності ремонту або модернізації системи.

Таким чином, повністю завершене компонування другої секції корпусу дозволило отримати оптимальну архітектуру системи авторозливу: чітке фізичне розділення гідравлічних та електронних елементів, безпечний і надійний ввід мережі 220 В, логічне розташування Arduino та реле, стабільне живлення від блока S-15-5, а також високий рівень обслуговуваності та захисту від зовнішніх чинників.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

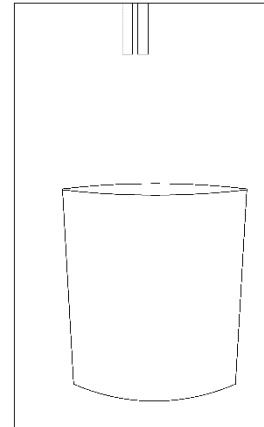
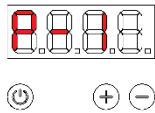


Рисунок 2.12 – Зображення зовнішнього вигляду авторозливу для користувача .

### Висновки до другого розділу

У другому розділі було розроблено повну структурну та принципову схему системи, алгоритм її роботи, користувацький інтерфейс, друковану плату та конструкцію корпусу. Створена структурна схема забезпечує чіткий розподіл функцій між датчиками, виконавчими елементами, мікроконтролером та інтерфейсом користувача. Реалізовано окремі контури: контур вимірювання літражу, контур безпеки (ультразвуковий датчик), контур керування насосами та контур взаємодії з користувачем.

Було розроблено повну принципову схему з урахуванням реальних електричних параметрів компонентів, пускових струмів насосів та логічних рівнів Arduino Uno. Впровадження паралельних згладжувальних конденсаторів для кожного насоса стало ключовим рішенням, що забезпечило стабільну роботу всієї системи та усунуло явище перезавантаження контролера при запуску

двигунів. Додане реле керування, організоване на окремих модулях, забезпечило електричну розв'язку між силовою та логічною частинами.

Розроблений алгоритм роботи системи включає обробку імпульсів від датчиків літражу на апаратних перериваннях, що гарантує високу точність вимірювань. Алгоритм також передбачає автоматичну зупинку насоса за відсутності ємності, що суттєво підвищує рівень безпеки експлуатації. Інтерфейс користувача побудований на трьох кнопках керування (SB1 — «+», SB2 — «-», SB3 — START) та індикаторі TM1637, який відображає вибраний об'єм, стан системи та діагностичні повідомлення.

У конструкції корпусу реалізовано поділ внутрішнього простору на дві зони — електронну та рідинну. Це дозволило ізолювати Arduino, реле, блок живлення та макетну плату від резервуарів, насосів і трубок. Прокладення кабелів виконано з поділом силових і сигнальних ліній, що зменшує перешкоди й підвищує електромагнітну сумісність. Оновлена механічна схема включає кнопку SB0, яка розриває мережеву лінію 220 В і забезпечує повне відключення системи.

Таким чином, другий розділ завершив формування повної технічної та конструктивної моделі пристрою, що забезпечує точність, надійність та безпечну роботу системи авторозливу.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 3 РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

### 3.1 Вибір елементів ситеми авторозливу

Під час розробки автоматизованої системи дозованого наливу рідини було здійснено комплексний вибір апаратних компонентів, виходячи з вимог до точності вимірювань, стабільності роботи, безпеки, сумісності між модулями та простоти інтеграції у прототип керованої рідинної системи. Основним критерієм відбору було забезпечення надійного, повторюваного та контрольованого процесу розливу, де кожен елемент виконує свою функцію у загальній архітектурі. У центрі системи як універсальний керуючий пристрій обрано мікроконтролер Arduino Uno, адже він забезпечує достатню кількість цифрових входів і виходів для підключення реле, датчиків потоку, ультразвукового датчика та модулів індикації, а також має апаратні переривання, що дозволяє з високою точністю обробляти імпульси від датчика літражу навіть під час виконання інших частин програми. Arduino має низьке енергоспоживання, працює від 5 В, підтримується великим набором бібліотек, що значно спрощує розробку та адаптацію системи дозування до реальних умов експлуатації.

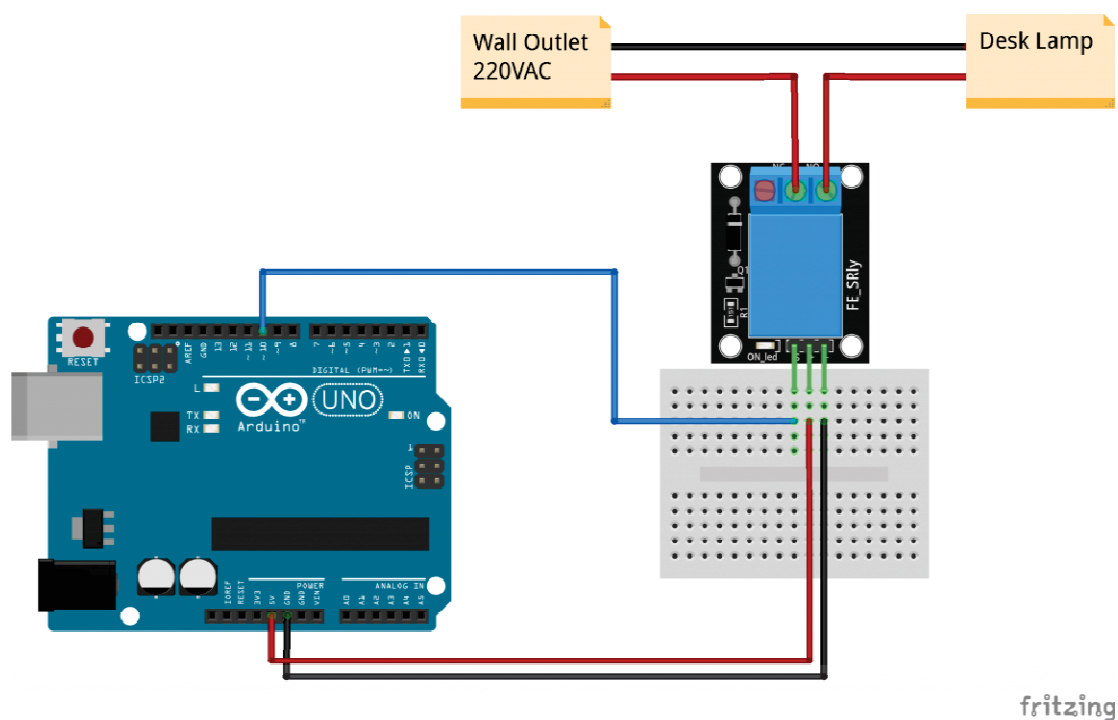


Рисунок 3.1 – Схема підключення реле до arduino.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.  
52

Для комутації насосів обрано два релейні модулі на 5 В, які ізолюють низьковольтну логічну частину від силової. Їх використання є важливим з позиції електробезпеки, оскільки насоси мають значний пусковий струм, а під час старту створюють перешкоди та напругові провали, що здатні викликати перезавантаження Arduino або хибні спрацьовування датчиків. Реле дозволяють Arduino працювати тільки із слабкострумовою частиною, передаючи силові навантаження на механічні контакти релейного модуля. Для забезпечення плавного запуску насосів додатково встановлені пускові конденсатори, які згладжують імпульсні навантаження та зменшують ривок у момент старту двигуна. Цей вибір обґрунтований практичними випробуваннями: без конденсаторів насоси, підключені через реле, могли викликати зависання системи або просідання напруги на шині 5 В.

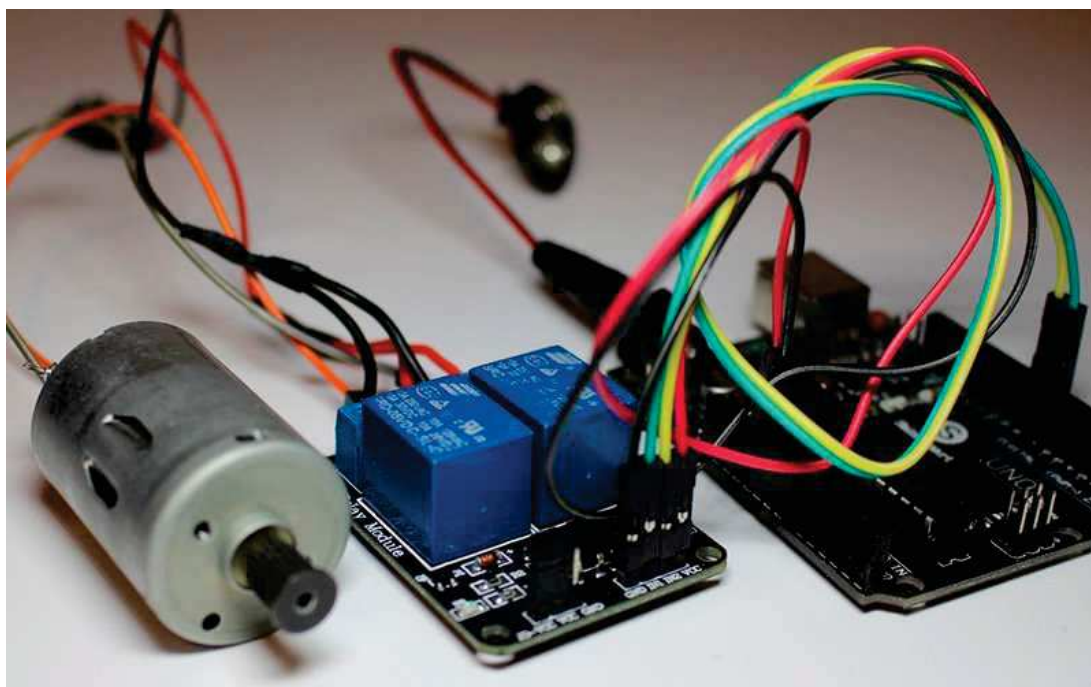


Рисунок 3.2 – Підключення мотору через реле до arduino

У якості виконавчих механізмів використані занурювальні насоси постійної напруги 5 В, що робить систему безпечнішою та зменшує ризик ураження електричним струмом у порівнянні з варіантами на 12–24 В. Вибір таких насосів також дає можливість працювати безпосередньо від стабілізованого джерела

живлення Arduino та використовувати невеликі комутаційні реле. Крім того, насоси з низькою напругою простіше інтегрувати в систему наливу напоїв, кулінарних рідин або побутових розчинів, де важлива максимальна безпека обслуговування.

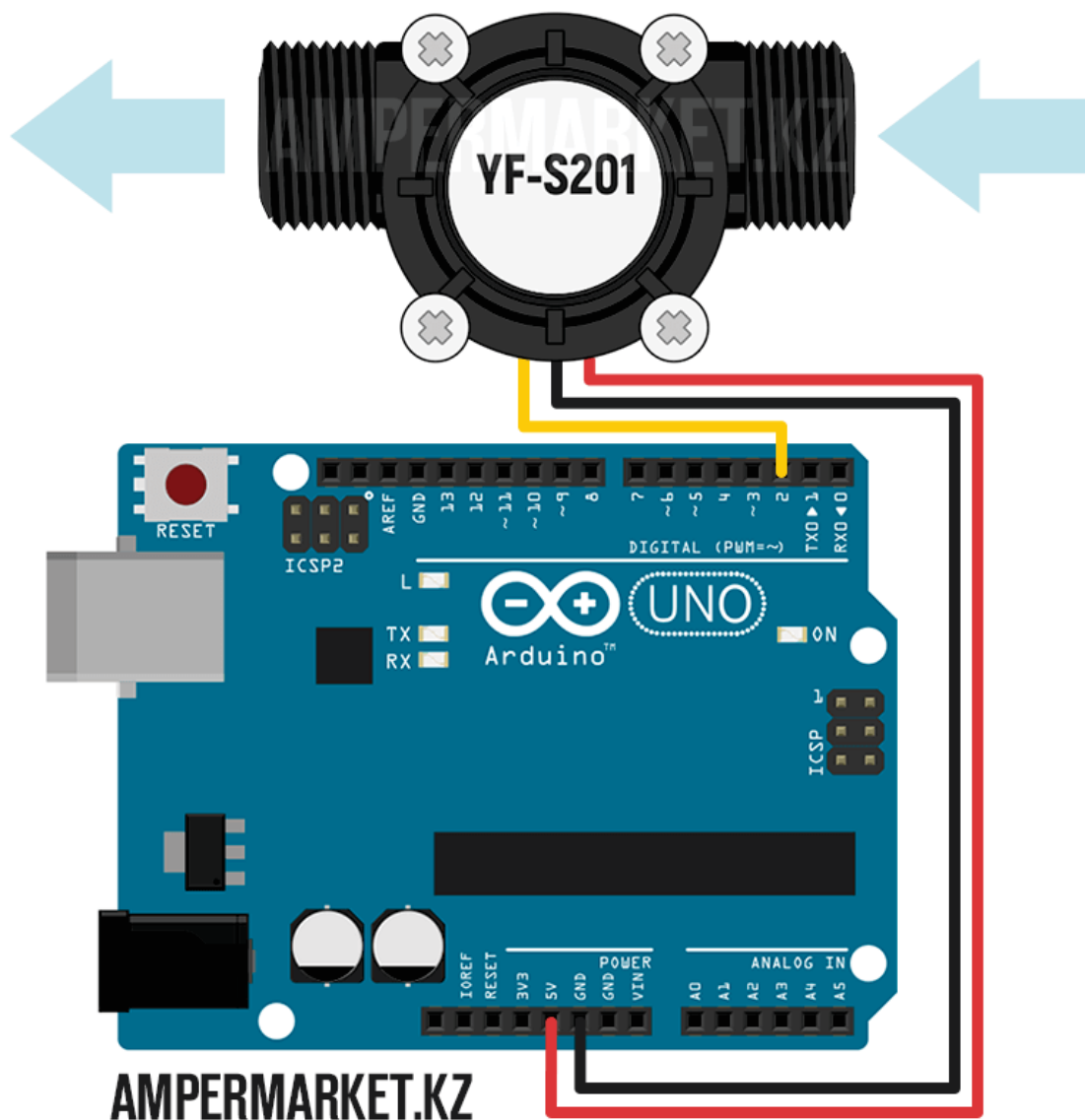


Рисунок 3.3 – Схема підключення датчика літражу.

Ключовим елементом контролю об'єму рідини стали датчики потоку YF-S201, які формують точні імпульси пропорційно витраті рідини. У середині кожного датчика є крильчатка та датчик Холла, який генерує електричний імпульс на кожен оберт. Таке рішення обрано завдяки високій точності, мінімальному гідравлічному опору та можливості підключення без проміжних

підсилювачів сигналу — датчик безпосередньо видає цифрові фронти, що реєструються Arduino на апаратних входах переривань. Саме це дозволяє системі вести точний підрахунок мілілітрів у реальному часі. Попередні експериментальні заміри показали, що приблизно 63 імпульси відповідають 100 мл, проте система передбачає індивідуальну калібровку, оскільки різні рідини мають різну в'язкість, густину та швидкість протікання.

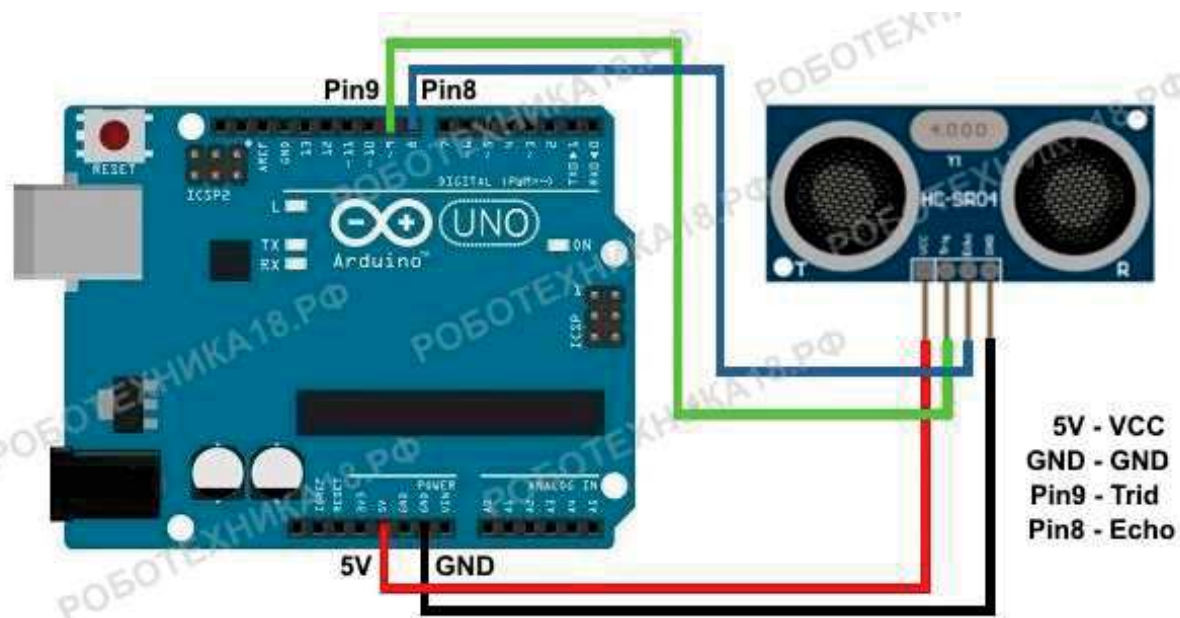


Рисунок 3.4 – Схема підключення ультразвукового датчика.

Для запобігання розливу рідини повз тару інтегровано ультразвуковий датчик HC-SR04, який визначає наявність ємності перед початком роботи. Вибір цього датчика обумовлений високою точністю вимірювання відстані у діапазоні 2–400 см та повною електричною ізоляцією від рідини, адже він працює виключно на звукових хвилях. Arduino надсилає тригерний імпульс, а модуль повертає тривалість відбитого сигналу, на основі чого обчислюється відстань до предмета. Якщо тара відсутня або знаходиться поза дозволеною зоною, система не дозволяє запуск насоса й виводить відповідне повідомлення помилки.



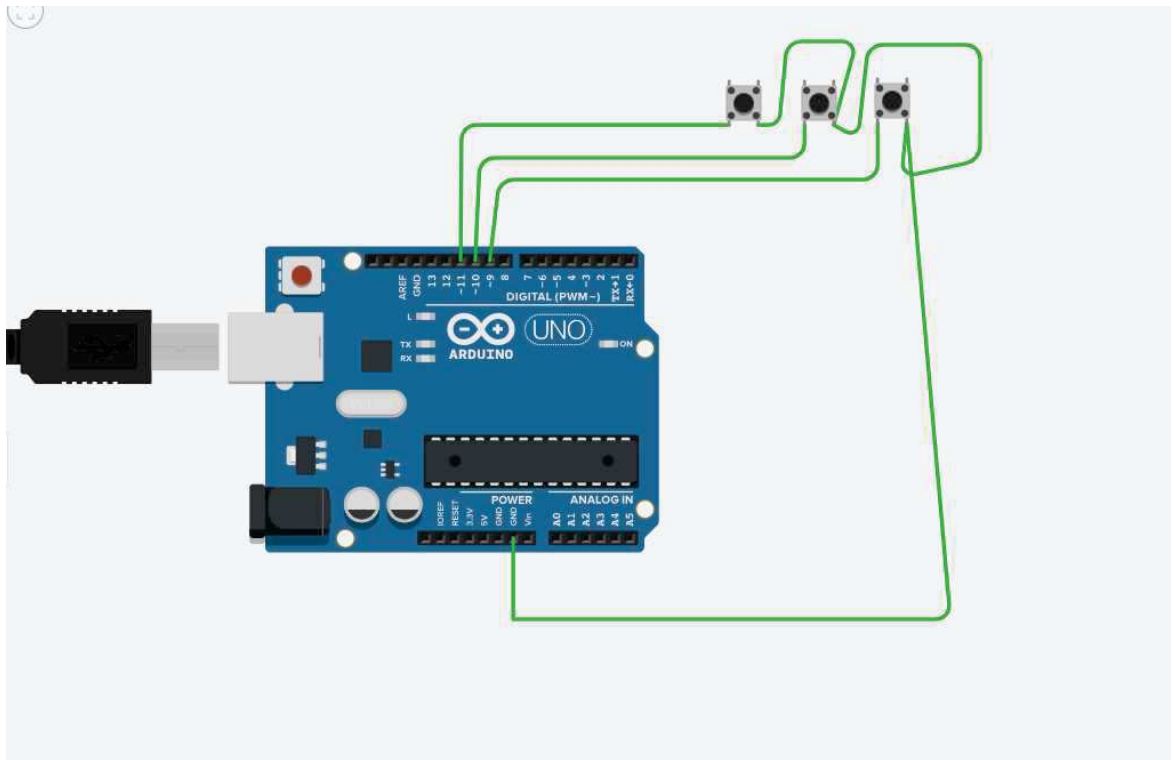


Рисунок 3.6 – Схема підключення кнопок до arduino

Для взаємодії користувача із системою використано три кнопки: “+”, “-” та “START”. Кнопки підключені через внутрішні підтягувальні резистори Arduino (INPUT\_PULLUP), що дозволяє мінімізувати шум і уникати блимання контактів. Кнопка “+” збільшує значення дозування на фіксовану величину 25 мл, кнопка “-” відповідно зменшує, а кнопка START ініціює процес наливу за умови наявності тари. Додатково реалізовано комбінацію одночасного натискання “+” та “-” для перемикання режимів між насосом №1 та насосом №2. Це дає змогу керувати двома незалежними каналами наливу в межах єдиного інтерфейсу.

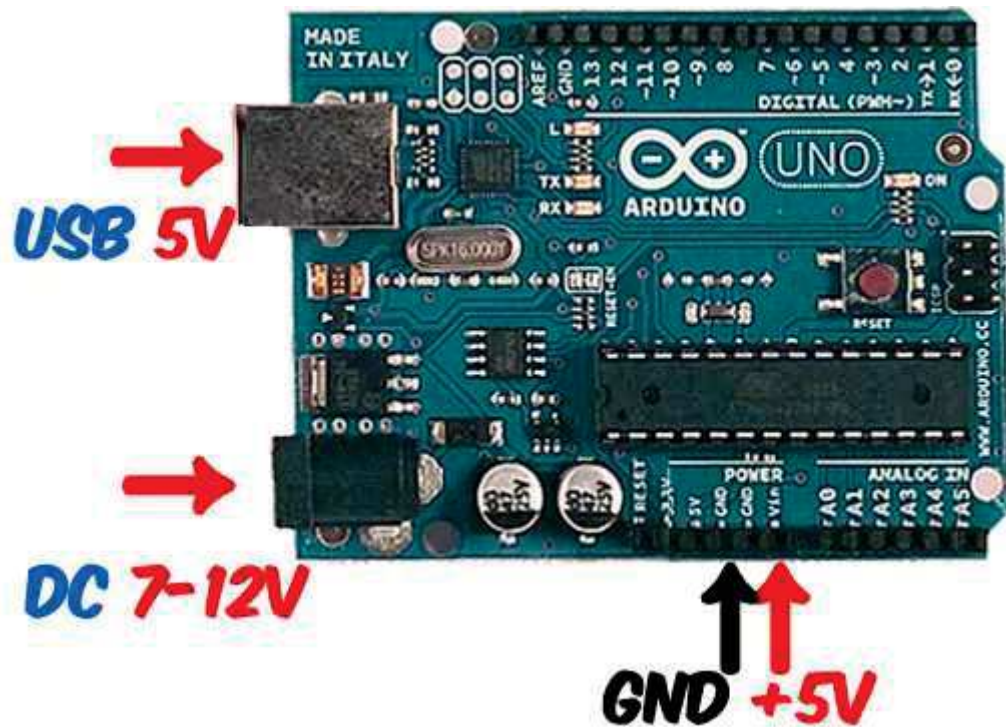


Рисунок 3.7 – Схема підключення живлення контролера

Живлення всієї системи здійснюється від стабілізованого блоку 5 В з достатнім запасом потужності для одночасної роботи двох насосів, реле та логічної частини. Електрично система побудована за принципом єдиної шини живлення, де Arduino отримує живлення паралельно з іншими компонентами, проте через додаткові фільтруючі конденсатори, що забезпечують стабільність напруги та розв'язку пускових ривків насосів. Це дозволяє уникнути перезавантажень мікроконтролера при різких змінах струмових навантажень.

Таким чином, кожен елемент системи був обраний з урахуванням його функціонального призначення, технічних характеристик та сумісності з іншими елементами, що забезпечує надійну, безпечну та точну роботу автоматизованої системи авторозливу. Система може бути легко масштабована, доповнена або модифікована відповідно до потреб користувача, оскільки архітектура базується на стандартних модулях і відкритих протоколах. Обґрунтований вибір компонентів забезпечує точність дозування, стабільність роботи, захист від помилок та комфортне користування пристроєм у реальних умовах експлуатації.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

### 3.2 Розрахунок струмів живлення та вибір блоку живлення

У системах автоматичного розливу рідини питання організації живлення відіграє ключову роль, оскільки саме стабільність електроживлення визначає коректну роботу мікроконтролера Arduino Uno, релейних модулів, дисплея, датчиків та виконавчих механізмів. У межах однієї системи одночасно працюють компоненти з різною природою навантаження: електронні логічні модулі, що потребують чистих і стабільних 5 В, та електромеханічні насосні агрегати, які під час пуску формують суттєві струмові кидки. Тому перед вибором оптимальної схеми живлення необхідно виконати розрахунок струмів усіх споживачів системи та оцінити їх поведінку як у робочому, так і в піковому режимах.

На підставі технічних даних застосованих насосів їхній робочий струм становить приблизно

$$I_{\text{нас, роб}}=0,08 \text{ А}$$

Оскільки система містить два насоси, сталий робочий струм насосної частини дорівнює

$$I_{\text{нас, роб, сум}}=2 \cdot 0,08=0,16 \text{ А.} \quad (3.1)$$

Логічна частина — Arduino Uno, два релейні модулі, дисплей TM1637, ультразвуковий датчик HC-SR04, два датчики літражу та кнопки — споживає у середньому

$$I_{\text{логіка}} \approx 0,15 \text{ А}$$

Отже, загальний робочий струм системи у нормальному режимі становить

$$I_{\text{роб}}=I_{\text{нас, роб, сум}}+I_{\text{логіка}}=0,16+0,15 \approx 0,31 \text{ А.} \quad (3.2)$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Найбільш критичим є момент запуску насосів. За результатами експериментів стартовий струм одного насоса може сягати

$$I_{\text{нас, пуск}} \approx 1,0 \text{ А.}$$

У випадку одночасного запуску двох насосів матимемо пікове споживання насосної частини

$$I_{\text{нас, пуск, сум}} = 2 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ А.} \quad (3.3)$$

Додаючи навантаження логічної частини, отримаємо максимально можливий пусковий струм системи:

$$I_{\text{пik}} = I_{\text{нас, пуск, сум}} + I_{\text{логіка}} = 2,0 + 0,15 = 2,15 \text{ А.} \quad (3.4)$$

Під час вибору блока живлення необхідно враховувати коефіцієнт запасу  $k$ , який компенсує старіння елементів, втрати на дротах, можливі коливання напруги та непередбачувані пікові навантаження. Для побутових і напівпромислових систем доцільним є запас

$$k = 1,3 \dots 1,5. k = 1$$

Тоді мінімально допустиме значення струму блока живлення становить

$$I_{\text{БЖ}} \geq k \cdot I_{\text{пik}}$$

а для  $k = 1,5$

$$I_{\text{БЖ}} \geq 1,5 \cdot 2,15 \approx 3,2 \text{ А.} \quad (3.5)$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

На основі цього розрахунку до функціонально придатних належать блоки живлення 5 В з номінальним струмом 3–4 А. Такий блок забезпечує стабільну роботу системи навіть у найгірших режимах, унеможливорює критичні просідання напруги під час старту насосів і дозволяє зберегти коректність роботи цифрових модулів.

З огляду на отримані значення можна розглянути три можливі варіанти реалізації живлення системи. Найпростіший — це живлення Arduino, датчиків і насосів від одного блока живлення. Цей варіант характеризується мінімальною кількістю елементів, але страждає від імпульсних кидків, які створюють насоси при пуску, що може призводити до перезавантаження Arduino та помилкових спрацьовувань реле. Для часткової компенсації таких явищ застосовуються захисні діоди, LC-фільтри та електролітичні конденсатори великої ємності.

Другий варіант — повне розділення логічного й силового живлення на два незалежні блоки. У цьому випадку Arduino та датчики живляться від окремого стабілізованого джерела 5 В, а насоси — від другого блока з високим струмовим резервом. Таке рішення практично повністю усуває перешкоди, але збільшує кількість компонентів та ускладнює схему.

Третій варіант — використання одного потужного блока живлення з внутрішнім поділом на силову та логічну гілки через фільтри й стабілізатори. У цій конфігурації до шини живлення Arduino додається послідовний діод Шотткі (наприклад, 1N5819), який захищає мікроконтролер від зворотної полярності, зворотних струмів та короткочасних імпульсних перенапруг. Паралельно до входу Arduino встановлюється електролітичний конденсатор 1000–2200 мкФ, що згладжує просідання напруги під час запуску насосів. Такий підхід зберігає простоту схеми, але водночас забезпечує достатній захист і стабільність роботи цифрової частини.

Враховуючи проведені розрахунки, а також прагнення до компактності конструкції та мінімізації кількості зовнішніх компонентів, у проєкті було обрано третій варіант — використання одного потужного блока живлення 5 В із

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

струмом не менше 3 А, доповненого захисним діодом та набором фільтрувальних конденсаторів. Така конфігурація забезпечує оптимальний баланс між простотою, надійністю та електромагнітною стійкістю системи, гарантуючи її тривалу безперебійну роботу.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд блоку живлення S-15-5

З урахуванням виконаного розрахунку струмів системи та практичних випробувань у макетному режимі в якості реального джерела живлення було обрано імпульсний блок типу S-15-5. Даний виріб забезпечує стабілізовану напругу 5В при номінальному струмі 3А, що відповідає розрахунковим вимогам до системи. Теоретичний піковий струм  $I_{\text{пik}} \approx 2,15\text{A}$ , визначений із урахуванням пускових струмів двох насосів та споживання логічної частини, не перевищує можливостей блока S-15-5, а наявний запас за струмом становить близько 30 %. Додатково до виходу блока живлення підключено електролітичний конденсатор великої ємності та послідовний діод Шоттки, що дозволяє ефективно

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

згладжувати короточасні кидки навантаження і зменшувати амплітуду імпульсних перешкод. Металевий перфорований корпус блока S-15-5 забезпечує належне охолодження силових елементів і полегшує монтаж усередині корпусу системи. Таким чином, вибір блока живлення S-15-5 (5 В, 3 А) є технічно обґрунтованим і повністю задовольняє вимоги до надійної та довготривалої роботи розробленої системи автоматичного розливу рідини.

### 3.3 Розрахунок датчика літражу

Для вимірювання об'єму перекачаної рідини в розробленій системі авторозливу використовується імпульсний датчик потоку типу YF-S201, який формує серію електричних імпульсів, частота й кількість яких прямо пропорційні витраті рідини, що протікає крізь його проточну частину. Усередині корпусу датчика встановлено крильчатку з постійним магнітом та елемент на основі ефекту Холла. Під час руху рідини крильчатка обертається, магніт періодично наближається до чутливого елемента, і той генерує прямокутні імпульси напруги. Таким чином, перехід від механічного руху до електричного сигналу здійснюється без контактів, що підвищує довговічність сенсора та забезпечує його роботу в широкому діапазоні витрат.

Підрахунок цих імпульсів виконує мікроконтролер Arduino Uno за допомогою апаратних переривань на входах цифрових ліній, до яких підключені датчики. Кожен фронт імпульсу викликає спрацьовування переривання, у межах якого збільшується цілочисельний лічильник. Отже, основним завданням розрахунку є встановлення зв'язку між кількістю імпульсів  $NNN$  та об'ємом рідини  $VVV$ , який пройшов через датчик за певний проміжок часу. Теоретично для таких сенсорів виробник задає паспортну характеристику у вигляді коефіцієнта імпульсів на одиницю об'єму, наприклад  $k_{\text{пас}} \approx 450 \text{ імп./лк}$   $450 \sim \text{імп./л}$   $k_{\text{пас}} \approx 450 \text{ імп./л}$ , що відповідає певному діапазону витрат води. У загальному вигляді залежність можна записати як

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$V = \frac{N}{k} \quad (3.6)$$

де  $k$  — коефіцієнт перетворення «імпульси  $\rightarrow$  літри» для конкретного екземпляра датчика та конкретних гідравлічних умов.

Однак практичні вимірювання показують, що реальне значення коефіцієнта може помітно відрізнятись від паспортного через особливості монтажу, діаметр шлангів, наявність місцевих опорів, в'язкість рідини, температуру та навіть положення сенсора у просторі. У нашій системі попередній експеримент показав, що за час, протягом якого насос перекачує приблизно 100 мл води, реєструється в середньому близько 63 імпульсів. Це відповідає орієнтовному коефіцієнту

$$k_{\text{сеп}} = \frac{63 \text{ імп}}{0.1 \text{ л}} = 630 \text{ імп.л} \quad (3.7)$$

Оскільки результати окремих вимірювань можуть відрізнятись, для отримання робочого калібрувального коефіцієнта необхідно виконати серію дослідів, кожного разу пропускаючи через датчик однаковий, попередньо відміряний об'єм рідини, наприклад 100 мл, 200 мл, 300 мл. Для кожного дослідів фіксується кількість імпульсів  $N_i$ , після чого обчислюється середнє значення коефіцієнта:

$$K = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{N_i}{V_i} \quad (3.8)$$

де  $m$  — кількість експериментів,  $V_i$  — реальний відміряний об'єм у літрах. У разі значного розкиду результатів доцільно відкинути явні викиди та повторити вимірювання. Саме це середнє значення згодом використовується у програмному забезпеченні як робочий коефіцієнт перетворення.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Після визначення коефіцієнта  $k$  програмна реалізація стає простою: у процесі наливу мікроконтролер наращує лічильник імпульсів  $N$ , а поточний об'єм визначається за формулою

$$V_{\text{мл}} = \frac{1000}{k} \cdot N \quad (3.9)$$

де  $V_{\text{мл}}$  - об'єм у мілілітрах, а множник 1000 враховує перехід від літрів до мілілітрів. Наприклад, для  $k=630$  імп./л кожен імпульс відповідає приблизно 1,59 мл а програмний код може використовувати масштабувальний коефіцієнт  $c=1000/k$ . Для відображення на дисплеї ТМ1637 цей об'єм округлюється до цілого значення, що є достатнім для побутової системи авторозливу.

Окрему увагу під час розрахунку слід приділити контролю коректності вимірювання. Оскільки датчик потоку реагує на реальний рух рідини, у програмі реалізується захист від ситуацій, коли насос увімкнений, але вода не надходить (засмоктало повітря, перекритий шланг тощо). Для цього вводиться таймер очікування: якщо після запуску насоса протягом, наприклад, 5–10 секунд кількість імпульсів не збільшується, система вважає, що розлив не розпочався, зупиняє насос і виводить на індикатор повідомлення про помилку. Такий підхід не тільки підвищує безпеку, а й запобігає неправильному обліку об'єму.

Похибка вимірювання об'єму визначається сукупністю факторів: дискретністю вимірювання (кожен імпульс відповідає певній порції рідини), повторюваністю гідравлічних умов, стабільністю роботи насоса та точністю калібрування. За правильно обраного коефіцієнта  $k$  та дотримання умов експлуатації реальна відносна похибка може бути зменшена до декількох відсотків, що повністю задовольняє вимоги до побутової системи дозованого наливу. Таким чином, ретельний розрахунок та експериментальне уточнення коефіцієнта перетворення імпульсів у літри є ключовою складовою забезпечення точності роботи всього комплексу автоматичного авторозливу.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3.4 Розрахунок конденсатора для підключення насоса

Як показали експериментальні випробування системи авторозливу, при безпосередньому підключенні занурювального насоса до спільного з Arduino джерела живлення під час пуску виникає різкий стрибок струму, що призводить до просідання напруги на шині 5 В та періодичного перезавантаження мікроконтролера. Робочий струм насоса становить приблизно  $I_{роб}=0,08$ , але пусковий струм сягає близько  $I_{пуск}\approx 1$ . Отже, у момент запуску насос на дуже короткий час споживає струм, який більш ніж у десять разів перевищує номінальне навантаження всієї логічної частини. Щоб зменшити вплив цього стрибка на живлення Arduino, паралельно шині 5 В встановлюється електролітичний конденсатор, який виконує функцію своєрідного «резервуара енергії» і здатен короткочасно віддавати додатковий струм, згладжуючи провал напруги.

Розрахунок необхідної ємності такого конденсатора можна виконати, виходячи з рівня допустимого просідання напруги  $\Delta U$  під час пуску та оціненого часу тривалості пускового режиму  $\Delta t$ . При цьому використовується базова залежність для розряду конденсатора при струмі  $I$ :

$$\Delta U = \frac{I \cdot \Delta t}{C} \quad (3.10)$$

звідки ємність

$$C = \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta U} \quad (3.11)$$

У нашому випадку повний пусковий струм насоса становить приблизно  $1 \text{ A} \sim 1 \text{ A}$ , але значну його частину бере на себе сам блок живлення. Конденсатору необхідно компенсувати лише ту складову струму, яка викликає

небажане просідання напруги на шині логіки. Практично для імпульсних джерел потужністю 2–3 А можна вважати, що додатковий струм, який має «підхопити» конденсатор, становить близько 0,3...0,5 А. Час, протягом якого спостерігається максимальний пусковий стрибок, невеликий і зазвичай лежить у межах 10...20 мс, після чого струм поступово зменшується до робочого значення. Для безпечної роботи мікроконтролера припустиме тимчасове просідання напруги на шині 5 В не більше ніж на  $\Delta U=0,3...0,5$  В. Підставляючи у формулу середні значення  $I_{\text{дод}}=0,4$   $\Delta t=0,02$  с,  $\Delta U=0,5$  В, отримаємо орієнтовну ємність

$$C = \frac{0,4 \cdot 0,02}{0,5} = 0,016 \text{ Ф} \approx 16000 \text{ мкФ} \quad (3.12)$$

Таке теоретичне значення є досить великим і характерним для ситуації, коли вся додаткова пускова потужність повністю перекладається на конденсатор. На практиці ж паралельно працюють і блок живлення, і внутрішні фільтруючі ємності на платі, тому необхідний додатковий конденсатор може мати істотно меншу ємність. Емпіричні дані для малопотужних 5-вольтових систем показують, що встановлення електролітичного конденсатора у діапазоні 470...2200 мкФ біля точки підключення Arduino суттєво зменшує глибину та швидкість провалу напруги при пуску навантаження до 0,2–0,3 В, чого достатньо для уникнення перезавантажень мікроконтролера. З огляду на те, що робочий струм насоса становить лише 0,08 А, а реальний пусковий імпульс триває доли секунди, вибір номіналу 1000–2200 мкФ є доцільним компромісом між габаритами, вартістю та ефективністю згладжування.

Додатково до великого електролітичного конденсатора паралельно встановлюють керамічний конденсатор малої ємності (приблизно 0,1 мкФ який добре фільтрує високочастотні складові перешкод від колекторного двигуна насоса. Електроліт працює в низькочастотній області, зменшуючи повільні провали напруги, тоді як кераміка пригнічує різкі фронти і високочастотні

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

завади. Таким чином формується багатоланковий фільтр живлення, в якому джерело 5 В, конденсатори й провідники утворюють енергетичний буфер для всієї схеми.

Важливо також правильне розташування конденсатора на платі: він має бути підключений якнайближче до виводів живлення Arduino, щоб мінімізувати індуктивність та опір доріжок. Шина живлення для насоса повинна підводитись окремим провідником від блока живлення (так званою «зіркою»), тоді як конденсатор встановлюється саме на гілці, що живить логічну частину. У такому випадку навіть при різких змінах струму через насос основні коливання напруги будуть локалізовані на його відгалуженні, а Arduino отримає порівняно стабільні 5 В з додатковим підживленням від конденсатора.

Отже, для занурювального насоса із робочим струмом 0,08 А та пусковим струмом до 1 А доцільно застосувати електролітичний конденсатор ємністю не менше 1000 мкФ, а в разі спільного живлення декількох насосів — збільшити цю ємність до 2200–3300 мкФ, доповнивши її паралельним керамічним конденсатором 0,1 мкФ. Такий вибір забезпечує достатній запас енергії для згладжування пускових навантажень, підвищує стійкість системи до перешкод і гарантує стабільну роботу мікроконтролера без самовільних перезапусків під час роботи насоса.

### Висновки до третього розділу

Третій розділ був присвячений обґрунтованому добору електронних компонентів, розрахунку струмів живлення, вибору оптимального блока живлення, аналізу характеристик датчика літражу та визначенню ємності конденсаторів для компенсації пускових струмів насосів. На основі аналізу характеристик та вимог до системи було обрано Arduino Uno як центральний контролер завдяки його надійності, простому програмуванню, наявності апаратних переривань і широкій підтримці периферії.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Було здійснено повний розрахунок струмів усіх вузлів системи. Враховано робочі та пускові струми двох насосів, споживання реле, дисплея та логічних модулів. Для забезпечення стабільної роботи обрано блок живлення S-15-5, здатний видавати струм 3 А з достатнім запасом для компенсації пікових навантажень. Розрахунок імпульсних датчиків літражу підтвердив вибір датчика YF-S201 як оптимального з точки зору точності та простоти інтеграції. Визначено, що приблизно 63 імпульси відповідають 100 мл рідини, що дозволило створити точну калібрувальну формулу для програми.

У розділі також проведено детальний розрахунок конденсаторів C1 і C2, необхідних для згладжування пускових струмів насосів. Вибір ємності базувався на характеристиках графіка насосів та експериментальних даних. Конденсатори виконують роль локальних буферів енергії та запобігають просадженню напруги, що могло б спричинити перезавантаження мікроконтролера. Таким чином вдалося забезпечити стабільну роботу системи навіть при одночасному включенні насосів.

Підсумовуючи, третій розділ довів, що всі обрані елементи, блок живлення, датчики та додаткові компоненти мають достатній запас надійності, відповідають технічним вимогам проєкту та забезпечують гарантовану стабільність роботи. Розрахунки підтвердили працездатність і безпечність розробленої конструкції, що дозволяє впровадити її у реальних умовах експлуатації.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту було проведено комплексне дослідження, аналіз та розробка автоматизованої системи авторозливу рідин, призначеної для використання у побутових, лабораторних та малих виробничих умовах. На основі огляду сучасних промислових рішень визначено ключові тенденції розвитку систем дозування, серед яких — перехід до високоточної автоматизації, використання мікроконтролерів, застосування сенсорів реального часу та модульних насосних механізмів. Аналіз існуючих технологій дав змогу виокремити їхні переваги та недоліки, що стало підґрунтям для формування технічних вимог до власної системи.

У першому розділі було досліджено класифікацію систем автоматичного розливу, їх конструктивні особливості та принципи роботи. Розглянуто різні методи вимірювання об'єму рідини — дозування за часом, ваговий метод і вимірювання за допомогою імпульсних датчиків потоку. За результатами аналізу встановлено, що для компактної та енергоефективної системи на базі Arduino найбільш доцільним є застосування імпульсного датчика літражу, який забезпечує оптимальне співвідношення точності, швидкодії та вартості. Додатково було вивчено типи насосів, серед яких перистальтичні, мембранні та занурювальні, що дозволило обґрунтовано вибрати модель, яка найкраще відповідає вимогам рівномірності подачі та надійності.

У другому розділі виконано розробку конструкції системи, включно зі структурною схемою, принциповою електричною схемою та алгоритмом роботи. Було спроектовано логіку взаємодії між Arduino, датчиками, кнопковою панеллю, дисплеєм та релейними модулями. Реалізовано систему захисту, що включає перевірку наявності тари, стабілізацію живлення та компенсацію пускових струмів насосів за допомогою паралельних конденсаторів. Розроблено друковану плату та інтерфейс користувача, що забезпечує комфортну взаємодію з пристроєм і зручне налаштування параметрів роботи.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі проведено розрахунки живлення, аналіз споживаних струмів, вибір блоку живлення, розрахунок датчика потоку та оцінку гідравлічних параметрів системи. Визначено оптимальні режими роботи насосів, сформовано критерії безпечного та стабільного керування силовими елементами. Виконані розрахунки підтвердили працездатність обраних компонентів та їх відповідність технічним вимогам.

У результаті виконаної роботи було створено повноцінний проєкт автоматизованої системи авторозливу рідин, що відповідає сучасним вимогам до точності, надійності, безпеки та зручності експлуатації. Система має модульну структуру, може масштабуватися та адаптуватися під різні типи рідин, режими дозування та кількість каналів подачі. Розроблені технічні рішення демонструють можливість практичної реалізації пристрою з використанням доступних електронних компонентів і відкривають перспективи для подальшого вдосконалення — зокрема інтеграції вагових датчиків, сенсорів рівня, бездротового моніторингу або керування через мобільні додатки.

Загалом, дипломний проєкт довів актуальність та ефективність застосування автоматизованих систем авторозливу у сучасних технологічних процесах. Розроблена система є надійним, економічним і функціональним рішенням, яке може бути впроваджене у реальні умови та забезпечити стабільну і контрольовану роботу з різними видами рідин.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Системи промислового розливу Kronos Modulfill [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.krones.com/en/products/filling.php>
2. Асептичні лінії розливу Tetra Pak TBA/TFA [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.tetrapak.com/processing-and-packaging/packaging>
3. Перистальтичні насоси Watson-Marlow Flexicon [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.wmftg.com>
4. Датчик потоку YF-S201. Технічна документація [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.electronicwings.com/sensors-modules/water-flow-sensor-yf-s201>
5. Тензодатчик + модуль HX711. Опис та принцип роботи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://lastminuteengineers.com/hx711-load-cell-arduino-tutorial/>
6. Датчик відстані HC-SR04. Технічні характеристики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://components101.com/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet>
7. Мембранні насоси для систем дозування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.diaphragm-pump.com>
8. Перистальтичні насоси для дозування рідин [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.rs-online.com/web/c/pumps/peristaltic-pumps/>
9. Огляд методів дозування рідин у промисловості [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.processindustryforum.com>
10. Arduino Uno. Офіційна технічна документація [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
11. Модуль реле на 5В для керування навантаженнями [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://components101.com/relay-module>
12. Дисплей TM1637. Опис і підключення [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.makerguides.com/tm1637-arduino-tutorial/>

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

13. Принцип побудови систем автоматичного дозування рідин [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://automationforum.co>
14. Види насосів та їх застосування у технологічних процесах [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.engineeringtoolbox.com/pumps-types-d\\_279.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pumps-types-d_279.html)
15. Сенсори, приводи та модулі для систем автоматизації на Arduino [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://randomnerdtutorials.com>
16. Конструкції поршневих та шестерневих насосів. Промислові огляди [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.hydraulicspneumatics.com>
17. Системи контролю рідини: витратоміри та лічильники [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sensorsportal.com>
18. Занурювальні міні-помпи 5В/12В. Каталог виробників [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.aliexpress.com>
19. Основи мікроконтролерних систем керування. Навчальний посібник / Під ред. І. С. Гайдая. — К.: 2020. — 214 с.
20. Технологічне обладнання харчових виробництв: Дозувальні та розливні машини / Черниш О.В. — Львів: Новий Світ, 2017. — 356 с.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		