

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

в.о. зав. каф. АСНК

_____ Галина БОГДАН

« ____ » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

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

на тему: «Автоматизована система керування процесом заварювання кави холодного типу»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПМ-11

Кучинський Ілля Миколайович _____

Керівник:

Доцент кафедри АСНК, к.т.н., Гришанова Ірина Аркадіївна _____

Рецензент:

асистент каф. КІТВП, Волошко Оксана В'ячеславівна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ПМ11. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	68	
3	A1	ДП ПМ11.01.000	Параметрична схема об'єкта керування Cold Brew System	1	
4	A1	ДП ПМ11.02.000	Структурна схема об'єкта керування Cold Brew System	1	
5	A1	ДП ПМ11.03.000	Блок-схема алгоритму роботи системи приготування cold brew кави	1	
6	A1	ДП ПМ11.04.000	Принципова електрична схема автоматизованої системи приготування cold brew кави	1	
7	A4	ДП ПМ11.05.000	Програма взаємодії з меню керування	6	

				ПМ11.060302.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Кучинський І.М.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Гришанова І.А.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-11	
Н/контр.						
Зав.каф.	Киричук Ю.В.					

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту на тему: «Автоматизована система керування процесом заварювання кави холодного типу»

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет – Приладобудівний

Кафедра – Автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в
приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. зав. каф. АСНК

_____ Галина БОГДАН

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Кучинському Іллі Миколайовичу

1. Тема – «Автоматизована система керування процесом заварювання кави холодного типу»

Керівник проєкту – Гришанова Ірина Аркадіївна, к.т.н., доцент затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р., №1765-с

2. Термін подання студентом проєкту – 13.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту: Орієнтовна температура води: 4–20 °C, об'єм води за один цикл: 500–1000 мл, тривалість процесу заварювання: від 2 до 6 годин (залежно від крапельного потоку), метод заварювання: Slow Drip Cold Brew (Kyoto-style), тип подачі води: електропомпа 12 В, тип керування: Arduino Uno, сенсори: датчик потоку YF-S201 (або аналог), датчик температури (DS18B20 або аналог), датчик рівня води (оптичний або поплавковий), умови експлуатації: кімнатна температура 15–25 °C, матеріали корпусу: харчовий пластик, боросилікатне скло, силікон.

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ, Розділ 1. Теоретичні основи дослідження технології приготування кави холодного типу та аналіз сучасних рішень, 1.1 Актуальність теми, 1.2 Об'єкт і предмет

дослідження, 1.3 Аналіз технології cold brew, 1.4 Фізико-хімічні процеси приготування холодної кави, 1.5 Аналіз аналогів, 1.6 Аналіз сучасного стану проблеми, 1.7 Технічне завдання та вимоги до системи приготування холодної кави, Розділ 2. Обґрунтування технічних рішень та структури системи, 2.1 Структурна та параметрична схеми системи керування заварювання холодної кави, 2.2 Принцип дії автоматизованої системи заварювання холодної кави, Розділ 3. Реалізація автоматизованої системи, 3.1 Блок-схема алгоритму функціонування системи заварювання холодної кави, 3.2 Інтерфейс користувача, 3.3 Електрична схема приладу, 3.4 Розробка програмної частини, Розділ 4. Оцінка ефективності та аналіз рішень, 4.1 Розрахункове обґрунтування системи заварювання холодної кави, 4.2 Техніко-економічне обґрунтування, 4.3 Аналіз ризиків, 4.4 Вибір оптимального варіанту рішення, Загальні висновки, Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

- 1) Параметрична схема об'єкта керування Cold Brew System – 1арк. ф.А1
- 2) Структурна схема об'єкта керування Cold Brew System – 1арк. ф.А1
- 3) Блок-схема алгоритму роботи системи приготування cold brew кави – 1арк. ф.А1
- 4) Принципова електрична схема автоматизованої системи приготування cold brew кави – 1арк. ф.А1
- 5) Програма взаємодії з меню керування системи автоматизованого приготування кави холодного типу

6. Дата видачі завдання – 13.04.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання роботи	Примітка
1	Ознайомлення з темою, визначення об'єкта та предмета дослідження	14.04.25-20.04.25	Виконано
2	Збір та аналіз інформації про технології cold brew, аналоги, технічні вимоги	20.04.25-26.04.25	Виконано
3	Вибір архітектури системи	26.04.25-05.05.25	Виконано
4	Розробка схем	05.05.25-15.05.25	Виконано
5	Прототипування	15.05.25-23.05.25	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	23.05.25-26.05.25	Виконано
7	Підготовка до захисту	26.05.25-01.06.25	Виконано

Студент

Ілля КУЧИНСЬКИЙ

Керівник

Ірина ГРИШАНОВА

АННОТАЦІЯ

Загальний обсяг роботи — 78 сторінок, з них 10 сторінок додатків. Містить 8 таблиць, 18 посилань і 13 рисунків (схеми, фото тощо).

У роботі розроблено автоматизовану систему керування процесом приготування кави холодного типу (cold brew) методом повільного крапельного заварювання (slow drip).

Мета дослідження — створення доступного технічного рішення для покращення стабільності, ефективності та зручності заварювання. Об'єкт дослідження — процес екстракції смакових речовин під дією холодної води, предмет — система керування подачею води, часом заварювання та сенсорним зворотним зв'язком.

У першому розділі подано мету проєкту, аналіз аналогів і огляд розвитку технології cold brew, а також розглянуто технічні особливості обраного методу.

Другий розділ присвячено архітектурі системи, принципу її роботи та вибору компонентів — мікроконтролера, сенсорів і виконавчих механізмів.

У третьому розділі описано реалізацію системи: алгоритм роботи, інтерфейс користувача, принципову та структурну схеми, а також логіку взаємодії модулів.

Четвертий розділ містить оцінку функціональності системи, розрахунок ефективності та аналіз практичного застосування запропонованих інженерних рішень.

Розроблена система дозволяє автоматизувати процес заварювання cold brew із контролем потоку, температури й рівня води. Вона може використовуватись у побуті, кав'ярнях, лабораторіях або як основа для подальшого вдосконалення.

ANNOTATION

The total volume of the thesis is 78 pages, including 10 pages of appendices. It contains 7 tables, 18 references, and 13 figures (diagrams, photos, etc.).

The work presents the development of an automated control system for the cold brew coffee preparation process using the slow drip method.

The aim of the study is to create an accessible technical solution to improve the stability, efficiency, and convenience of the brewing process. The object of the study is the extraction process of flavor compounds under the influence of cold water, while the subject is the control system for water supply, brewing time, and sensor-based feedback.

The first chapter outlines the project objectives, analyzes existing solutions, and reviews the historical development of cold brew technology, highlighting technical features of the selected method.

The second chapter describes the system architecture, operating principle, and component selection — including microcontroller, sensors, and actuators.

The third chapter focuses on system implementation: control algorithm, user interface, circuit diagram, and interaction logic between modules.

The fourth chapter includes functionality assessment, efficiency calculations, and analysis of the practical applications of the engineering solutions used.

The developed system automates the cold brew drip process with flow rate, temperature, and liquid level control. It can be used at home, in small coffee shops, in educational labs, or as a basis for further commercial development.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ КАВИ ХОЛОДНОГО ТИПУ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РІШЕНЬ	12
1.1 Актуальність теми	12
1.2 Об'єкт і предмет дослідження.....	14
1.3 Аналіз технології cold brew.....	15
1.4 Фізико-хімічні процеси приготування холодної кави.....	18
1.4.1 Важливість розміру помелу	20
1.5 Аналіз аналогів	23
1.5.1 Побутові пристрої для колд брью	23
1.5.2 Напівавтоматичні та автоматичні рішення	25
1.5.3 Інноваційні автоматичні системи повільного крапання.....	28
1.6 Аналіз сучасного стану проблеми	31
1.7 Технічне завдання та вимоги до системи приготування холодної кави	33
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ.....	35
2.1 Принцип дії автоматизованої системи заварювання холодної кави.	41
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	43
3.1 Блок-схема алгоритму функціонування системи заварювання холодної кави.....	43
3.2 Інтерфейс користувача у пристрої для заварювання холодної кави	43
3.3 Електрична схема пристроїв заварювання холодної кави	45
3.4 Розробка програмної частини пристрою заварювання холодної кави	48
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА АНАЛІЗ РІШЕНЬ	50
4.1 Розрахункове обґрунтування системи заварювання холодної кави .	50
4.2 Техніко-економічне обґрунтування	52

					ПМ11.210302.000ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Кучинський І.			Автоматизована система керування процесом заварювання кави холодного типу	Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.							8	78	
Реценз.						ПБФ КПІ			
Н. Контр.									
Затверд.		Гришанова І.							

4.3 Аналіз ризиків.....	54
4.4 Вибір оптимального варіанту рішення.....	56
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

- Cold brew – метод приготування кави, при якому вода низької температури повільно проходить через шар мелених зерен.
- Immersion brewing (занурювальний метод) – метод приготування кави, при якому мелені зерна повністю занурюються у воду на тривалий час. Наприклад, класичний cold brew або френч-прес.
- Slow drip brewing (повільне крапельне заварювання) – метод приготування кави, при якому холодна вода повільно крапає через шар кави, зазвичай у спеціальній установці (Dutch або Kyoto-style). Процес триває 3–12 годин.
- Cold drip brewing (холодне крапельне заварювання) – синонім slow drip; метод, який відрізняється від immersion тим, що вода проходить через каву під дією гравітації, а не контактує з нею довгий час.
- Flash brewing (експрес-холодне заварювання) – метод, при якому кава заварюється гарячою водою і потім швидко охолоджується, зазвичай за допомогою льоду. Дає більш яскравий аромат і кислотність.
- Pourover brewing (пуровер) – метод ручного приготування кави, при якому гаряча вода заливається по колу на каву у воронці з фільтром (наприклад, Hario V60). Контроль швидкості заливання важливий для смакової екстракції.
- УЗ екстракція (ультразвукова екстракція) – сучасний метод інтенсифікації процесу заварювання або виділення речовин за допомогою ультразвукових коливань. Може скорочувати час приготування cold brew і підвищувати вихід екстрактів.
- LCD – рідкокристалічний дисплей (Liquid Crystal Display), використовується для відображення даних в системі.
- Arduino – платформа відкритого типу для створення електронних пристроїв, що включає мікроконтролер та програмне середовище.

ВСТУП

У нашому повсякденному житті вже існує безліч процесів, які людство навчилося автоматизовувати. І це не дивно: навіщо витратити власний ресурс, простоюючи біля плити, якщо є мультипід? Навіщо вручну вести облік бюджету, якщо для цього існують зручні застосунки чи банківські сервіси? Сучасна людина дедалі частіше делегує рутинні дії техніці. Не дивно, що цей спрощувальний підхід дійшов і до такого, здавалося б, складного ритуалу, як приготування кави.

Автоматичні та напіваавтоматичні кавоварки існують вже давно й пройшли довгий шлях розвитку та інновацій, сформувавши окрему ринкову нішу. В Україні за останні роки кавовий бізнес активно розвивається, розширює асортимент, технології та здобуває авторитет і за межами країни. Проте, попри різноманіття кавових напоїв, пристрої, які автоматизують окремі альтернативні методи заварювання, не набули широкого поширення.

У цьому контексті особливої уваги заслуговує cold brew — кава холодного настоювання. Вона вирізняється м'якістю смаку, низькою кислотністю та довготривалим збереженням смакових властивостей. Проте має і свій недолік — тривалий час приготування: від 8 до 24 годин, залежно від рецептури та методу. Серед альтернативних способів я обрав крапельний — коли холодна вода подається малими порціями крізь шар меленої кави. Налагоджувати такий процес вручну — малопрактично, особливо якщо хочеться стабільності, повторюваності та зручності.

Саме тому я обрав темою свого проєкту створення автоматизованої системи керування процесом заварювання кави холодного типу. Такий пристрій дозволить не лише оптимізувати процес приготування напою, а й стане практичною реалізацією інженерних знань у сфері мікроконтролерної техніки, елементної бази та алгоритмів керування. Окрім цього, проєкт демонструє потенціал подібних розробок для малого бізнесу, кав'ярень та ентузіастів, що прагнуть нестандартних рішень.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ КАВИ ХОЛОДНОГО ТИПУ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РІШЕНЬ

1.1 Актуальність теми

Складно уявити, що напій, який готується понад 12 годин, міг би бути частиною швидкого й технологічного світу. Проте світ змінюється, і зараз більшої актуальності набувають старі традиції і звички як чайна церемонія, вінілові пластинки, тощо. А отже цінується не тільки ККД а душевність та насолода від процесу. Як це пов'язано із cold brew? Кава повільного заварювання, стає дедалі популярнішою у міських кав'ярнях, стартапах і навіть домашніх кухнях. І поки одні винаходять додатки, що рахують, скільки кави ви вже випили, інші шукають способи зробити сам процес приготування менш рутинним, більш контрольованим і трохи менш залежним від людського фактору.

Cold brew — це не просто модна альтернатива гарячому еспресо. Це технологічний виклик. Ручне приготування часто вимагає годин спостереження, рівномірної подачі води, температурного контролю й чіткого дотримання пропорцій. Це — ідеальне середовище для автоматизації. Не тому, що ми ліниві (хоча і це важко), а тому що машині можна довірити стабільність, повторюваність і точність.

Згідно з історичними даними, метод холодного заварювання бере свій початок у Японії, де в регіоні Кіото ще з XVII століття використовували скляні башти для крапельного заварювання кави холодною водою. Цю ідею, ймовірно, запозичили у голландських мореплавців, які готували каву-концентрат для тривалих походів. Хоча їхній спосіб був далекий від сучасного cold brew, він став відправною точкою для подальших експериментів з подачею і форматом. [1]

Європейський аналог cold brew — "мазагран" — виник у XIX столітті в Алжирі, у прибережному місті Мазагран, де під час колоніальної кампанії французькі

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

солдати стикалися з жорсткою спекою. Замість звичної гарячої кави вони почали змішувати кавовий концентрат або сироп із холодною водою. Це не лише дозволяло охолодитися, а й зберігало бадьорість та енергію — необхідні в умовах служби. Згодом, повернувшись додому до Франції, вони привнесли з собою цей незвичний спосіб споживання кави. Там він зазнав подальшого осучаснення та "європеїзації" — до кавового концентрату почали додавати не просто холодну воду, а газовану мінералку, сік цитрусових, ром або лікер. Напій набув освіжаючого і навіть святкового характеру, ставши популярним у парижан, а пізніше й в інших європейських містах. Саме мазагран вважають першим історично задокументованим рецептом кави, яку пили холодною, і деякі джерела називають його навіть "прабатьком холодної кави". [2]

Ще одна важлива віха в історії cold brew — це 1964 рік, коли Тодд Сімпсон, випускник Корнельського університету, подорожував гірськими районами Перу. У одному з сіл він скуштував місцевий спосіб приготування кави: зерна настоювалися в холодній воді протягом тривалого часу, а потім подавалися у теплому вигляді. Цей спосіб вразив його надзвичайно м'яким, чистим смаком, позбавленим характерної гіркоти й кислотності традиційної кави. Його дружина на той час страждала на шлункові проблеми, які не дозволяли їй споживати класичну каву через її кислотність. Побачивши можливість поєднати смак і користь, Тодд вирішив адаптувати цей метод для домашнього використання, розробив Toddy Cold Brew System — першу у світі комерційну установку для холодного заварювання. Винахід одразу ж зацікавив як споживачів, так і кавових ентузіастів, адже cold brew не тільки знижував кислотність напою до 67%, але й дозволяв готувати великі об'єми кавового концентрату на кілька днів вперед. Відтоді cold brew став не просто екзотикою — він поступово перетворився на окрему культуру приготування кави з власними приладами, методами і шанувальниками по всьому світу. [3] [4]

Крім того, зростає попит на персональні кавові пристрої, які не тільки естетичні, а й функціональні. Особливо в умовах, коли малі бізнеси шукають компактні

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

рішення, а молоді інженери хочуть поєднати технічні навички з реальними прикладними результатами. Cold brew — це якраз та зона, де інженерія зустрічається з гастрономією. А значить, є і ринок, і сенс, і поле для розвитку.

Тож автоматизована система приготування кави холодного типу — це не просто диплом, а спроба поєднати актуальні тренди, інженерні принципи й щось дуже смачне. І якщо ця система не змінить світ — то точно зробить кілька літрів життя трохи приємнішими.

Висновок:

Cold brew як технологія є перспективною для автоматизації завдяки її складності, тривалості та високим вимогам до стабільності. Це робить тему проєкту актуальною як з інженерної, так і з ринкової точки зору.

1.2 Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес приготування кави холодного типу (cold brew) методом slow drip, також відомим як Dutch coffee або Kyoto-style cold brew. У цьому методі вода крапля за краплею проходить крізь шар мелених зерен і одразу стікає вниз, без тривалого контакту з гущею, як у класичному занурювальному методі (immersion). Це нагадує пуровер, але надзвичайно повільний і з холодною водою.

Предметом дослідження є автоматизована система керування процесом холодного заварювання кави, зокрема її апаратна частина та структура, алгоритм подачі води, контроль тривалості заварювання та параметри точного дозування.

Висновок:

Визначення об'єкта та предмета дозволяє окреслити межі дослідження та зосередитися на технічній реалізації керування процесом приготування кави методом slow drip.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.3 Аналіз технології cold brew

Я обрав метод заварювання з повільним крапанням холодної води (4-20°C) на шар мелених зерен кави та екстракції усіх можливих властивостей лише під дією сили тяжіння. Цей процес може тривати від 3 до 12 годин, залежно від помелу кави і швидкості крапання води. Відмінно до гарячого заварювання, де домінуючим чинником, що впливає на смак, є ерозія (швидке вимивання розчинних речовин), у колд бріу основним механізмом є дифузія – повільне проникнення води в пори частинок кави та розчинення смакових сполук.

Той самий крапельний метод виготовлення колд бріу використовується здавна в Кіото. Це створює м'який, менш кислотний напій. Він містить більше кофеїну, порівняно до інших методів. Повільний процес допомагає краще зосередитись та витягти більш складні смакові якості які губляться або нестабільно екстрагується за використання гарячої води.

Для автентичного досвіду може знадобитись спеціальне обладнання у вигляді скляних башт з трубками, фільтрами та резервуарами, у дерев'яних обрамленнях. Для кіотського стилю підходять сорти кави середнього та темного обсмаження. Цей метод практичний для приготування великих партій.

Тоді колд бріу залишатиметься свіжим довше, ніж гаряча кава, на кілька тижнів точно. [5]. Пропоную порівняти деякі схожі методи заварювання кави холодною водою між собою.

Метод повного занурення у холодній воді (Immersion Cold Brew)

Одним з найпоширеніших способів приготування холодної кави є метод повного занурення (англ. Immersion method), при якому мелена кава тривалий час настоюється у холодній або кімнатної температури воді. Сутність цього методу полягає у повному зануренні меленого кавового зерна у воду на період від 12 до

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

24 годин, що дозволяє повільно, без застосування температурного впливу, екстрагувати розчинні речовини.

Такий спосіб вирізняється простотою реалізації, не потребує спеціалізованого обладнання і широко використовується як в домашніх умовах, так і в індустрії. Зазвичай використовують співвідношення кави до води в межах 1:5–1:10, в залежності від бажаної міцності. По завершенню процесу отриману кавову рідину проціджують для видалення гущі.

Характерними ознаками отриманого напою є м'який смак, низька кислотність, відсутність гіркоти та щільна текстура. Водночас, тривале настоювання може призводити до появи «важкого» смакового профілю, зменшення аромату, а також вимагає значного часу для приготування.

Дацький метод (Dutch Cold Brew)

Альтернативною до занурення є метод повільного крапельного настоювання (Slow Drip), відомий також як дацький (Dutch-style). Цей метод бере початок з XVII століття, коли голландські моряки, що торгували в Азії, шукали спосіб готувати каву, яку можна зберігати в дорозі. Вони використовували метод холодного настоювання з краплями — cold drip — для збереження напою тривалий час. Цей метод передбачає поетапне протікання холодної води через шар меленого зерна, в результаті чого кожна крапля повільно проходить крізь каву та збирається у приймальній ємності.

Зазвичай вода капає зі швидкістю 1 крапля кожні 1–2 секунди. Процес триває від 3 до 6 годин і потребує спеціалізованої конструкції або природного потоку— вертикального скляного апарату з трьома секціями: резервуаром для води, секцією з кавою та збірною колбою. Завдяки відсутності тривалого контакту кавової гущі з водою і нижчому рівню оксидації, напій набуває кришталевої чистоти, делікатного аромату та насиченого, але збалансованого смаку з фруктовими або квітковими нотами.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

До переваг методу відносяться точність контрольованої екстракції, естетичність приготування, а також особливий характер напою, який відрізняється від інших методів холодного заварювання. Основними недоліками є складність апаратного забезпечення, чутливість до налаштування швидкості потоку, а також обмеженість об'єму приготування. [6]

Японський метод охолодженої кави (Japanese Iced Coffee, Flash Brew)

Третій поширений підхід до приготування холодної кави — це так званий японський метод або Flash Brew, який поєднує елементи гарячої екстракції та миттєвого охолодження. На відміну від попередніх способів, цей метод передбачає заварювання кави гарячою водою (90–96 °C) у фільтраційному приладі (pourover, chemex), при цьому частина води за рецептурою замінюється кубиками льоду, які розміщуються у приймальній ємності.

У процесі приготування гаряча вода швидко екстрагує леткі ароматичні сполуки та розчинні речовини, після чого напій негайно охолоджується льодом. Таким чином досягається поєднання яскравого, ароматного смаку гарячої кави з холодною температурою подачі.

Основною перевагою є короткий час приготування (5–10 хвилин) та інтенсивний ароматичний профіль, притаманний гарячій каві. Однак цей метод не знижує кислотність, як у класичних cold brew напоях, і вимагає негайного споживання, оскільки при зберіганні смакові якості швидко погіршуються. [7]

Таблиця 1.1

Порівняння методів заварювання кави холодною водою

Метод	Час заварювання	Профіль смаку	Вміст кофеїну	Кислотність
Кіотський колд блю	8-12 год	М'який, комплексний	Найвищий рівень	до 70% Низька

Метод занурення у холодній воді	12-24 год	Сміливий, контрастний	Високий рівень	Низька
Дацький колд блю	12-16 год	Збалансований, помірний	Помірний рівень	Низька
Японська охолоджена кава	Приблизно 2-6 хвилин	Яскравий, кисленький	Низький рівень	Висока

Висновок:

Метод slow drip забезпечує високу якість cold brew напою, але потребує точної подачі води. Це створює передумови для використання автоматизованих систем.

1.4 Фізико-хімічні процеси приготування холодної кави

Температура відіграє критичну роль у приготуванні будь-якої кави. У більшості кав'ярень використовується гаряча вода за температури 90-96°C, або рідше трохи менше, яка екстрагує широкий спектр речовин як: масла, кислоти та ароматичні леткі речовини. Холодна вода взаємодіє з цими речовинами не так сильно, а радше вибірково. Це відбувається через те що компоненти кави розчиняються у залежності до температури. Чим вища температура, тим краще розчиняються певні речовини, і кава заварюється швидко та повністю. А якщо заварювати холодною водою, то багато речовин розчиняються гірше, тому процес повільніший і більш контрольований.

Кислотність холодної кави зазвичай менша, як вже згадувалось, у порівнянні з гарячим заварюванням. Тривалий час настоювання в холодній воді мінімізує вилучення кислих сполук, таких як хлорогенові кислоти. Ці кислоти добре розчиняються в гарячій воді, але гірше в холодній, що робить холодну каву м'якшою та менш кислою. [8]

Унікальністю цього методу заварювання холодної кави є те, що він підкреслює одні ароматичні сполуки, мінімізуючи інші. Ось деякі ключові сполуки та їхній вплив на смаковий профіль:

- Кофеїн: Холодна кава зазвичай містить більше кофеїну на унцію, ніж гаряча, через довший час екстракції. Однак загальна концентрація кофеїну може варіюватися залежно від співвідношення кави до води.
- Ліпіди та олії: Холодна вода вилучає менше олій з кавових зерен. Ці олії додають тіла та відчуття в роті гарячій каві, але можуть робити її важчою та гіркішою. Знижений вміст олій у холодній каві забезпечує чистіший і свіжіший смак.
- Хлорогенові кислоти: Як згадувалося раніше, ці кислоти менш розчинні в холодній воді, що призводить до нижчої кислотності холодної кави. Це робить холодну каву легшою для шлунка та надає природно солодшого смаку.
- Ароматичні сполуки: Холодне заварювання зберігає більше ніжних ароматичних сполук, які можуть втрачатися під час гарячого заварювання через високі температури. Це призводить до більш нюансованого та багатшарового смакового профілю.

Промисловці розуміють що ключові змінні в екстракції холодної кави включають температуру води (від 4°C до 20°C), якість води, профіль обсмажування (від середнього до середньо-темного), розмір помелу (450-500 мікрон) і умови зберігання. Сюди ж входять пасивні змінні як час і атмосферний тиск. Та що як зробити їх менш пасивними? Машини Hardtank долають обмеження традиційної холодної кави, запроваджуючи динамічний рух, активно циркулюючи воду через шар кави для посилення контакту між водою та частинками кави, завершуючи екстракцію менш ніж за годину без шкоди для якості. [9]

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Хімічні особливості cold brew дозволяють досягти унікального смакового профілю, але водночас вимагають тривалого часу екстракції, що підсилює доцільність автоматизації.

1.4.1 Важливість розміру помелу

Перша й найочевидніша відповідь полягає в тому, що він впливає на загальну площу поверхні, з якою може взаємодіяти вода в каві. Щоб краще це зрозуміти, давайте спочатку подивимося на льодяники Jolly Rancher. Скільки часу потрібно, щоб розчинити один льодяник? А якщо його розкусити на мільйон дрібних шматочків? Хоча льодяники та кава, очевидно, дуже різні, якщо ви зможете уявити цю ідею, це дасть вам базове розуміння того, як розмір помелу впливає на результат приготування холодної кави.

Коли йдеться про розмір помелу, щоб ці сполуки стали розчинними у воді, потрібен певний контакт з рідиною. Менший розмір помелу призводить до збільшення площі поверхні з більшою здатністю води досягати цих сполук.

Зважаючи на це, для холодної кави ми все ж таки віддаємо перевагу грубому помелу. Тож питання дня таке: чому ми не використовуємо дрібний помел, якщо він, очевидно, має кращий потенціал екстракції? На це є кілька причин.

Причина 1: Залишки дрібних частинок

Дрібні частинки можуть фактично проникати крізь фільтр і залишатися в готовій холодній каві. Це може спричинити кілька проблем. По-перше, ви можете отримати холодну каву, якій бракуватиме того приємного прозорого кольору, який ми всі любимо. Крім того, ці частинки можуть потрапляти до рота під час пиття кави та викликати неприємні відчуття. Нарешті, занадто велика кількість цих частинок може означати, що холодна кава насправді довше не залишатиметься свіжою, оскільки ці нерозчинні частинки можуть розкладатися, утворюючи неприємний смак.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Причина 2: Складний взаємозв'язок між розчинністю та розміром помелу

Коли частинки стають занадто малими, вони часто забивають пори будь-якого фільтрувального матеріалу, який використовується для холодної кави. Усі ми пам'ятаємо випадки, коли в нашу крапельну кавоварку або кавоварку Mr. Coffee потрапляв занадто дрібний помел, утворюючи схожу на бруд масу, яка змушувала воду обтікати каву замість того, щоб проходити крізь неї. У цьому випадку, оскільки вода фактично не контактує з помелом, ви можете отримати недостатньо екстрагований напій через занадто дрібний помел.

Тепер обговоримо причини, чому ми вважаємо грубий помел найкращим?

Холодна кава заварюється протягом 18-24 годин, чого цілком достатньо, щоб вода повністю наситила зерно, навіть його внутрішні шари. Крім того, грубий помел дозволяє воді вільно протікати між фрагментами кавових зерен протягом усього часу заварювання, забезпечуючи рівномірну екстракцію. Вода може досягати зерен у центрі фільтра так само легко, як і зерен, розташованих ближче до краю, що дозволяє екстрагувати всі зерна однаково. Це забезпечує приємний чистий смаковий профіль холодної кави.

Приготування кави іноді описують як мистецтво, але це також безперечно наука, а точніше – хімія. З цієї точки зору стає зрозуміло, що склад води, яка використовується для приготування холодної кави, є важливим. Коли ми думаємо про воду, ми уявляємо собі H_2O , просту й зрозумілу формулу. Однак вода, яку ми знаходимо у своїх домівках, часто містить багато додаткових хімічних речовин і мінералів. Будь-що у нашій воді просто додається до хімічних процесів, які відбуваються під час приготування холодної кави, і впливає на кінцевий смак напою.

На рисунку 1 проілюстровано внесок кавових частинок різного діаметру у загальну масу напою залежно від ступеня екстрагування клітини.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Як видно, більші частинки (2000 мкм) мають вищу початкову віддачу порівняно з меншими (100 мкм), проте втрачають ефективність при глибокому екстрагуванні. Натомість дрібні частинки спочатку екстрагуються повільніше, але різко зростають при досягненні певного порогу. Це демонструє ризик переекстракції дрібного помелу, що може призвести до гіркового смаку. У свою чергу, грубий помел забезпечує стабільніший профіль з меншими ризиками для балансу напою. [10]

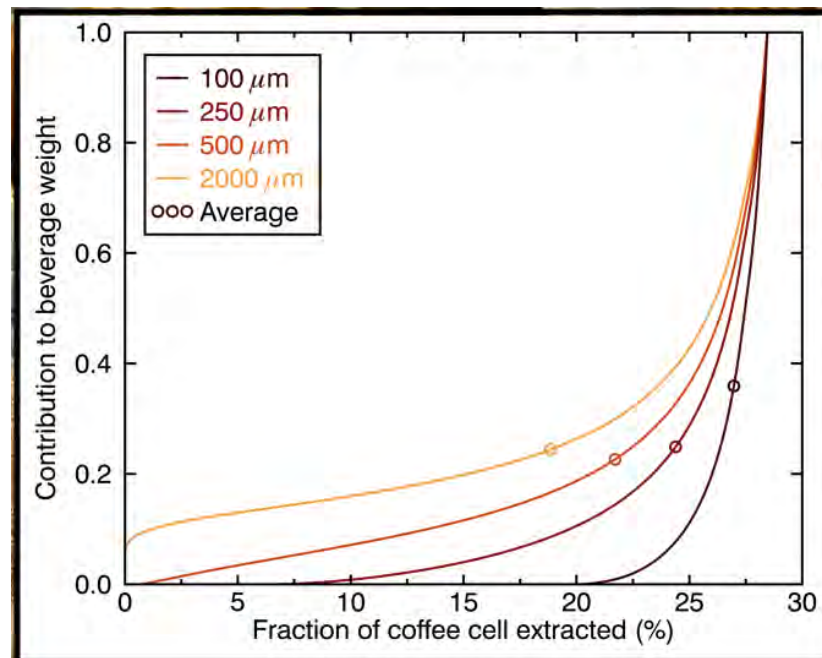


Рис. 1.1 Внесок частинок різного розміру в масу напою залежно від ступеня екстракції

Отже, як різні компоненти води впливають на кінцевий напій?

Помітні присмаки

Деякі компоненти у звичайній водопровідній воді залишають помітну різницю у смаку самої води, що може негативно вплинути на холодну каву. Одним із прикладів є хлор. Якщо у воді достатньо хлору, ви можете відчутти його смак у самій воді. Це може стати проблемою, якщо ви використовуєте цю воду для приготування холодної кави. Це пов'язано з тим, що існує ймовірність того, що цей присмак хлору залишиться. Смак кави, безумовно, замаскує смак хлору, але

це завадить отримати той свіжий і чистий профіль холодної кави, до якого ми прагнемо.

Інші мінерали

Хоча деякі компоненти води є більш очевидними та помітними у своєму впливі на холодну каву, інші компоненти, такі як мінерали кальцій і магній, допомагають у процесі екстракції речовин з кавових зерен. Зважаючи на це, навіть мінерали, які допомагають у процесі заварювання, повинні бути присутні лише в певних кількостях. Будь-яка кількість, що виходить за ці межі, негативно вплине на процес заварювання. [11]

Висновок:

Грубий помел є оптимальним для cold brew, оскільки забезпечує рівномірну екстракцію та зменшує ризик утворення осаду або гіркоти.

1.5 Аналіз аналогів

У цьому підрозділі розглянуто існуючі технічні рішення, які частково або повністю реалізують функції автоматизації процесу приготування кави холодного типу, зокрема **slow drip cold brew**. Аналіз виконано з метою виявлення сильних та слабких сторін існуючих рішень, визначення рівня технічної складності, а також з'ясування потенційних можливостей для вдосконалення системи.

1.5.1 Побутові пристрої для колд брю

На ринку представлено низку побутових рішень, призначених для приготування cold brew. До найпоширеніших належать:

Hario Mizudashi Cold Brew Coffee Pot

Це простий пристрій без електроніки, який реалізує метод **імерсії** (занурення).

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Його основна перевага — зрозумілість та доступність. Водночас процес вимагає тривалого настоювання (8–24 год), що унеможливорює гнучке управління параметрами напою.

Hario Mizudashi — популярна та шанована кавоварка холодного заварювання, відома своєю простотою використання та приготуванням ніжної, менш кислої кави. Конкуренти на ринку холодного заварювання включають такі моделі, як OXO Brew Compact Cold Brew Coffee Maker, KitchenAid Cold Brew Coffee Maker та Ovalware Airtight Cold Brew Iced Coffee Maker. Ці альтернативи пропонують різні функції, такі як більші порції, вбудовані крани для легкого дозування та швидші варіанти заварювання. Найкращий вибір залежить від індивідуальних потреб та уподобань щодо місткості, швидкості та бажаної міцності кави. [12]



Рис. 1.2 Пристрій **Hario Mizudashi Cold Brew Coffee Pot** для приготування холодної кави

KitchenAid Cold Brew Coffee Maker

Це компактна ємність з дозатором для зберігання cold brew у холодильнику. Не має жодної автоматизації, але зручна для подальшого розливу напою.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.5.2 Напівавтоматичні та автоматичні рішення

Osma

Pro

(Osma

Brew)

Використовує акустичну екстракцію за допомогою тиску та ультразвуку. Пристрій дозволяє приготувати холодну каву за 60–90 секунд. Незважаючи на інноваційність, Osma суттєво відрізняється від класичного slow drip підходу. Його основна ціль — швидкість, а не традиційний смак cold brew.



Рис 1.3 Осма Brew – пристрій для ультрашвидкого приготування холодної кави за допомогою акустичної екстракції

Driver Cold Drip — це інноваційна 2-в-1 система для приготування кави методом slow drip та cold brew, яка була успішно профінансована на Kickstarter. Її головна перевага — значне скорочення часу приготування cold drip кави до 2 годин, що в 6 разів швидше за традиційні методи, які зазвичай потребують 6–12 годин. Пристрій має компактний циліндричний дизайн висотою 29,5 см і діаметром 10

см, що робить його зручним для домашнього використання. Він складається з чотирьох основних частин: верхнього резервуару для води об'ємом до 600 мл, дисперсійного піддону, кавового кошика та нижньої колби. Цей пристрій є чудовим прикладом сучасного підходу до приготування cold brew кави, поєднуючи традиційний метод slow drip з інноваційним дизайном та зручністю використання. Він ідеально підходить для поціновувачів кави, які шукають швидкий та ефективний спосіб приготування напою без компромісів у смаку. [13]



Рис. 1.4 Пристрій Driver Cold Drip для приготування кави методом повільного крапання

Spinn

Coffee

Maker

Хоча Spinn не спеціалізується на cold brew, він має функцію "cold coffee". Це повноцінна автоматизована система з мобільним застосунком, Wi-Fi та алгоритмами приготування. Її ціна значно перевищує середньостатистичні побутові моделі.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Ground**Control****Cyclops**

Промисловий автоматичний пристрій, здатний приготувати різні типи кави (включно з cold brew) на основі циклічного методу екстракції. Підходить переважно для кав'ярень.

Таблиця 1.2

**Порівняння популярних автоматичних та напівавтоматичних систем
приготування холодної кави**

Аналог	Автоматизація	Метод	Призначення	Недоліки
Hario Mizudashi	-	Імерсія	Побутовий	Тривалий час, ручна робота
Driver Cold Drip	+	Slow Drip	Побутовий	Обмежений об'єм, потребує регулярної чистки
KitchenAid	-	Імерсія	Побутовий	Немає процесу приготування
Osma Brew	+	УЗ екстракція	Напівпрофесійний	Висока ціна, неавтентичний смак
Spinn	+	Ротація+тиск	Побутовий	Не класичний cold brew

Ground Control Cyclops	+	Комбінован ий	Промисловий	Дуже висока вартість
------------------------------	---	------------------	-------------	-------------------------

Отже, серед розглянутих на ринку аналогів немає жодного пристрою, який би повністю реалізовував slow drip cold brew у поєднанні з автоматизацією та доступною вартістю. Це дозволяє обґрунтувати актуальність розробки нової системи, яка поєднує традиційний підхід до приготування з сучасними засобами керування, контролю та моніторингу.

1.5.3 Інноваційні автоматичні системи повільного крапання

Bre:zi – автоматизований cold drip за 5 хвилин

Проект Bre:zi це інноваційний пристрій, який поєднує традиційний метод приготування кави в стилі Кіото з сучасними технологіями автоматизації. Завдяки точному контролю швидкості подачі води та температури, Brezi дозволяє приготувати насичений cold brew всього за 5 хвилин, що значно швидше за традиційні методи, які зазвичай потребують 12–24 годин. Пристрій оснащений функцією миттєвого охолодження, яка забезпечує оптимальну температуру води без необхідності використання льоду або попереднього охолодження. Користувачі можуть обирати з попередньо встановлених режимів або налаштовувати параметри заварювання відповідно до своїх уподобань, що робить процес приготування кави максимально зручним та персоналізованим.

Brezi також відзначено престижною нагородою iF DESIGN AWARD 2025 за революційний підхід до приготування cold brew. Цей пристрій ідеально підходить для поціновувачів кави, які цінують якість, швидкість та зручність у приготуванні напою.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30



Рис. 1.5 Bre:zi – автоматизований пристрій для приготування кави методом холодного прокрапування

Driver Cold Drip — це інноваційна 2-в-1 система для приготування кави методом slow drip та cold brew, яка була успішно профінансована на Kickstarter. Її головна перевага — значне скорочення часу приготування cold drip кави до 2 годин, що в 6 разів швидше за традиційні методи, які зазвичай потребують 6–12 годин.

Пристрій має компактний циліндричний дизайн висотою 29,5 см і діаметром 10 см, що робить його зручним для домашнього використання. Він складається з чотирьох основних частин: верхнього резервуару для води об'ємом до 600 мл, дисперсійного піддону, кавового кошика та нижньої колби. Driver Cold Drip оснащений запатентованим кавовим кошиком з трьома окремими секціями, що дозволяє воді рівномірно проникати через кавові зерна, забезпечуючи швидке та ефективне насичення. Крім того, пристрій має регульований клапан для точного контролю швидкості крапель, що дозволяє користувачеві налаштовувати процес заварювання відповідно до особистих уподобань. [14]

HIVE BREW™ — комерційна cold drip система

HIVE BREW™ — це інноваційна комерційна система для приготування cold brew кави, яка використовує метод Accelerated Cold Extraction (ACE) для значного скорочення часу заварювання. Завдяки унікальній конструкції шестигранних brew-cell модулів, система дозволяє масштабувати виробництво без втрати якості напою. Моделі HIVE Café 3 та Café 6 призначені для кав'ярень і можуть приготувати концентрат кави з високим вмістом TDS (7.5) всього за 15–20 хвилин, що значно швидше за традиційні методи. Система не потребує електрики чи стисненого повітря, що робить її зручною та енергоефективною для комерційного використання. [15]



Рис. 1.6 HIVE BREW™ - Комерційна машина для приготування кави холодного типу заварювання

Cold Bruer — це елегантний та простий у використанні пристрій для приготування cold brew кави методом slow drip. Виготовлений з боросилікатного

скла, нержавіючої сталі та харчового силікону, він забезпечує чистий смак напою без осаду. Регульований клапан дозволяє точно контролювати швидкість крапель, що дає змогу налаштовувати процес заварювання відповідно до особистих уподобань. Об'єм пристрою становить 590 мл, а час приготування — 4–6 годин. Cold Bruer ідеально підходить для поціновувачів кави, які шукають простий та ефективний спосіб приготування cold brew вдома.

Патент CA3075920C – автоматизований процес cold brew
Цей патент описує метод приготування cold brew з використанням автоматизованих циклів настоювання при температурі 30–50°C. Система дозволяє налаштовувати параметри приготування для досягнення бажаного профілю смаку.

Висновок:

На ринку немає бюджетних рішень, які б поєднували традиційний метод slow drip із автоматизацією, що підкреслює потребу у створенні нової системи.

1.6 Аналіз сучасного стану проблеми

У 2025 році ринок cold brew кави демонструє стрімке зростання. За даними аналітичних звітів, обсяг світового ринку cold brew кави зріс з \$1,38 млрд у 2024 році до \$1,69 млрд у 2025 році, що відповідає середньорічному темпу зростання (CAGR) 21,8% . Це зростання зумовлене зміною споживчих уподобань, зростанням культури споживання кави та популярністю спеціалізованих кав'ярень. [16]

Особливої популярності набуває сегмент готових до споживання (Ready To Drink) напоїв. У США споживання cold brew кави зросло на 300% за останні сім років . Це свідчить про зростаючий попит на зручні та якісні кавові напої серед споживачів. [17]

Технічні виклики у виробництві cold brew

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Незважаючи на популярність, процес приготування cold brew кави стикається з низкою технічних викликів. Традиційні методи заварювання вимагають тривалого часу (12–24 години), що створює виробничі вузькі місця та обмежує потужність. Крім того, відсутність термічної обробки підвищує ризики мікробіологічного забруднення, що вимагає суворого контролю гігієни та безпеки.

Інші фактори, такі як сорт кави, ступінь обсмаження, помел, дозування, склад води, турбулентність, система заварювання (крапельна, імерсійна тощо), час і температура, також впливають на якість напою та потребують оптимізації.

Інновації в автоматизації процесу приготування

Для подолання цих викликів розробляються нові технології та пристрої. Наприклад, комерційні системи cold brew, такі як HIVE BREW™, використовують модульні конструкції та автоматизовані цикли очищення для забезпечення безпеки та якості продукту. Інші пристрої, як-от Cumulus Coffee Machine, дозволяють приготувати cold brew за лічені хвилини, використовуючи капсули з концентратом та вбудоване охолодження.

Ці інновації спрямовані на скорочення часу приготування, підвищення безпеки та забезпечення стабільної якості напою. Однак багато з них залишаються дорогими або орієнтованими на комерційний сегмент, що обмежує їх доступність для широкого кола споживачів.

Висновок

Зростаючий попит на cold brew каву створює потребу в ефективних, безпечних та доступних рішеннях для її приготування. Незважаючи на наявні інновації, існує потреба в розробці автоматизованих систем, які поєднують традиційний метод приготування з сучасними технологіями, забезпечуючи високу якість напою та зручність використання для кінцевого споживача.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

1.7 Технічне завдання та вимоги до системи приготування холодної кави

Метою розробки є створення автоматизованої системи для приготування cold brew кави методом slow drip, яка забезпечує стабільну якість напою, гнучкість у налаштуваннях параметрів заварювання, а також зручність і безпечність експлуатації в побутових умовах.

Основні функціональні вимоги:

1. Крапельне заварювання cold brew кави при температурі навколишнього середовища (15–25 °C).
2. Автоматичне дозування води через кавовий фільтр у режимі повільної подачі (1–2 краплі на секунду).
3. Регулювання параметрів заварювання, зокрема:
 - швидкості крапель;
 - загального часу екстракції;
 - об'єму води.
 - Додаткові параметри, потреба у яких виникне у ході тестування.
4. Індикація або віддалений моніторинг стану процесу (опціонально — через дисплей або мобільний застосунок).
5. Звуковий або візуальний сигнал про завершення циклу заварювання.
6. Режим автоматичного очищення або сповіщення про необхідність очищення.

Нефункціональні вимоги:

- Габарити: не більше 35 × 20 × 20 см (для зручного розміщення в кухонних умовах).
- Об'єм води: не менше 500 мл за один цикл.
- Матеріали: харчовий пластик, боросилікатне скло, нержавіюча сталь.
- Енергоспоживання: не більше 12 Вт (у разі використання електроніки).
- Живлення: через блок живлення або акумулятор (для портативності).

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

- Температурна стабільність: працездатність у межах 10–30 °С.
- Безпечність: система має відповідати стандартам харчової гігієни, виключати переливи та утворення мікробного біоплівкового шару.
- Шумові характеристики: рівень шуму під час роботи — не більше 40 дБ.

Обмеження та припущення:

- Система призначена для домашнього або напівпрофесійного використання.
- Користувач самостійно завантажує фільтр, мелену каву та очищену воду.
- Процес охолодження додатково не реалізується, але допускається зовнішнє охолодження (в холодильнику або за використання льоду в збиральному контейнері).
- Система не повинна використовувати тиск або нагрівання, щоб зберегти «холодний» профіль заварювання.

Висновок:

Сформульовані вимоги відображають як функціональні, так і експлуатаційні аспекти cold brew пристрою, створюючи чітку основу для подальшого технічного проектування.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ

Проектування автоматизованої системи приготування кави холодного типу вимагає ретельного вибору технічних рішень, які забезпечать баланс між функціональністю, простотою реалізації, надійністю та вартістю. У цьому підрозділі наведено обґрунтування ключових технічних підходів, застосованих у межах даного проєкту.

Для реалізації cold brew технології обрано slow drip метод, оскільки він дозволяє зберігати чистоту смаку, контрольовану екстракцію та не потребує охолодження всього об'єму рідини. Порівняно з імерсійним методом, крапельне заварювання зменшує ризик перенасичення напою гіркими сполуками, а також дозволяє точніше регулювати процес.

Автоматизація подачі води:

Ключовим компонентом системи є механізм контролю швидкості подачі води. У якості виконавчого механізму доцільно використати:

- соленоїдний клапан з ШІМ-регулюванням або
- Перистальтичний насос із ПВК-регулятором швидкості обертання.

Це дозволяє з високою точністю налаштувати швидкість подачі (у діапазоні 1–2 краплі/с) без механічного втручання користувача.

Сенсорний контроль та зворотній зв'язок:

Для підвищення надійності системи передбачено використання датчиків рівня води (оптичних або поплавкових) та датчиків вологості/протоку для моніторингу стану заварювання. Це дозволяє реалізувати алгоритми безпеки (наприклад, припинення подачі води у разі заповнення ємності) та повідомлення користувача про завершення циклу або необхідність обслуговування.

Архітектура керування:

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Систему автоматизації доцільно побудувати на основі Arduino або сумісного мікроконтролера, оскільки:

- це дозволяє швидко створити робочий прототип;
- платформа має велику спільноту та підтримку;
- можлива інтеграція Bluetooth-модуля для мобільного керування.

Інтерфейс користувача може бути реалізований у вигляді сенсорної панелі, OLED-дисплея або мобільного застосунку.

Матеріали та конструкція

Вибір матеріалів базується на вимогах до гігієни, термостійкості та естетики:

- корпус — харчовий ABS-пластик або PLA (для прототипу)
- резервуари — боросилікатне скло або PETG
- фільтр — нержавіюча сталь (laser-cut) або багаторазовий паперовий фільтр
- ущільнення — силіконові елементи, сертифіковані для контакту з продуктами

Конструкція передбачає модульну збірку для зручного очищення, обслуговування і транспортування.

Енергоефективність та живлення:

У системі використовується джерело живлення на 12 В постійного струму, що забезпечує стабільну роботу перистальтичної або діафрагмової помпи, яка є ключовим виконавчим елементом подачі води. Такий вибір обумовлений необхідністю забезпечити достатній тиск і стабільність витрати рідини протягом усього циклу заварювання.

Усі інші низьковольтні компоненти (контролер, дисплей, сенсори) отримують живлення через понижувальний стабілізатор (step-down до 5 В), що дозволяє інтегрувати все в єдину систему живлення.

Хоча загальне енергоспоживання системи дещо вище, ніж у варіантах з повністю пасивним крапельним потоком, відсутність нагрівальних елементів зберігає

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

загальну енергоефективність на високому рівні. Система залишається економною та придатною для використання як у стаціонарних умовах (кухня, офіс), так і в мобільному середовищі (при наявності доступу до 12В джерела, наприклад, PowerBank з DC-виходом або автомобільного адаптера).

2.1 Структурна та параметрична схеми системи керування заварювання холодної кави

У цьому розділі представлено структурну схему системи керування процесом приготування кави холодного типу, а також параметричну схему з вказанням основних сигналів, напруг, об'ємів та режимів роботи елементів. [18]

Надається за запитом

Рис 2.1 Структурна схема системи автоматизованого приготування кави холодного типу

Схема (див.рис 2.1) відображає взаємозв'язки між компонентами автоматизованої системи: мікроконтролером *Arduino*, помпою, *MOSFET*-транзистором, електроклапаном та датчиком потоку. А також вплив зовнішніх чинників, таких як фракція помелу кави чи температура середовища на вихідні параметри.

Розберемо трохи детальніше кожен із параметрів:

- Контролювання рівня води необхідно, щоб зберігати бажаний об'єм вихідної рідини. В залежності від ваги меленої кави і пропорції її до води змінюється смаковий профіль напою. На додачу, це потрібно, щоб не переповнити збиральну тару.
- Контроль тиску в системі може бути корисним для підтримання нормальної роботи насосу і виявлення проблем у каналі, які можуть призвести до несправності пристрою. На процес приготування кави крапельним шляхом тиск не впливає.

- Контроль температури води та зовнішнього середовища є важливою складовою роботи пристрою, оскільки користувач зазвичай очікує на виході доволі прохолодний напій (у межах 18–20 °C за кімнатної температури). Водночас у регіонах із теплішим кліматом ця інформація стає особливо корисною, адже бажання охолодитися вимагає чіткого розуміння, коли необхідне штучне охолодження. Відтак, ідеальною функцією пристрою є можливість його розміщення та ефективної роботи всередині холодильника, що дозволяє підтримувати температуру напою в межах 2–7 °C, проте таке рішення викликає деякі нюанси. Висока температура середовища також впливає на стабільність роботи деяких електричних компонентів.

- Розмір частинок меленої кави визначає площу її контакту з водою, що безпосередньо впливає на швидкість та повноту екстракції [3]:

Дрібний помел:

Збільшує площу контакту, що призводить до швидшої екстракції.

- Може спричинити переекстракцію, що виражається в гіркому смаку напою.
- Підвищує ризик засмічення фільтрів через утворення щільного шару гущі.

Грубий помел:

- Зменшує площу контакту, що уповільнює екстракцію.
- Може призвести до недоекстракції, результатом чого є слабкий, водянистий смак.
- Забезпечує кращу фільтрацію, знижуючи ризик засмічення.

Таким чином, відхилення у розмірі помелу можуть призвести до значних змін у смакових характеристиках напою та стабільності роботи системи.

- Нестабільність подачі води (наприклад, через перепади тиску в системі, збої в роботі помпи чи клапана, або варіативність швидкості потоку) є

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

одним із ключових збурювальних факторів, що впливає на якість та повторюваність процесу приготування *cold brew* кави.

Вплив на процес:

- Порушення інтервалів крапельної подачі. Якщо проміжки між краплями стають нерівномірними, екстракція стає нестабільною – частина кави може бути недоекстрагована, а частина – переекстрагована. Це призводить до невідповідності смаковому профілю, навіть при тих самих початкових параметрах.
- Перевищення об'єму. У разі надлишкового потоку можливе переповнення збиральної ємності, що порушує роботу пристрою і створює небезпечну ситуацію для електроніки.
- Ризик повітряних пробок або коливання тиску. Різке зниження подачі або пульсації створюють вакуумні зони або турбулентність у каналі, що може негативно впливати на роботу датчика потоку

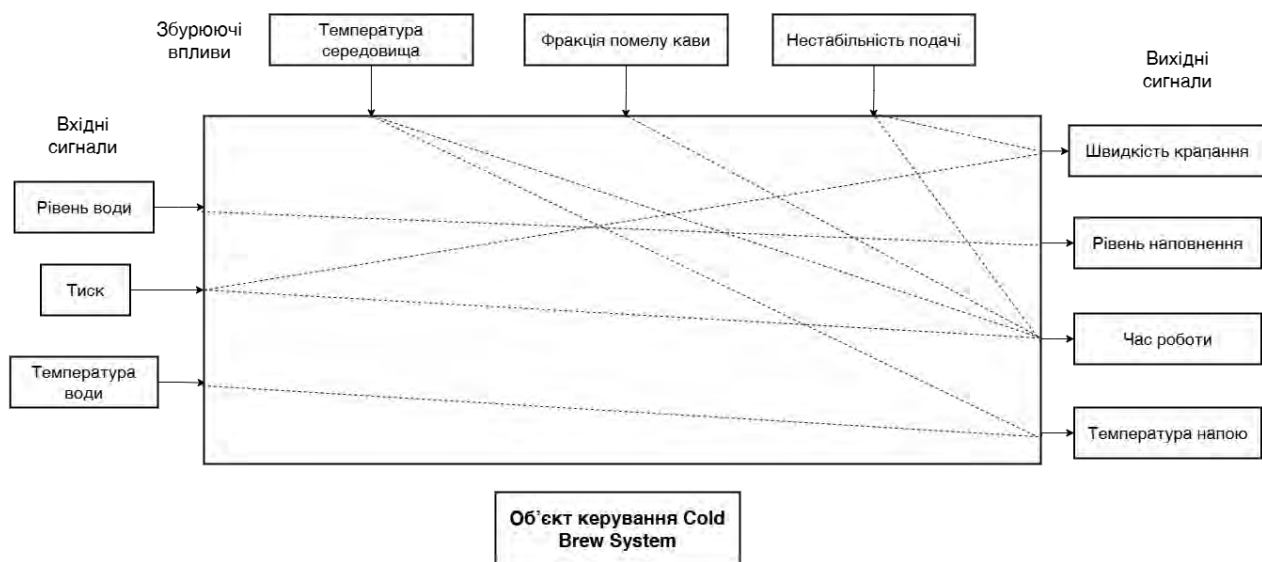


Рис. 2.2 Параметрична схема системи автоматизованого приготування кави холодного типу

Структурна схема (див рис. 2.2) демонструє логічну структуру системи керування процесом заварювання *cold brew*: взаємодію між користувачем, блоками керування, сенсорами та виконавчими елементами. Зупинимось і проглянемо детальний процес взаємодії різних параметрів і частин процесу приготування кави:

1. Користувач взаємодіє з пристроєм через блок індикації, який містить також елементи керування (кнопки чи джойстик). На інформаційній панелі можна обрати бажаний режим роботи, об'єм, інтервал крапель, час приготування. Варто зазначити, що в перспективі інтерфейс можна перевести у мобільний застосунок для більшої зручності та розширення можливості збору даних.
2. Блок керування (в нашому випадку *Arduino Uno* [4]) – «мозок» пристрою, обробляє отримані сигнали, формує команди для виконавчих елементів. Контролер також в ідеалі циклічно порівнює дані з датчиків і забезпечує зворотній зв'язок.

3. Сенсори → Блок зчитування

- Датчик потоку (YF-S201)
- Датчик температури (термопара чи подібний)
- Датчик тиску (опціонально)

Сенсори забезпечують зворотній зв'язок для корекції процесу. Важливо додати логіку фільтрації шуму та захисту від збоїв у показах.

4. Виконавчі пристрої

- Помпа 12В
- *MOSFET* для її керування
- Електроклапан (*NC*)

Клапан і помпа взаємодіють в залежності від сигналів керування. Програмно реалізується *PWM*-регулювання.

Програмний код написаний на C++ в середовищі *Arduino IDE* має реалізувати регулювання швидкості потоку води через *PWM*, зчитування даних з датчика потоку, температури, тиску, активацію електроклапана. Подальші дослідження

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

можуть включати розширення системи за рахунок *Bluetooth/Wi-Fi* модуля для мобільного керування, впровадження технологій машинного навчання для досягнення кращої чашки холодної кави кожен наступний раз, а також розширення асортименту обладнання для збирання даних.

Висновок:

Розроблені схеми демонструють вплив зовнішніх параметрів на якість cold brew та дозволяють візуалізувати логіку взаємодії між компонентами системи.

2.1 Принцип дії автоматизованої системи заварювання холодної кави

Система автоматизованого приготування кави холодного типу реалізує процес екстракції за методом slow drip — повільного протікання холодної води через шар мелених зерен. Принцип дії ґрунтується на безперервній подачі води крапля за краплею зі сталою швидкістю, що забезпечується за допомогою електронасоса та системи керування.

Вода з резервуара надходить до крапельного модуля через керований клапан або трубопровід із дозуванням, за роботу якого відповідає мікроконтролер. Швидкість подачі води контролюється датчиком потоку або іншим сенсорним модулем (наприклад, ваговим або ультразвуковим), який забезпечує зворотній зв'язок до контролера.

Після проходження через кавову гущу, екстракт потрапляє до приймального резервуара. Контролер відстежує час процесу, об'єм води та при необхідності регулює параметри подачі. Завдяки низькій температурі води (приблизно 5–20 °C) та повільному протіканню (2–6 год), забезпечується м'який смак, характерний для cold brew.

У системі реалізовано базові функції безпеки: автоматичне вимкнення у разі виявлення витіку, нестачі води або збоїв у живленні. Інтерфейс користувача

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

дозволяє запускати процес, контролювати параметри, отримувати повідомлення про завершення тощо.

Висновок:

Реалізований принцип дії системи дозволяє забезпечити контрольований процес повільного заварювання із можливістю зворотного зв'язку і безпеки.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Блок-схема алгоритму функціонування системи заварювання холодної кави

Для забезпечення стабільної роботи автоматизованої системи заварювання cold brew кави було розроблено логічну послідовність дій — алгоритм, що реалізується у вигляді програмного коду на платформі Arduino (див. рис 3.1). Алгоритм визначає поведінку системи від моменту запуску до завершення циклу приготування.

Надається за запитом

Рис 3.1 Блок схема системи автоматизованого приготування кави холодного типу

Основні етапи включають ініціалізацію контролера, перевірку наявності води та готовності ємності, зчитування параметрів, запуск подачі води, контроль потоку та умов завершення циклу. Також передбачено можливість очищення системи після завершення приготування.

Висновок:

Алгоритм дозволяє автоматизувати весь цикл приготування кави — від ініціалізації до завершення, підвищуючи надійність і зручність використання пристрою.

3.2 Інтерфейс користувача у пристрої для заварювання холодної кави

Під час розробки інтерфейсу користувача (див. рис. 3.2–3.4) головною задачею було розробити простий, зрозумілий інтуїтивно функціонал для забезпечення зручної взаємодії з системою приготування кави холодного типу. Його мета —

дати користувачеві доступ до налаштувань окремих функцій обладнання та отримання корисної інформації про процес та результати роботи пристрою.

У залежності від реалізації, інтерфейс може бути:

- Графічним (LCD-дисплей з кнопками чи сенсорною панеллю)
- Мобільним (через Bluetooth або Wi-Fi з'єднання з застосунком)
- Веб-інтерфейсом у локальній мережі (через ESP32/ESP8266)

Основні функції інтерфейсу:

- Вибір режиму заварювання (ручний/автоматичний)
- Встановлення бажаного об'єму води або часу екстракції
- Відображення поточного статусу (очікування, заварювання, завершено)
- Моніторинг параметрів (температура, час, рівень води*)
- Повідомлення про завершення процесу або помилки (низький рівень води, збій живлення)
- Кнопки: Пуск, Стоп, Скидання, Налаштування



Рис. 3.2 Інтерфейс управління користувачем – вкладка “Settings”
(налаштування)



Рис. 3.3 Інтерфейс управління користувачем – вкладка “Stats” (статистика)

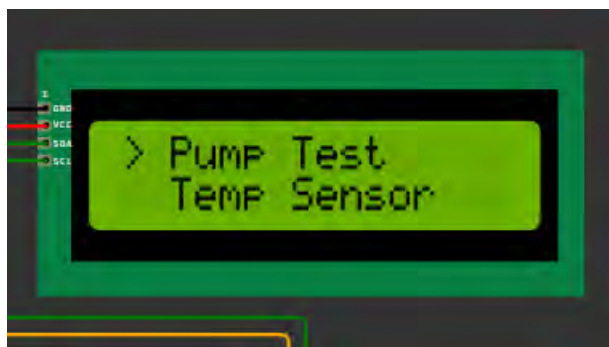


Рис. 3.4 Інтерфейс управління користувачем – вкладка “Test” (тестування)

Висновок:

Зручний інтерфейс забезпечує інтуїтивну взаємодію з користувачем, сприяє персоналізації налаштувань та підвищує зручність експлуатації системи.

3.3 Електрична схема пристроб заварювання холодної кави

Цей розділ описує електричну принципову схему пристрою, який реалізує контрольований процес заварювання кави холодного типу. Тут розглядається призначення базових використаних елементів, логіку їх взаємодії та принцип живлення.

Надається за запитом

Рис 3.5 Принципова електрична схема системи автоматизованого приготування кави холодного типу

На рисунку (рис. 3.1) наведено спрощену принципову електричну схему автоматизованої системи приготування кави холодного типу. Система побудована

на основі мікроконтролера Arduino UNO, до якого підключені компоненти інтерфейсу користувача, актуатори та стабілізатор живлення.

Живлення подається від зовнішнього джерела +12В DC (PS1). Напруга знижується до +5В за допомогою імпульсного стабілізатора LM2596 (U2), який забезпечує живлення Arduino, реле, LCD-дисплея та сенсорних елементів.

Користувацький інтерфейс реалізовано за допомогою LCD-дисплея 1602 I2C, підключеного до пінів A4 (SDA) і A5 (SCL), а також чотирьох кнопок (SW1–SW4), що відповідають за навігацію меню. Кнопки підключено до цифрових входів D2–D5 і використовуються у режимі INPUT_PULLUP.

Керування помпою здійснюється за допомогою модуля реле JQC-3FF-S-Z, до якого підключено саму DC-помпу (M1). Контакти реле COM і NO замикаються під дією сигналу з піну D8 Arduino, що подається на керуючий вхід реле (через COIL+ і COIL–). Це забезпечує вмикання помпи лише під час активного етапу заварювання.

Загалом схема забезпечує узгоджену роботу всіх компонентів і дозволяє реалізувати програмну логіку автоматичного процесу приготування кави з інтуїтивним інтерфейсом.

Основні компоненти розширеної схеми це:

- Мікроконтролер Arduino Uno — головний блок керування;
- Електронне реле (модуль) — для комутації помпи;
- DC-помпа 12 В — для подачі води;
- Датчик тиску або ваговий датчик (наприклад, HX711 + тензодатчик) — зворотний зв'язок щодо витрати рідини;
- Ультразвуковий датчик відстані — для контролю рівня води (альтернативний варіант);
- LCD-дисплей 2004 з інтерфейсом I2C — для виведення інформації користувачу;

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Джерело живлення 12 В — для живлення помпи;
- Лінійний стабілізатор або step-down перетворювач — для зниження напруги до 5 В для Arduino та датчиків (якщо потрібно).

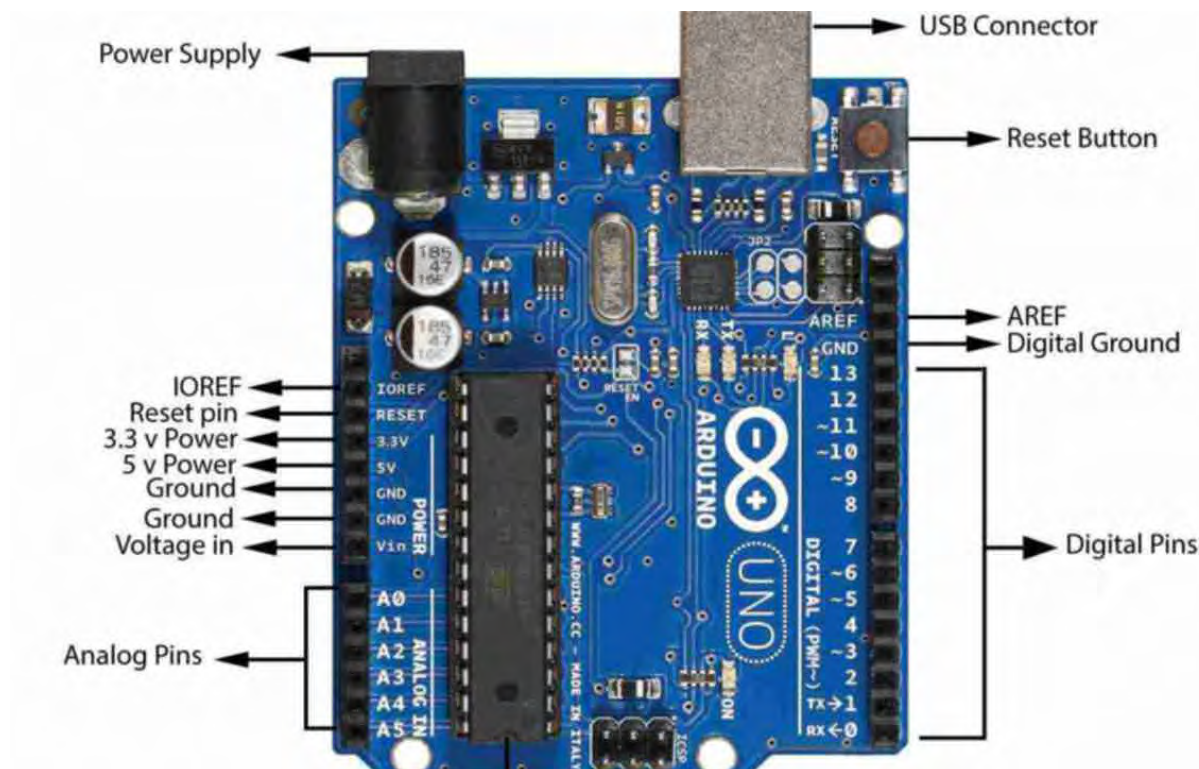


Рис 3.2 Основні елементи та виводи плати Arduino Uno

В різних конфігураціях може використовуватись різна компоновка, десь інший датчик чи інших контролер. У цій роботі наведено одна із простих реалізацій, яка базується на тих знаннях і досвіді який я отримав під час навчання . (Див. додаток Г)

Після подачі живлення мікроконтролер ініціалізує всі компоненти. Користувач може натиснути кнопку старту чи вибрати відповідну опцію в інтерфейсі для запуску циклу. Вода починає подаватись через помпу, керовану через реле. Датчик зворотного зв'язку визначає, коли достатньо рідини пройшло через каву.

У разі досягнення встановленого об'єму або часу — помпа вимикається. На дисплеї виводиться інформація про статус системи.

Висновок:

Розроблена електрична схема дозволяє реалізувати управління всіма елементами cold brew системи із дотриманням принципів безпеки та енергоефективності.

3.4 Розробка програмної частини пристрою заварювання холодної кави

Під час розробки програмної частини цього проєкту було використано мову програмування C++ і середовище розробки алгоритмів Arduino IDE.

Використані бібліотеки:

LiquidCrystal_I2C — для роботи з дисплеєм; HX711 — для роботи з тензодатчиком; Servo або NewPing — якщо використовується ультразвук; EEPROM (опціонально) — збереження параметрів. Цей список може розширюватись за необхідності включення додаткових функцій необхідних для кращої роботи системи.

Алгоритм роботи:

1. Ініціалізація всіх модулів.
2. Очікування запуску системи (кнопка або автоматично).
3. Включення помпи через реле.
4. Зчитування даних з HX711.
5. Відключення помпи після досягнення встановленого значення.
6. Виведення інформації на дисплей.
7. Опціонально — індикація завершення або помилки.

Структура коду:

setup() — ініціалізація пінів і модулів;

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

loop() — цикл керування та перевірки зворотного зв'язку;

окремі функції для: вимірювання, керування реле, оновлення дисплея. Описані функції реалізовані у програмному коді (див. додаток Д - Код написаний автором на базі стандартних бібліотек Arduino).

Особливості реалізації:

Краще встановити затримку між циклами вимірювань для стабільності. Також рекомендовано додати перевірку на мінімальний і максимальний обсяг для уникнення помилок. Реалізувати енергозберігаючий режим очікування.

Висновок:

Програмне забезпечення є гнучким і розширюваним, забезпечуючи стабільне функціонування cold brew системи та можливість інтеграції нових функцій.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА АНАЛІЗ РІШЕНЬ

4.1 Розрахункове обґрунтування системи заварювання холодної кави

Цей проєкт немає дуже ускладнених обчислень чи формул, проте, як і будь яка проста річ, підпорядковується базовим законам фізики. У зв'язку з цим наступні розрахунки будуть корисними для точного визначення значення того чи іншого параметру або його контролю.

Розрахунок об'єму води, необхідного для процесу заварювання за формулою (3.1)

$$V = Q * t \quad (3.1)$$

Де V – об'єм води, мл

Q – середній потік води через систему, мл/с

t – тривалість подачі води, с

Наприклад якщо помпа подає приблизно 2 мл/с, і процес триває 30 хв або 1800 с, то ми отримаємо приблизно 3600 мл кавової речовини.

Розрахунок необхідного часу подачі води можна визначити за формулою (3.2) який впливає з формули [3.1].

$$t = \frac{V}{Q} \quad (3.2)$$

Де V – об'єм води, мл

Q – середній потік води через систему, мл/с

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

t – тривалість подачі води, с

Енергоспоживання помпи розраховується за формулою (3.3)

$$P = U * I ; E = P * t \quad (3.3)$$

Де P – потужність, мЛ

U –напруга живлення, В

t – час, год

I – споживання струму, А

Підрахунок кількості крапель приблизно розраховується за формулою (3.4)

$$N = \frac{V}{V_{\text{краплі}}} \quad (3.4)$$

Де V – об'єм води, мЛ

$V_{\text{краплі}} \approx 0,05$ мЛ

Продуктивність системи розраховується за формулою (3.5)

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P = \frac{V}{T} \quad (3.5)$$

Де V – об'єм води, мл

T – час, с

Висновок:

Прості розрахунки, виконані для системи, доводять можливість точного дозування та прогнозованої роботи cold brew пристрою з урахуванням реальних умов.

4.2 Техніко-економічне обґрунтування

Створення автоматизованої системи приготування кави холодного типу має на меті не лише забезпечити покращення якості й стабільності процесу екстракції, а й довести доцільність її застосування з погляду вартості, економії ресурсів та адаптації в побутових чи комерційних умовах.

У цьому підрозділі буде проаналізовано орієнтовну собівартість реалізації системи, її економічні переваги порівняно з аналогами, енергоспоживання та окупність у разі розгортання як малосерійного або саморобного продукту.

Таблиця 4.1

Орієнтовна собівартість виробництва

№	Найменування	Кількість	Ціна за одиницю (грн)	Сума (грн)
---	--------------	-----------	--------------------------	---------------

1	Arduino Nano / Uno	1	300	300
2	Помпа 12В	1	250	250
3	Реле модуль	1	60	60
4	Датчик температури / рівня води	2	100	200
5	OLED дисплей	1	150	150
6	Живлення (адаптер 12В)	1	100	100
7	Корпус, трубки, фітинги	—	~400	400
	Разом:			1460 грн

Варто врахувати, що витрати можуть змінюватися залежно від постачальника компонентів та масштабу виробництва.

Порівняння з ринковими аналогами:

На сьогодні більшість cold brew-кавоварок є ручними пристроями преміального сегменту, або частиною професійного обладнання. Їх вартість коливається від 4000 до 15000 грн залежно від бренду та функціональності.

Пропонована система дозволяє автоматизувати процес приготування з меншими витратами, що робить її вигідним варіантом для ентузіастів, малих кав'ярень або мобільних рішень (офіс, кафе, дім).

Енергоспоживання та ефективність:

Система живиться від джерела постійного струму 12В. Помпа споживає близько 3,6 Вт, а середній час заварювання — близько 3 годин.

$$E = P * t = 3,6 * 12 = 43,2 \text{ Вт}\backslash\text{год}$$

Для порівняння: звичайна електрична кавоварка споживає в середньому 600–1000 Вт приготуванням за 5–10 хв. Це робить запропоновану cold brew-систему набагато енергоефективнішою.

Вартість порції cold brew

Розуміння цінності однієї чашки напою може зіграти дуже значну роль як для потенційних інвесторів, так і для самого розробника. При витратах на 1 л води та ~70 г кави (приблизно 35 грн у випадку опту), вихід складає ~4 порції (по 250 мл). Отже одна чашка має собівартість $35/4 = 8,75$ грн.

У випадку покупки спеціальної кави малими порціями

У порівнянні з комерційною ціною ~90 грн за cold brew у кав'ярні, вартість самостійного приготування з використанням цієї системи в понад 10 разів нижча.

Варто зазначити що ця ціна враховує лише каву, і до цієї цифри ще додається вартість води, тари, обладнання, електроенергії, обслуговування.

Висновок:

Проведеного аналізу показав, що автоматизована система приготування cold brew-кави є економічно доцільною, бюджетною у реалізації та перспективною в умовах побутового або малого комерційного використання. Висока енергоефективність, низька собівартість та простота використання роблять цю систему конкурентоспроможною порівняно з ринковими аналогами, особливо в сегменті DIY або нішевих продуктів.

4.3 Аналіз ризиків

Проектування та впровадження автоматизованої системи передбачає врахування низки потенційних ризиків, пов'язаних як з технічними, так і з експлуатаційними аспектами. Метою даного підрозділу є виявлення можливих проблемних ситуацій під час використання системи, їх класифікація та пошук способів мінімізації.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Класифікація ризиків

Категорія ризику	Можливі прояви
Технічні	Відмова електроніки, збій живлення, перегрів
Фізичні/механічні	Пошкодження корпусу, протікання, засмічення
Електробезпека	Коротке замикання, перевантаження, неправильне заземлення
Програмні	Зависання мікроконтролера, помилки алгоритму
Користувацькі	Некоректне керування, відсутність інструкції
Експлуатаційні	Знос компонентів, розгерметизація, забруднення

Оцінка ймовірності та наслідків ризиків

Ризик	Ймовірність	Наслідки	Рівень ризику
Відмова живлення	Середня	Зупинка процесу	Середній
Витік води через помпу або з'єднання	Низька	Пошкодження плати	Середній
Некоректне введення параметрів	Висока	Помилкова робота	Середній
Зависання прошивки або таймера	Середня	Невірний цикл	Середній
Пошкодження дисплея чи кнопок	Низька	Неможливість керування	Низький
Перевищення допустимого струму	Низька	Вихід з ладу	Високий

Для зменшення ймовірності критичних відмов у роботі системи доцільно застосувати низку інженерних і програмних рішень. Зокрема:

- Для вирішення проблеми можливої відмови живлення доцільно передбачити стабілізатор напруги або інші засоби захисту ланцюгів живлення.
- Щоб запобігти витоку води, необхідно використовувати герметичні з'єднання та ретельно тестувати якість збирання конструкції.
- Для уникнення некоректного керування слід додати інструкцію користувача та покращити інтерфейс завдяки підтвердженням дій.
- У разі програмних збоїв варто реалізувати перевірки прошивки та передбачити кнопку скидання (reset).
- Електричні перевантаження можна мінімізувати за допомогою захисних діодів і запобіжників.
- Проблему зносу компонентів вирішує забезпечення модульності конструкції та доступність змінних запчастин для домашнього ремонту.

Аналіз ризиків продемонстрував, що система має потенційні загрози, але всі вони піддаються контролю. Застосування базових заходів безпеки дозволяє істотно зменшити ймовірність критичних збоїв та забезпечити стабільну, безпечну й довговічну експлуатацію автоматизованої системи приготування cold brew.

4.4 Вибір оптимального варіанту рішення

Прийшла черга обґрунтувати вибір обраної структури системи з-поміж можливих варіантів, порівнявши їх за критеріями і характеристиками енергоефективності, вартості, надійності, простоти реалізації та масштабності.

Таблиця 4.4

Порівняння можливих варіантів реалізації

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

№	Варіант	Контролер	Подача води	Зворотний зв'язок	Особливості
1	Basic pump timer	таймер реле	без сенсорів	немає	Найпростіший, але без контролю точності
2	Arduino + таймер	Arduino Uno	через реле	час	Мінімальний контроль, без ваги
3	Arduino + тензодатчик	Arduino Uno	через реле	ваговий датчик (HX711)	Найточніший і гнучкий варіант
4	ESP32 + датчики + Wi-Fi	ESP32	транзисторне керування	тиск/об'єм + інтернет	Надлишковий функціонал, ускладнена реалізація

Найкращим компромісом між точністю, простотою та вартістю є третій варіант, що базується на Arduino Uno з модулем реле та тензодатчиком HX711. Цей підхід дозволяє точно дозувати кількість води, забезпечити контроль зворотного зв'язку та залишити систему відкритою до розширення (наприклад, додавання кнопок, індикаторів, Bluetooth-модуля тощо).

Обране рішення забезпечує автоматизацію процесу, точність контролю, адаптивність та простоту у використанні, що повністю відповідає поставленій меті і завданню.

4.5 Перспективи розвитку

У межах подальшого розвитку автоматизованої системи приготування cold brew можливе впровадження низки технічних та функціональних покращень. Серед основних напрямів:

По-перше, система може бути доповнена інтерфейсом для налаштування параметрів заварювання, зокрема — часу подачі води, бажаного об'єму та темпу крапель. Це дозволить користувачу персоналізувати процес відповідно до власних смакових уподобань.

По-друге, перспективним є впровадження модулів бездротового зв'язку (Wi-Fi або Bluetooth), що забезпечить віддалене керування пристроєм, моніторинг статусу, або навіть інтеграцію з мобільним застосунком. Це розширює потенціал комерційного використання у кав'ярнях чи офісах.

Також доцільно розглянути можливість встановлення додаткових датчиків — температури, тиску, вібрацій тощо — для підвищення точності та контролю. Наприклад, аналіз зміни температури води дозволив би реалізувати функцію «flash brewing».

Крім того, для підвищення ергономіки пристрою можна впровадити сенсорну або фізичну панель керування, світлову індикацію, звукові сигнали тощо. Такі вдосконалення зроблять пристрій зручнішим у користуванні.

З технічного боку можливо також перейти до більш потужного мікроконтролера з більшим обсягом пам'яті та обчислювальних можливостей — наприклад, ESP32 — що відкриває шлях до розширеної логіки роботи та штучного інтелекту (AI-базованих рекомендацій або автоналаштування).

ВИСНОВКИ

У ході виконання цієї дипломної роботи було розроблено автоматизовану систему керування процесом заварювання кави холодного типу (cold brew). За методом повільного крапання (slow drip brew). Метою роботи було створити доступний та надійний технологічний варіант, що дозволяє підвищити стабільність, зручність і ефективність процесу заварювання холодною водою. У процесі виконання роботи було проаналізовано історичний розвиток технології cold brew та її популярність серед сучасних споживачів. Було виявлено, що традиційні методи заварювання мають обмеження щодо точності, зручності та автоматизації, що створює вікно для нових технічних рішень.

Було проведено огляд існуючих аналогів, визначено їх сильні й слабкі сторони. На основі аналізу розроблено схему системи, яка враховує необхідність стабільного живлення, захисту компонентів та забезпечення зворотного зв'язку.

Апаратна частина реалізована на базі мікроконтролера Arduino Uno з підключенням модуля реле, тензометричного датчика HX711, дисплея та помпи. Програмне забезпечення системи дозволяє автоматизувати процес заварювання, контролюючи його за допомогою зворотного зв'язку і відображаючи статус на екрані.

Також було розглянуто кілька альтернативних варіантів побудови системи. На основі багатокритеріального аналізу обрано оптимальну конфігурацію, яка поєднує точність, простоту реалізації та доступну вартість.

Система яка пропонується в цій роботі поєднує побутову зручність використання, а також має потенціал для використання в малих бізнесах та офісах. Це база для подальшого вдосконалення і розробки комерційних рішень.

					ПМ11.210302.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] «Колд Брю - все що потрібно знати про цей напій,» [Онлайновий]. Available: <https://folks.com.ua/cold-brew/>.
- [2] «Мазагран - перший в історії холодний коктейль із кави,» [Онлайновий]. Available: https://parakava.ua/ua/blog/mazahran_pershyy_v_istoriyi_kholodnyy_kokteyl_iz_kavy.
- [3] «<https://sipgooddaycoffee.com>,» [Онлайновий]. Available: <https://sipgooddaycoffee.com/blogs/news/brewing-up-some-cool-history-the-cold-brew-chronicles>.
- [4] «<https://www.gusdeancoffee.com>,» [Онлайновий]. Available: <https://www.gusdeancoffee.com/post/history-of-cold-brew>.
- [5] A. Foxwell, «www.tankcoffee.com,» 06 09 2024. [Онлайновий]. Available: <https://www.tankcoffee.com/kyoto-cold-brew-coffee>.
- [6] «kahvebi.com,» [Онлайновий]. Available: <https://kahvebi.com/en/blogs/news/hollanda-kahvesi-nedir-dutch-coffee>.
- [7] S. Jampel, «<https://www.bonappetit.com>,» 30 05 2020. [Онлайновий]. Available: https://www.bonappetit.com/story/make-ice-brew-not-cold-brew?srsltid=AfmBOoqXVhntDjI_FIirjCb8fv9t4woa0JHvC_zH54ukM1kNg5aOfQiQ.
- [8] «torque.coffee,» 11 07 2024. [Онлайновий]. Available: https://torque.coffee/blogs/brew-guides/the-chemistry-of-brewing-cold-brew-coffee-a-deep-dive?srsltid=AfmBOoo1ld_JRYTAJkJ6pXJNXIOR-QBS6jBxhPzaHn6kmC9fPoRH9KId&.
- [9] M. Alves-Hill, «hardtak.com,» [Онлайновий]. Available: <https://hardtank.com/2025/05/06/science-of-cold-brew-extraction>.
- [10] 30 01 2019. [Онлайновий]. Available: <https://coffeeadastra.com/2019/01/29/the-dynamics-of-coffee-extraction/>.
- [11] «<https://bluehousecoffee.com>,» [Онлайновий]. Available: <https://bluehousecoffee.com/learn/the-science-of-cold-brew>.

- [12] «oddlycorrect.com,» [Онлайновий]. Available: <https://oddlycorrect.com/hario-mizudashi-cold-brew-pot-review/>.
- [13] Driver, 09 11 2021. [Онлайновий]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/driver-cold-drip/driver-cold-drip-coffee-maker>.
- [14] [Онлайновий]. Available: https://www.kickstarter.com/projects/brezi/brezi-espresso-like-cold-brew-coffee-maker?ref=discovery&term=bre%3Azi&total_hits=43&category_id=52.
- [15] [Онлайновий]. Available: <https://hivecoldbrewcoffee.com>.
- [16] [Онлайновий]. Available: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/cold-brew-coffee-global-market-report?>.
- [17] [Онлайновий]. Available: https://weaverscoffee.com/blogs/blog/2025-coffee-trends-how-the-coffee-industry-is-evolving?srsltid=AfmBOoql_KML6cY22RCot_85ST0d6pX7aAWMhZ7HSPBAV68v62NvWU13.
- [18] Г. І. Кучинський І.М., «Автоматизована система керування процесом заварювання кави холодного типу,» в *XXIV Міжнародна науково-технічна конференція “Приладобудування: стан і перспективи”*, Київ, 2025.

