

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Автоматизація дозування рідин в автоматизованій камері для хімічної обробки
деталей отриманих за допомогою 3D друку

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-21-1
Журавель І. В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньої програми Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи

(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-
професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Андрусевич А. О.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

Невлюдов І. Ш.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2022 р.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

19 грудня 2022 р.

Журавель І. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Журавлю Івану Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація дозування рідин в автоматизованій камері для хімічної обробки деталей отриманих за допомогою 3D друку
затверджена наказом по університету від 07.11. 2022 р. № 1462 Ст.
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 23.12.2022 р.
3. Вихідні дані до роботи _____
- 3.1 Номінальна напруга насоса 12 В
- 3.2 Потік рідини від 0,1 л/хв до 0.2 л/хв
- 3.3 Шорсткість поверхні деталі після постобробки від 10 мкм до 20 мкм
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
- 4.1 Вступ
- 4.2 Провести аналіз існуючих методів дозування рідин
- 4.3 Розробити стратегію проведення експериментального дослідження
- 4.4 Провести модернізацію приладу
- 4.5 Провести експериментальні дослідження постобробки деталей
- 4.6 Провести модернізацію роботи програми
- 4.7 Висновки
- 4.8 Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 13 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	01.09.22 – 05.09.22	виконано
2	Аналіз методів дозування	06.09.22 – 11.09.22	виконано
3	Розробка стратегії проведення експериментального дослідження	12.09.22 – 14.09.22	виконано
4	Модернізація приладу	15.09.22 – 07.10.22	виконано
5	Проведення експериментальних досліджень	08.10.22 – 30.11.22	виконано
6	Модернізація роботи програми	01.12.22 – 06.12.22	виконано
7	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichек	15.12.22 – 17.12.22	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	18.12.22 – 20.12.22	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	21.12.22 – 22.12.22	виконано
10	Подання атестаційної роботи в ЕК	23.12.22	виконано

Дата видачі завдання 07.10.2022

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Журавель І. В.

(прізвище, ініціали)

проф. Андрусевич А. О.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 98 с., 50 рис., 15 таблиць, 2 додатка, 33 джерел посилань.

ПОСТОБРОБКА ПЛАСТМАС, МЕТОДИ ДОЗУВАННЯ РІДИН, ПРИСТРІЙ ХІМІЧНОЇ ПОСТОБРОБКИ, ПРИНЦИПОВА СХЕМА, ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ, НАПИСАННЯ ПРОГРАМИ.

Мета роботи – автоматизувати процес дозування рідин в автоматизованій камері для хімічної обробки деталей отриманих за допомогою 3D друку.

Об'єкт дослідження – процес хімічної постобробки пластику.

Предмет дослідження – автоматизована камера для хімічної постобробки деталей.

Методи дослідження – методи групування, кореляційний аналіз, ряди динаміки, методи емпіричного дослідження, спостереження, порівняння, експеримент, прогнозування, метод функціонально-вартісного аналізу.

Проаналізовано методи дозування рідин. Розроблено постановку задачі дослідження.

Розроблено стратегію проведення експериментального дослідження. Проведено модернізацію приладу.

Розроблено схему підключення електронних компонентів та алгоритм роботи макету. Розроблено схему виконання експерименту.

Проведено експериментальні дослідження обробки деталей.

Розглянуто питання охорони праці.

Розроблено програму для роботи макету.

ABSTRACT

Explanatory note: 98 p., 50 pict., 15 tables, 2 adj., 33 sources.

PLASTIC POST-PROCESSING, LIQUID DOSING METHODS,
CHEMICAL POST-PROCESSING DEVICE, PRINCIPAL DIAGRAM,
EXPERIMENTS, PROGRAM WRITING.

The purpose of the work is to automate the process of dispensing liquids in an automated chamber for chemical processing of parts obtained by 3D printing.

The object of research is the process of chemical post-treatment of plastic.

The subject of research is an automated camera for chemical post-processing of parts.

Research methods - grouping methods, correlation analysis, series of dynamics, methods of empirical research, observation, comparison, experiment, forecasting, method of functional-value analysis.

Liquid dosing methods were analyzed. The formulation of the research problem has been developed.

A strategy for conducting experimental research has been developed. The device has been modernized.

A circuit diagram for connecting electronic components and a layout algorithm have been developed. The scheme of the experiment was developed.

Experimental experiments on the processing of details were carried out.

The issue of labor protection was considered.

A program has been developed for working with the layout.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	10
Вступ.....	11
1 Аналіз існуючих методів дозування рідин	13
1.1 Дозування рідини ацетонової лазні	13
1.2 Методи дозування рідини	14
1.2.1 Постійне та квазіпостійне дозування.....	14
1.2.2 Дозування порціями.....	15
1.2.3 Пропорційне дозування	16
1.2.4 Дозування в системах зі зворотним зв'язком.....	17
1.2.5 Вагове дозування.....	18
1.2.6 Дозування за часом	19
1.2.7 Дозування за обсягом	20
1.2.8 Дозування за рівнем.....	20
1.2.9 Комбіноване дозування	21
1.2.10 Мембранний дозатор	22
1.2.11 Поплавковий дозатор.....	23
1.3 Постановка задачі дослідження	23
1.4 Висновки до першого розділу	24
2 Стратегія проведення експериментального дослідження.....	25
2.1 Розробка стратегії експерименту	25
2.2 Прилади	25
2.3 Модернізація приладу	27
2.3.1 Блок-схема управління автоматизованою камерою	27
2.3.2 Модернізація конструкції приладу	28
2.3.3 Мембранний насос постійного струму	29
2.3.4 Перистальтичний насос постійного струму	32
2.3.5 Модернізація електричної схеми.....	34

2.4	Послідовність виконання експерименту	35
2.5	Висновки до другого розділу	37
3	Експериментальні дослідження обробки деталей	38
3.1	Експеримент	38
3.2	Експеримент з простою деталлю	39
3.2.1	Експеримент з простою деталлю за 30 хв	39
3.2.2	Експеримент з простою деталлю за 1 год.....	41
3.2.3	Експеримент з простою деталлю за 2 год.....	44
3.3	Експеримент з середньою деталлю	47
3.3.1	Експеримент з середньою деталлю за 30 хв.....	47
3.3.2	Експеримент з середньою деталлю за 1 год.....	50
3.3.3	Експеримент з середньою деталлю за 2 год.....	52
3.4	Експеримент з складною деталлю	55
3.4.1	Експеримент з складною деталлю за 30 хв	55
3.4.2	Експеримент з складною деталлю за 1 год	58
3.4.3	Експеримент з складною деталлю за 2 год	61
3.5	Підтвердження експерименту	64
3.5.1	Підтвердження експерименту простої деталі	64
3.5.2	Підтвердження експерименту середньої деталі.....	67
3.5.3	Підтвердження експерименту складної деталі	69
3.6	Техніка безпеки.....	73
3.6.1	Техніка безпеки при роботі з ацетоном	73
3.6.2	Вентиляція приміщень.....	74
3.7	Висновки до третього розділу	74
4	Модернізація роботи програми.....	78
4.1	Модернізація програми	78
4.2	Висновки до четвертого розділу	85

Висновки	86
Перелік джерел посилання	87
Додаток А Лістинг програми	90
Додаток Б Демонстраційний матеріал	99
Додаток В Відомість кваліфікаційної роботи	114

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БТ – барботажна трубка

ТЗ – технічне завдання

МОР – мастильно-охолоджуюча рідина

ABS – acrylonitrile butadiene styrene

LCD – liquidCrystal display

PLA – polylactic acid

SCL – clock line

SDA – data line

TWI – two-wire interface

ВСТУП

Технологія 3D друку була запатентована в 80-х роках минулого століття, але популярність здобула відносно недавно. Були розроблені нові, перспективні методики і можливості 3D-технологій вийшли на абсолютно новий рівень. В теперішній час 3D друк використовується в аерокосмічній та автомобільній промисловості. Також існують харчові 3D принтери, та медичні.

Після друку на готовій деталі добре видно сліди пошарового наплавлення пластику. Тому після друку деталь піддається обробці, щоб мати гарний зовнішній вигляд.

Існує кілька поширених способів обробки:

- ошкурювання вручну. Досить кропіткий метод, що вимагає витрат сил і часу;
- обробка пензлем за допомогою розчинників (ацетон, дихлоретан);
- обробка парами ацетону та дихлоретану;
- поліровка розчинниками вручну.

Обробка парами розчинників повинна проводитися в приміщенні, що добре провітрюється, оскільки випари токсичні. Тим не менш, цей метод демонструє найкращі результати якості оброблених виробів, які пропонує FDM 3D друк. Об'єкт розміщується на нерозчинній платформі у герметичній ємності. В посудину наливається розчинник так, щоб він не торкався об'єкта. Потім посудина нагрівається, у результаті відбувається випаровування розчинника. Важливо: у жодному разі не нагрівати сильно, максимально допустима температура – 57 °C.

Мета кваліфікаційної роботи – автоматизувати процес дозування рідин в автоматизованій камері для хімічної обробки деталей отриманих за допомогою 3D друку.

Об'єкт дослідження – процес хімічної постобробки пластику.

Предмет дослідження – автоматизована камера для хімічної постобробки деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів дозування рідин;
- розробити постановку задачі дослідження;
- розробити стратегію проведення експериментального дослідження;
- провести модернізацію приладу;
- провести експериментальні дослідження обробки деталей;
- провести підтвердження експерименту;
- провести модернізацію програмного забезпечення;
- оформити пояснювальну записку згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015 [1] та рекомендаціями [2-3].

Написано доповідь на тему «Аналіз методів дозування рідин для ацетонової лазні» [4].

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ДОЗУВАННЯ РІДИН

У світі існує багато способів дозування рідин: за вагою, порціями, пропорційне дозування та інші. Кожен спосіб використовується у різних сферах діяльності, виробничих чи технологічних процесах, дозування рідин в аптеках тощо.

Дозатори рідини, вживані в різних технологічних установках, знаходяться під впливом різноманітних факторів, що залежать як від дозованої рідини, так і від зовнішнього середовища в місці установки дозатора. Значний вплив на вибір типу конструктивне оформлення дозатора надають властивості і стан дозованої рідини. Найважливішими з цих факторів є температура, агресивність, абразивність, консистенція, вогнебезпечність і токсичність. Великий вплив на конструкцію надає також необхідний перепад тисків і абсолютне значення тиску в апараті, в якому проводиться дозування.

1.1 Дозування рідини ацетонової лазні

З появою 3D друку виникає потреба в обробці деталей. Але ручна обробка не ефективна, тому що негативно впливає на якість постобробки [4].

Якщо обробляти деталь за допомогою пензлика, є ймовірність пошкодження поверхні деталі.

Обробка за допомогою занурення деталі в ацетон має більший ризик, що шари пластику пошкодяться та за рахунок цього деталь може втратити свою форму.

Існує обробка за допомогою дрібнодисперсного розпилювача, але при цьому способі можуть бути краплі ацетону, що може привести до зміни форми деталі або частковому її пошкодженню.

За рахунок автоматизації процесу дозування в ацетоновій лазні дозволяє позбавитися більшості недоліків.

В той же час постає проблема яким чином проводити дозування, тому що необхідно дотримання точності дозування та герметичності процесу постобробки.

Саме тому необхідно провести аналіз методів дозування рідин.

1.2 Методи дозування рідини

1.2.1 Постійне та квазіпостійне дозування

Виробничі процеси, які мають справу з безперервним виготовленням або обробкою чогось в основному вимагають постійного додавання різних хімічних речовин, таких як кислоти, луги, барвники, ароматичні речовини, флокулянти.

Рідкісні та дуже дорогі моделі дозувальних насосів можуть подавати рідину дійсно безперервно [5]. Більшість стандартних насосів дозування можуть подавати речовини не безперервно, а порціями. У межах секунди подача рідини показує значні коливання. Однак ці коливання однорідні і рівномірні і тому протягом тривалого періоду часу середня подача рідини дозувальним насосом прагне константи. Для тих процесів, де час виробництва (обробки) об'єкта триває від кількох хвилин до кількох годин, зміна подачі реагенту насосом дозування в межах секунди не має ніякого значення.

На рисунку 1.1 приведений приклад постійного та квазіпостійного дозування. Тут показано 3 варіанти подачі реагенту. Зліва показано постійне дозування з безперервною швидкістю. По центру та праворуч показана подача рідини порціями (осцильована подача). Імпульси у варіанті "по центру" мають форму прямокутника. Імпульси у варіанті "праворуч" мають синусоїдальну форму. Якщо період дозування відносно великий (одна хвилина і більше), всі 3 методи подачі є рівноцінними. Однак для невеликих періодів дозування (кілька секунд і менше) допустима лише подача реагенту в безперервному режимі (варіант "ліворуч").

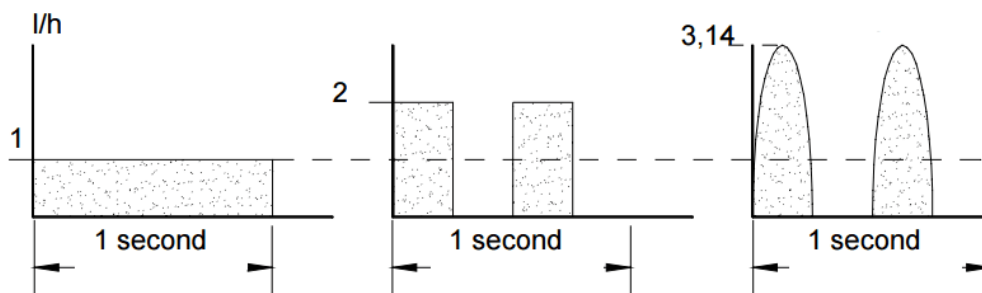


Рисунок 1.1 – Постійне та квазіпостійне дозування

1.2.2 Дозування порціями

При порційному дозуванні завдання полягає в тому, щоб відміряти заданий обсяг реагенту та додати його до вихідної речовини. Для цього дозуючий насос зазвичай працює протягом заданого періоду часу (наприклад, за таймером) або виконує заздалегідь задану кількість робочих тактів. Інша можливість полягає в тому, щоб заповнити бак вихідною речовиною до необхідного рівня, а потім додати певну кількість реагенту. Якщо реагент має бути подано в систему під тиском, відкритий бак не підходить для цього завдання. Натомість слід вибрати дозуючий пристрій, здатний подати реагент у систему незалежно від протитиску.

Приклад дозування порціями показаний на рисунку 1.2.

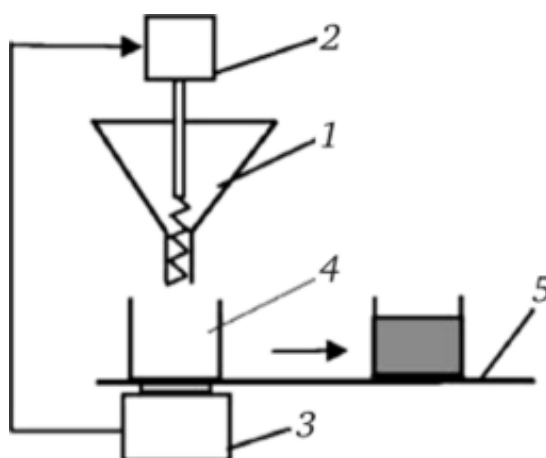


Рисунок 1.2 – Дозування порціями [6]

При автоматичному режимі роботи тара 4 подається на вагову платформу транспортером 5. Після того, як тара встановлена на вагову платформу, включається привід 2 живильника об'ємного принципу дії 1. При досягненні необхідної ваги матеріалу з вагової платформи 3 подається керуючий сигнал відключення приводу 2. Зменшення динамічних навантажень на вагову платформу від падаючого матеріалу використовують двошвидкісний режим роботи живильника. На першій стадії живильник працює з досить великою продуктивністю. Після того, як вага матеріалу досягає 90-95% від заданого значення, суттєво (приблизно в 10 разів) зменшують продуктивність живильника. Цей технологічний прийом дозволяє підвищити точність дозування, але значно зменшує продуктивність дозатора.

1.2.3 Пропорційне дозування

Пропорційне дозування може застосовуватись у двох типах систем:

- якщо потік основної речовини може змінюватися протягом часу, то подача реагенту теж повинна пропорційно змінюватися. Це робиться за допомогою сигналу, що управляє. Хімічна речовина подається в інше середовище таким чином, щоб співвідношення обсягів обох речовин постійно було постійним;
- також пропорційне дозування правильно застосовувати у системах із високою інерцією. Якщо між упорскуванням реагенту та реакцією проходить досить тривалий час (наприклад, через велику довжину трубок подачі реагенту), то системи, засновані на зворотному зв'язку (наприклад, з рН-датчиками і автоматичними контролерами) будуть помилятися в подачі реагенту. Як результат подача реагенту буде весь час або трохи надмірною або трохи недостатньою.

На рисунку 1.3 приведений приклад пропорційного дозування. Насос дозування отримує сигнал від витратоміра і завжди видає в лінію подачі води кількість реагенту пропорційно потоку води.

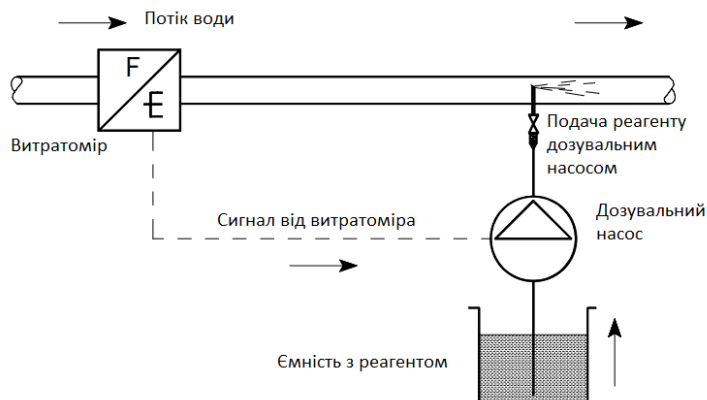


Рисунок 1.3 – Схема пристрою системи пропорційного дозування.

1.2.4 Дозування в системах зі зворотним зв'язком

Щоб отримати воду або іншу рідину із заданими характеристиками, може знадобитися додати різну кількість реагенту для одного і того ж об'єму води. У такому випадку пропорційне дозування не підходить для правильного результату.

Якщо властивості води на вході в систему постійно змінюються, система дозування повинна безперервно аналізувати якість води, щоб визначити кількість реагенту для додавання.

На рисунку 1.4 приведений приклад дозування в системах зі зворотнім зв'язком. Датчик передає інформацію про поточний склад води на контролер. Контролер, своєю чергою, змінює тактову частоту роботи насоса чи довжину ходу пістона, щоб подати необхідну кількість реагенту воду.

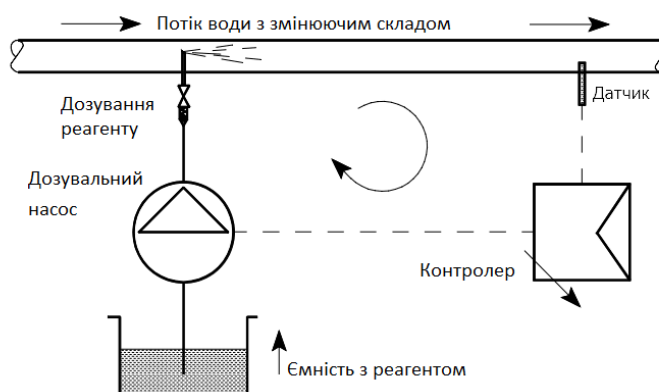


Рисунок 1.4 – Дозування в системах зі зворотнім зв'язком.

1.2.5 Вагове дозування

Ваговий дозатор – це пристрій, призначений для автоматичного дозування необхідної маси або обсягу сипучих твердих матеріалів, паст, рідин або газів.

Вагове дозування полягає у відмірюванні дозатором заданої дози продукту за вагою за допомогою важільних, пружинних, електротензометричних, індукційних, гідравлічних або інших вагових механізмів та фасування її в тару [7].

Для багатьох технологічних процесів важливо додавати реагент для не одиницю обсягу, але в одиницю маси. Однак біда в тому, що виміряти обсяг (витрата) речовини набагато простіше, ніж масу. Для середовищ, де співвідношення маси та обсягу постійно, використовують саме об'ємне дозування (наприклад, пропорційний метод дозування), адже його найпростіше реалізувати.

Таке постійне співвідношення маси та обсягу характерне для рідин.

При обробці сипких матеріалів їхня щільність може змінюватися. Відповідно змінюється і маса розрахунку одиницю обсягу. Об'ємне дозування у такому разі не підходить. У цьому випадку необхідно зважувати кожен окрему партію речовини та додавати до неї певну кількість реагенту.

Приклад вагового дозування приведений на рисунку 1.5.

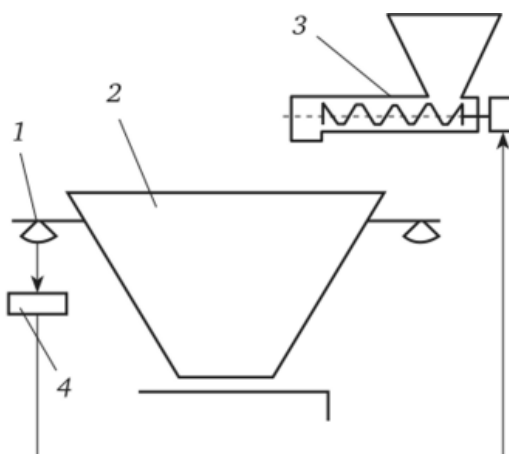


Рисунок 1.5 – Вагове дозування [8]

У ємність, встановлену на ваговимірювальній платформі 2, за допомогою живильника 3 подається сипкий матеріал. Сигнал з датчика ваги подається на контролер 4 і порівнюється із заданою величиною. Коли вага сипучого матеріалу, що знаходиться в ємності 1, досягне необхідного значення, контролер 4 подає керуючий сигнал приводу живильника 3 і подача матеріалу припиняється. Порція матеріалу вивантажується з ємності 1 і повторюється операція зважування.

1.2.6 Дозування за часом

Дозування за часом полягає у відмірюванні необхідної кількості продукту за тривалістю його безперервної подачі із заданою продуктивністю у великогабаритну тару або безпосередньо транспортний засіб. При цьому рівномірний безперервний потік продукції, що завантажується в таких дозаторах, створюють відповідні вагові або об'ємні живильники (стрічкові, барабанні, насосні, тарілчасті, шнекові, вібраційні, аераційні та інші) [9].

1.2.7 Дозування за обсягом

При дозуванні за обсягом дозатор відмірює за допомогою мірної ємності, насоса, що дозує, і витратного лічильника, шнекового або іншого мірного механізму дозу продукту певного об'єму і фасує її в тару [10].

1.2.8 Дозування за рівнем

Дозування за рівнем полягає в тому, що тара будь-якої місткості заповнюється дозатором до заданого рівня, що контролюється відповідним пристроєм (датчиком). При цьому точність дозування визначається ідентичністю обсягів стандартної тари, що наповнюється, і досконалістю датчиків, що контролюють заданий рівень наповнення [11].

Приклад дозування за рівнем приведений на рисунку 1.6.

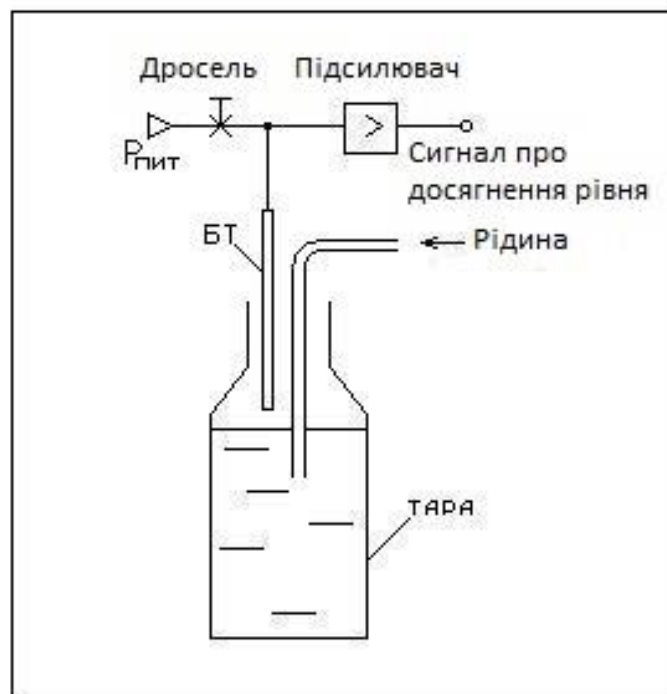


Рисунок 1.6 – Дозування за рівнем

В якості датчику рівня використовується так звана барботажна трубка (БТ) [12]. Барботажна трубка утворює разом з (регульованим) дроселем дільний тиск. Пневматичний опір БТ мізерний, а тому доти, поки рідина в тарі не досягне нижньої кромки БТ, тиск на її вході (середній точці дільника) дорівнює 0. Як тільки рівень рідини досягне нижньої кромки БТ, тиск на її вході почне зростати. Підсилювач з високим коефіцієнтом посилення перетворює цей тиск на тиск, достатній для спрацьовування елементів керуючого пристрою. Барботажна трубка є дуже надійним датчиком рівня, оскільки вона весь час продувається повітрям, і рідина, що дозується, не потрапляє в БТ.

Як тільки дозована рідина підніметься вище нижньої кромки БТ на 2-3 мм в.ст., спрацює пристрій управління системою дозування, і налив рідини буде припинений. Ця проста схема вимірювання рівня наливу дозволяє системі дозувати рідини за рівнем із точністю вище 0,5 %.

1.2.9 Комбіноване дозування

Комбіноване дозування полягає в тому, що формування необхідної порції продукту здійснюється в дозаторі декількома з перерахованих способів. Наприклад, основна частина порції відміряється об'ємним дозуванням, а потім проводиться її досипання за вагою заданої величини.

Більшість виробників дозувальних насосів орієнтуються на постійне дозування, пропорційне дозування та дозування із зворотним зв'язком. Залежно від особливостей процесу зручніше застосовувати один із цих трьох методів:

- найпростішим у реалізації виглядає метод постійного дозування. Він хороший, якщо властивості оброблюваної рідини та її потік постійні;
- якщо властивості рідини залишаються незмінними, але потік змінюється, слід використовувати пропорційне дозування;

– якщо може змінюватися як потік рідини, так і її властивості, то на допомогу приходять системи дозування із зворотним зв'язком.

Порційне та вагове дозування складніше автоматизувати:

– порційне дозування використовують у випадках, коли вихідна речовина не подається безперервно, а обробляється рівними "порціями". При появі нової порції вихідної речовини насос дозування повинен видати заздалегідь певну дозу реагенту за допомогою таймера або лічильника тактів;

– вагове дозування використовується для потоку середовищ зі змінною густиною.

1.2.10 Мембранний дозатор

Мембранний дозатор (рис 1.7) здійснює вагове дозування рідких компонентів у періодичному режимі роботи. У дозаторі використовуються еластичні мембрани, що сприймають тиск стовпа компонента, що дозується, і передають зусилля на ваговий механізм. Дозатор складається з ємності 1, вертикального стержня 3 з еластичною мембраною 2, вагового механізму 5, контактної колодки 4, що управляє впускними і випускними електромагнітними клапанами. Величина дози регулюється установкою гир на ваговий механізм [13].

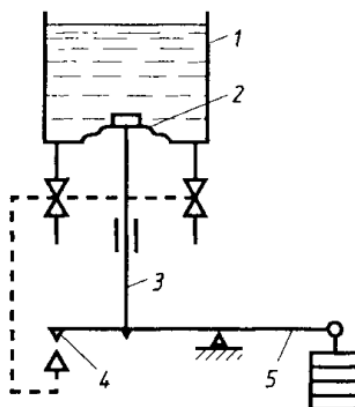


Рисунок 1.7 – Мембранний дозатор

1.2.11 Поплавковий дозатор

Поплавковий дозатор (рис. 1.8) має мірну ємкість 2, в яку рідина поступає через електромагнітний клапан 6 і трьохходовий кран 7. При наповненні місткості поплавков 1 піднімається разом із стержнем 3. Коли відміряна задана порція рідини, контакт 4 замикає ланцюг через нерухомий контакт 5, і електромагнітний клапан 6 закриває доступ рідини. Після повертання крана 7 на 90° проти часової стрілки, відбувається зливання виміряної порції рідини. Зміна дози регулюється переміщенням контакту 4 по стержню [14].

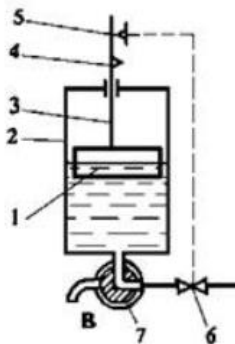


Рисунок 1.8 – Мембранний дозатор

1.3 Постановка задачі дослідження

В ході дослідження існуючих методів дозування було проаналізовано методи дозування рідин за різними показниками.

Для продовження роботи потрібно провести експериментальне дослідження. Головним показником для дослідження є вага та розміри оброблюваної деталі, так як це впливає на якість постобробки. Пари циркулюють в закритій ємності, що дає змогу постійно впливати на заготовку. Інформація про вагу та розміри деталі, що потрібно обробити, дозволяє додати

вірну дозу оброблюваної речовини. Тому ефективним способом дозування рідини є вагове дозування.

1.4 Висновки до першого розділу

В ході аналізу існуючих методів дозування рідин було розглянуто дозування рідини автоматизованої лазні. За рахунок автоматизації процесу дозування в ацетоновій лазні дозволяє позбавитися більшості недоліків.

Також були розглянуті методи дозування рідин:

- постійне та квазіпостійне дозування;
- дозування порціями;
- пропорційне дозування;
- дозування в системах зі зворотним зв'язком;
- вагове дозування;
- дозування за часом;
- дозування за обсягом;
- дозування за рівнем;
- комбіноване дозування.
- мембранний дозатор;
- поплавковий дозатор.

Було зроблено постановку задачі дослідження. Ефективним способом дозування рідини було визначено вагове дозування.

2 СТРАТЕГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розробка стратегії експерименту

Для проведення експерименту знадобиться ацетонова лазня, розчин ацетону, деталь, надрукована на 3D-принтері, та добре провітрюване приміщення. Ацетонова лазня має бути герметичною, щоб не допустити витік парів ацетону, вони є дуже шкідливими.

Гіпотезою експериментального дослідження є знаходження оптимального значення додавання кількості ацетону при різних геометричних фігурах.

2.2 Прилади

В якості основного приладу буде використовуватись ацетонова лазня, що зображена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Ацетонова лазня

Вона має скляний корпус, що дозволяє спостерігати за процесом, в середині є підставка для деталей, та ємність для ацетону. Також є модуль для управління камерою. Він контролює температуру нагріву ацетону, виводить показники вологості всередині камери, та контролює час обробки деталі.

В якості скляного корпусу використовується ексікатор, зображений на рисунку 2.2 [15].



Рисунок 2.2 – Ексікатор лабораторний [16]

В якості підставки для оброблюваних деталей використовується керамічна пластина.

В якості оброблюваної деталі буде використана деталь, що була надрукована на 3D-принтері.

Хімічною речовиною, що буде впливати на заготовку є ацетон.

2.3 Модернізація приладу

Для забезпечення контролю подачі рідини прилад необхідно модернізувати. В конструкцію приладу потрібно зробити блок-схему управління автоматизованою камерою, змодельовати 3D-модель для уявлення розташування всіх потрібних елементів, додати до схеми насос для підкачування ацетону, зробити електричну схему підключення всіх елементів.

2.3.1 Блок-схема управління автоматизованою камерою

Як зображено на рисунку 2.3, блок-схема складається з блоку живлення, який подає напругу на три модуля реле, до яких підключені:

- елемент Пельтьє, який служить нагрівальним елементом для ємності ацетону;
- водяний насос, що закачує рідину всередину бані;
- перистальтичний насос, який буде виконувати циркуляцію парів ацетону в середині камери.

До блоку живлення підключена макетна плата Arduino, яка керує всією системою. За допомогою елемента I2C підключається дисплей LCD Keypad Shield. Датчик ґрунту, вентилятор та термістор керуються безпосередньо з плати Arduino.

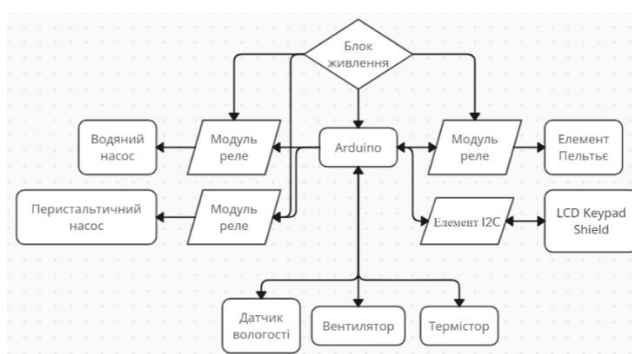


Рисунок 2.3 – Блок-схема управління автоматизованою камерою

2.3.2 Модернізація конструкції приладу

Для чіткого розуміння розташування всіх елементів розроблено 3D-модель конструкції камери. Камера представлена на рисунках 2.4 та 2.5.



Рисунок 2.4 – Конструкція автоматизованої камери

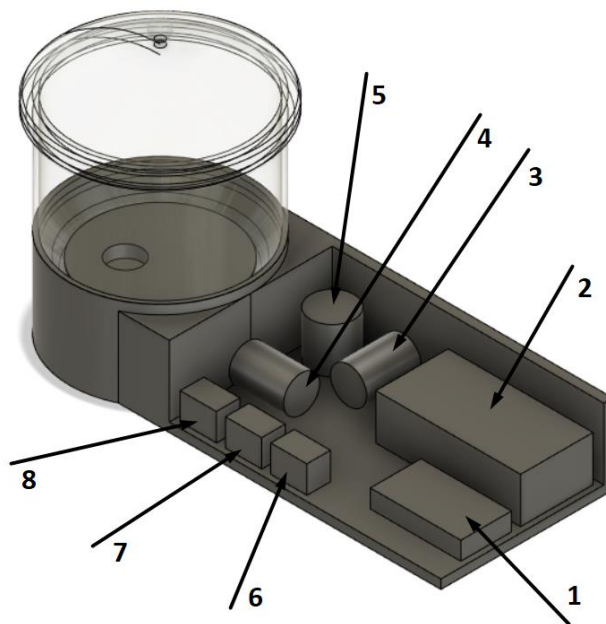


Рисунок 2.5 – Конструкція автоматизованої камери в розрізі

На рисунку 2.5 зображено розташування елементів керування камерою. Блок живлення 2 подає напругу на плату керування Arduino 1. Мембранний насос 3 закачує рідину всередину бані з ємкості 5. За допомогою перистальтичного насосу 4 відбувається циркуляція парів ацетону всередині автоматизованої камери. За допомогою реле 6, 7, 8 відбувається керування нагрівом ацетону, мембранним та перистальтичним насосом.

2.3.3 Мембранний насос постійного струму

Мембранний насос (діафрагмовий) (рис. 2.6) [17] – об'ємний насос, роль поршня у якому виконує гнучка пластина – діафрагма, закріплена по краях, деформація якої відбувається під дією важільного механізму. При вигині діафрагми в один бік відбувається всмоктування рідини, при вигині в інший – нагнітання. Діафрагмовий насос розвиває невеликий напір і знаходить застосування для водовідливу при будівельних роботах, а при невеликій подачі – як дозувальний у системах водоочищення та хімічній промисловості. Діафрагмові насоси застосовують для перекачування забруднених, хімічно активних і займистих рідин.



Рисунок 2.6 – Мембранний насос постійного струму [18]

Області застосування:

- скло і скловолокно: перекачування полірувальної пасти для оптичних лінз, відпрацьованих стоків з верстатів механічної обробки і різання скла [19];

- кораблебудування: очищення суден, осушення трюмів, днищ, кесонів для підводних робіт, систем пожежогасіння, резервуарів, що містять стічні води. Піщані суспензії для піскоструменевих апаратів для прибережного буріння;
- металургійна промисловість: вторинна окалина, хімікалії для травлення резервуарів, суміші для лиття в піщано-глинисті форми, пальмові олії, масла для верстатів механічної обробки. Шахти, будмайданчика, кесони, тунелі;
- лакофарбова промисловість: фарба, склоцементу, емаль, розчинники, латекс, фарбувальні речовини, добавки, хімічні стабілізатори, смоли, абсорбенти;
- целюлозо-паперова промисловість: ґрунтовки, шпаклівки, стічні води, антисептики та лаки для деревини, біла вода, клей, клейкі компоненти ламінату;
- авіаційна промисловість: дренаж стоків, перекачування стоків з фарбувальних камер, промислові відходи;
- гальванопокриття / поверхнева обробка: фільтрування і перекачування кислот і лужних розчинів з ванн, перекачування сильно забруднених стічних вод і глинистих суспензій, дозування концентрованих лужних розчинів або кислот;
- харчова промисловість і виробництво напоїв: перекачування джемів, желе, соусів, шоколаду, крему, горіхового масла, соків, сиропів, вина, переробка харчових відходів, відпрацьованого сусла, дріжджових заквасок, стоки пляшкомиїних машин з вмістом паперових домішок (від етикеток) ;
- автомобілебудування: масло з піддонів гідравлічних пресів та іншого металообробного обладнання, консистентні мастила, масла, фарби, МОР, стічні води;
- нафтохімічна: абразивні і корозійні хімікалії, суспензії, нафтові олії, бентонітова глина, розчинники, мастила, мило, косметика, очищаючі масла,

відходи нафтопереробки, покриття, сполучні матеріали, клеї, полірувальні пасти і суспензії оксидів заліза;

– виробництво кераміки: керамічний шлікер і лаки, припої та склоцементу, глина.

Переваги мембранних насосів – невеликі габарити, забезпечення сталості потоку рідини, відсутність негативних наслідків при замиканні випускного колектора або клапанів (насос автоматично зупиняється), відсутність необхідності використання перепускних клапанів, можливість перекачування широкого спектру рідин і середовищ, можливість перекачування високонаповнених рідин, або рідин, що містять тверді включення великих фракцій. Такі можливості виникли завдяки використанню впускних і випускних клапанів однакового розміру, на відміну від поршневих насосів, де випускний клапан істотно менше впускного клапана.

Технічні характеристики насосу приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики насосу [20]

Параметри	Значення
Номінальна напруга	12 В
Струм без навантаження	≤ 120 мА
Робоча напруга	від 3 В до 24 В
Потік рідини	від 0,1 л/хв до 0,2 л/хв
Номінальне навантаження	Тиск повітря 150 мм рт. ст.
Шум	≤ 55 дБ
Довжина	66,5 мм
Вага	60 г

2.3.4 Перистальтичний насос постійного струму

Для циркуляції парів ацетону потрібен насос з роботою агресивних речовин. Для цього дуже добре підходить перистальтичний насос, що має змогу працювати з агресивними речовинами.

Перистальтичний насос (рис. 2.7) [21] – це самовсмоктувальний насос об'ємної дії. Рідина в ньому контактує тільки із спеціальним шлангом, який виготовляється із широкого спектру матеріалів в залежності від конкретного типу рідини що перекачується.



Рисунок 2.7 – Перистальтичний насос постійного струму [22]

Характеристики насосу приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики перистальтичного насосу [23]

Параметри	Значення
Номінальна напруга	12 В
Струм без навантаження	80 мА
Робоча температура	від 0 °С до 40 °С
Витрати	від 0,1 л/хв до 100 л/хв
Двигун об/хв	5000 об/хв
Вага	100 г
Шум	≤ 55 дБ

Конструкція перистальтичного насосу зображена на рисунку 2.8.

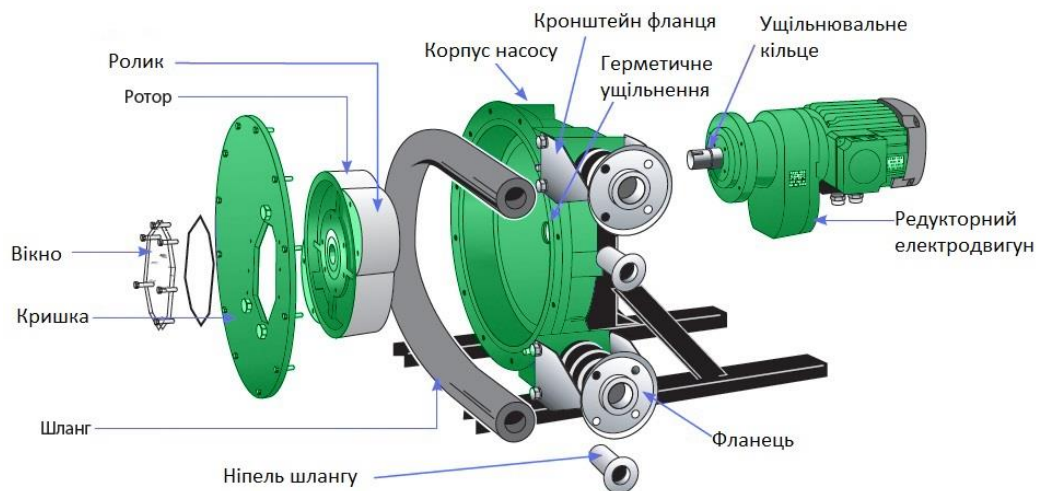


Рисунок 2.8 – Конструкція перистальтичного насосу [24]

Ротор, прикріпленими до його зовнішньої окружності роликами, стискає гнучку трубку. При обертанні ротора ролики котяться по трубці і, таким чином, штовхають рідину у трубці в напрямку обертання ротора. Крім того, тільки як

трубка повертається у свій природній стан після проходження ролика, потік рідини індукується до насоса. Цей процес називається перильстатикою і використовується в багатьох біологічних системах, таких як шлунково-кишковий тракт.

Принцип дії перистальтичного насоса зображений на рисунку 2.9.

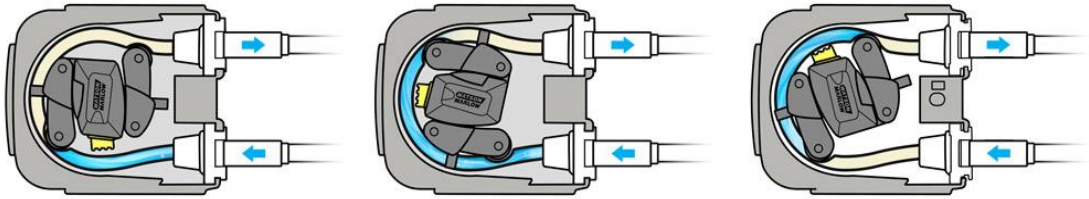


Рисунок 2.9 – Принцип дії перистальтичного насоса [25]

2.3.5 Модернізація електричної схеми

На рисунку 2.10 представлено монтажну схему пристрою. Розробка схеми виконувалась у програмі Fritzing.

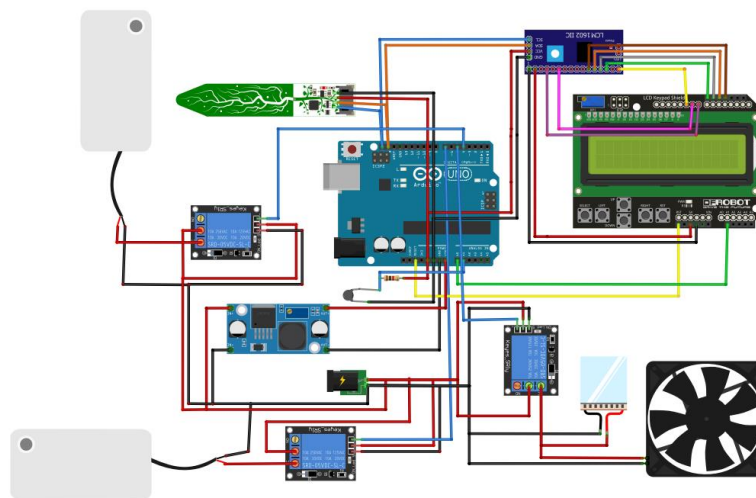


Рисунок 2.10 – Монтажна схема пристрою

Далі було створено електричну принципову схему пристрою відповідно до розробленої монтажною схеми. Її приведено на рисунку 2.11.

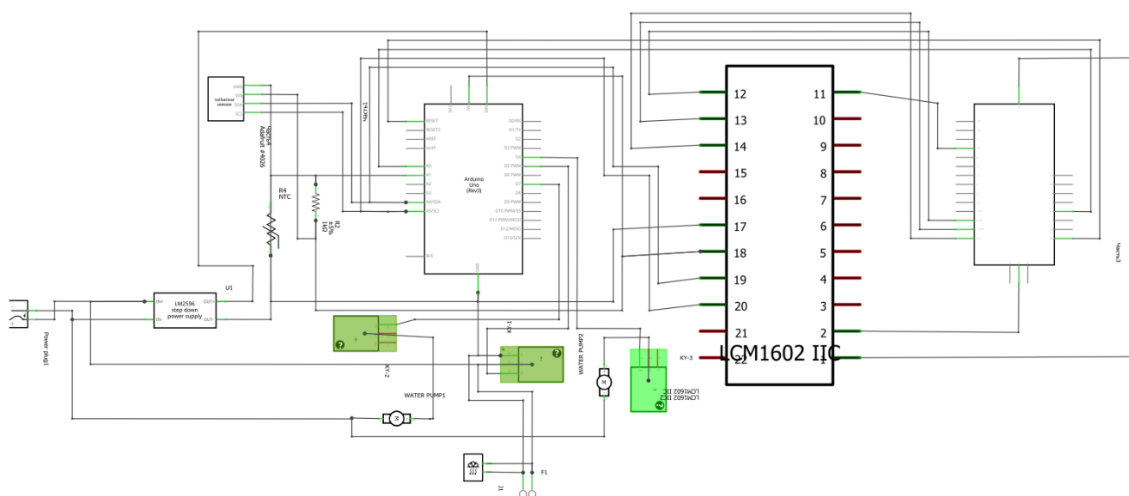


Рисунок 2.11 – Електрична принципова схема пристрою

2.4 Послідовність виконання експерименту

Оскільки було вибрано метод вагового дозування, тому для виконання експерименту потрібно виміряти та зважити деталь та помістити її в ацетонову лазню, додати необхідну кількість ацетону, та щільно закрити кришку лазні, щоб шкідливі пари ацетону ніяк не вплинули на людину. Далі потрібно задати час на обробку деталі. На рисунку 2.12 приведена схема виконання експерименту.

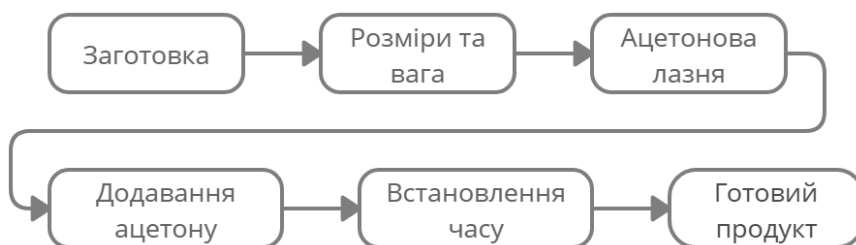


Рисунок 2.12 – Схема виконання експерименту

Після того, як час мине, дістаємо деталь дуже повільно, тому що верхній шар пластику в перший час пом'якшується, та можливе пошкодження зовнішнього вигляду.

Задля експерименту буде братись мінімальна кількість ацетону для одної деталі та будуть проводитись досліди. Цей експеримент буде розбито умовно кажучи на 40 ітерацій, для однакових деталей зі збільшенням кількості ацетону на певний відсоток. Після чого буде виявлятися на якій ітерації та з якою кількістю ацетону деталь виглядає найкраще.

Важливо також знати, чи впливають розміри та вага деталі на обробку з оптимально виявленою кількістю ацетону. З цими параметрами окремо будуть проводитись експерименти.

Приведемо умовну модель. Маємо деталь, куб 20 мм х 20 мм, проста складність деталі. Він поміщується в лазню розміром 100 мм х 100 мм. В спеціальну ємність додається 20 мл ацетону. Задаємо константний час для обробки 30 хв. Після обробки деталі спостерігаємо на скільки змінився зовнішній вигляд та робимо записи. Цю операцію проводимо, умовно кажучи, 50 разів, лише зі збільшенням кількості ацетону та виявляємо найкращу з ітерацій. Дані будуть записані в таблицю. Умовні дані приведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Таблиця умовних даних

Ітерація	Час, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	30	Проста деталь	10
2	30	Проста деталь	11
3	30	Проста деталь	12
4	30	Проста деталь	13

При посудині з розміром 200 мм x 200 мм максимальні розміри деталі будуть 130 мм x 130 мм, щоб вплив ацетону на деталь був ефективним. Також в посудину можна буде помістити не більше одної деталі.

Після проведення всіх експериментів та визначення залежності, що впливає на якість обробки деталі, буде вдосконалена програма роботи для ацетонової лазні.

За допомогою програми можна буде вибрати складність деталі та час обробки деталі, 30 хв, 1 год або 2 год. Після чого система почне виконувати подальші дії повністю автоматизовано.

2.5 Висновки до другого розділу

В цьому розділі було розроблено стратегію експерименту. Підібрано потрібний прилад для проведення експерименту.

Для використання підібраного приладу його було модернізовано. Було розроблено блок-схему управління автоматизованою камерою. Далі була модернізована конструкція. Змінено малий корпус на більший.

Вибрано мембранний насос постійного стуму, який буде регулювати подачу ацетону в автоматизовану камеру.

Вибрано перистальтичний насос постійного струму для циркуляції парів ацетону всередині автоматизованої камери

За допомогою використання програми Fritzing було розроблено монтажну та електричну схему пристрою.

Було розроблено схему виконання експерименту та приведено умовну модель експерименту для чіткого розуміння поставленої задачі.

Задачею експерименту являється проведення 40 експериментів з різним проміжком часу для деталі з різною складністю.

З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Експеримент

Для початку виконання експерименту було поділено складність деталі на умовні три типи складності:

- проста – прості геометричні фігури, квадрат, круг, і т.д.;
- середня – геометричні фігури з невеликими поглибленнями;
- складна – фігури з навісними елементами, з великою деталізацією і т.д.

Вибрано декілька варіантів обробки за часом:

- 30 хв;
- 1 год;
- 2 год.

Кількість ацетону що використовується 10 мл, 15 мл та 20 мл в залежності від складності деталі.

Спочатку деталь розміщується в ацетоновій лазні, місце прилягання кришки змащується спеціальним ущільнювачем задля того, щоб шкідливі пари ацетону не потрапили в приміщення. Далі вмикається система, на керуючому дисплеї вибирається режим роботи – спочатку складність деталі, потім час. Після завершення роботи програми в добре провітрюваному приміщенні знімається кришка ацетонової лазні, та дістається деталь.

Після просушування від парів ацетону робиться висновок, наскільки добре була проведена обробка деталі, перевіряється якість сплавлення верхніх слоїв деталі, чи не пошкоджений зовнішній вигляд.

Для більш точного дослідження дозування було виконано 40 експериментів з мінімальним додаванням кількості ацетону.

3.2 Експеримент з простою деталлю

3.2.1 Експеримент з простою деталлю за 30 хв

Для початку виконання експерименту було вибрано деталь простої складності та мінімальний час обробки – 30 хв. Мінімальна кількість ацетону була використана в розмірі 10 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики експериментів простої деталі за 30 хв

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	30 хв	проста деталь	10 мл
2	30 хв	проста деталь	11 мл
3	30 хв	проста деталь	12 мл
4	30 хв	проста деталь	13 мл
5	30 хв	проста деталь	14 мл
6	30 хв	проста деталь	15 мл
7	30 хв	проста деталь	16 мл
8	30 хв	проста деталь	17 мл
9	30 хв	проста деталь	18 мл
10	30 хв	проста деталь	19 мл
11	30 хв	проста деталь	20 мл
12	30 хв	проста деталь	21 мл
13	30 хв	проста деталь	22 мл
14	30 хв	проста деталь	23 мл
15	30 хв	проста деталь	24 мл
16	30 хв	проста деталь	25 мл
17	30 хв	проста деталь	26 мл

Продовження таблиці 3.1

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
18	30 хв	проста деталь	27 мл
19	30 хв	проста деталь	28 мл
20	30 хв	проста деталь	29 мл
21	30 хв	проста деталь	30 мл
22	30 хв	проста деталь	31 мл
23	30 хв	проста деталь	32 мл
24	30 хв	проста деталь	33 мл
25	30 хв	проста деталь	34 мл
26	30 хв	проста деталь	35 мл
27	30 хв	проста деталь	36 мл
28	30 хв	проста деталь	37 мл
29	30 хв	проста деталь	38 мл
30	30 хв	проста деталь	39 мл
31	30 хв	проста деталь	40 мл
32	30 хв	проста деталь	41 мл
33	30 хв	проста деталь	42 мл
34	30 хв	проста деталь	43 мл
35	30 хв	проста деталь	44 мл
36	30 хв	проста деталь	45 мл
37	30 хв	проста деталь	46 мл
38	30 хв	проста деталь	47 мл
39	30 хв	проста деталь	48 мл
40	30 хв	проста деталь	49 мл

При дозуванні від 10 мл до 20 мл майже не помітно різницю обробки, деталь майже не змінилася. При збільшенні дозування до 35 мл були помітні незначні результати згладжування деталі. Коли дозування досягало 47 мл, деталь досягла результатів представлених в технічному завданні (ТЗ). При подальших експериментах зі збільшенням кількості ацетону деталь втрачала свою форму та почала розпливатися. На рисунку 3.1 приведено діаграму експериментів відносно якості деталі.



Рисунок 3.1 – Результати експерименту простої деталі

3.2.2 Експеримент з простою деталлю за 1 год

Для подальшого виконання експерименту було збільшено час обробки з 30 хвилин до 1 години, кількість ацетону залишилася незмінною – 10 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики експериментів простої деталі за 1 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	1 год	проста деталь	10 мл
2	1 год	проста деталь	11 мл
3	1 год	проста деталь	12 мл
4	1 год	проста деталь	13 мл
5	1 год	проста деталь	14 мл
6	1 год	проста деталь	15 мл
7	1 год	проста деталь	16 мл
8	1 год	проста деталь	17 мл
9	1 год	проста деталь	18 мл
10	1 год	проста деталь	19 мл
11	1 год	проста деталь	20 мл
12	1 год	проста деталь	21 мл
13	1 год	проста деталь	22 мл
14	1 год	проста деталь	23 мл
15	1 год	проста деталь	24 мл
16	1 год	проста деталь	25 мл
17	1 год	проста деталь	26 мл
18	1 год	проста деталь	27 мл
19	1 год	проста деталь	28 мл
20	1 год	проста деталь	29 мл
21	1 год	проста деталь	30 мл
22	1 год	проста деталь	31 мл
23	1 год	проста деталь	32 мл
24	1 год	проста деталь	33 мл
25	1 год	проста деталь	34 мл

Продовження таблиці 3.2

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
26	1 год	проста деталь	35 мл
27	1 год	проста деталь	36 мл
28	1 год	проста деталь	37 мл
29	1 год	проста деталь	38 мл
30	1 год	проста деталь	39 мл
31	1 год	проста деталь	40 мл
32	1 год	проста деталь	41 мл
33	1 год	проста деталь	42 мл
34	1 год	проста деталь	43 мл
35	1 год	проста деталь	44 мл
36	1 год	проста деталь	45 мл
37	1 год	проста деталь	46 мл
38	1 год	проста деталь	47 мл
39	1 год	проста деталь	48 мл
40	1 год	проста деталь	49 мл

Перші 8-13 експериментів майже не помітно різницю. Потрібні результати були досягнуті при дозуванні 35 мл. Далі було сплавлення країв деталі. На рисунку 3.2 приведено діаграму експериментів відносно якості деталі.

Експеримент простої деталі, 1 год

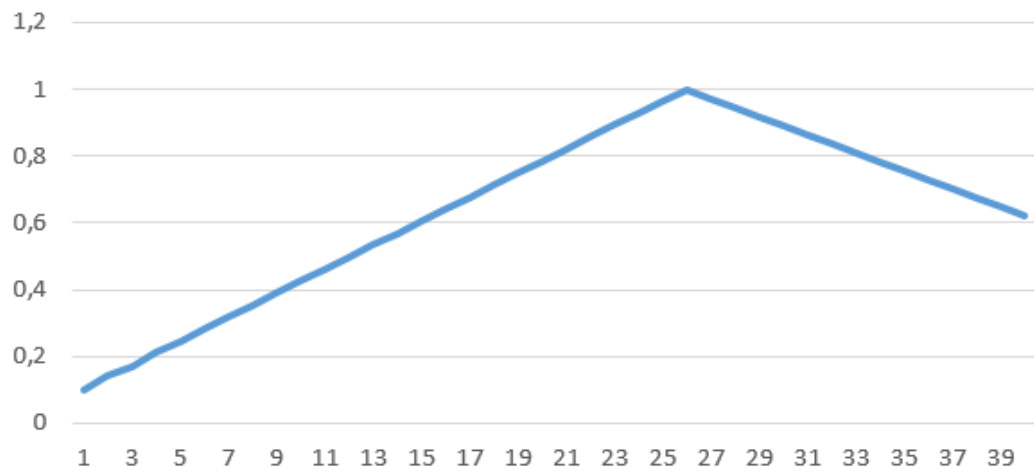


Рисунок 3.2 – Результати експерименту простої деталі

3.2.3 Експеримент з простою деталлю за 2 год

Для подальшого виконання експерименту було збільшено час обробки з 1 години до 2 годин, кількість ацетону залишилася незмінною – 10 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики експериментів простої деталі за 2 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	2 год	проста деталь	10 мл
2	2 год	проста деталь	11 мл
3	2 год	проста деталь	12 мл
4	2 год	проста деталь	13 мл
5	2 год	проста деталь	14 мл
6	2 год	проста деталь	15 мл

Продовження таблиці 3.3

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
7	2 год	проста деталь	16 мл
8	2 год	проста деталь	17 мл
9	2 год	проста деталь	18 мл
10	2 год	проста деталь	19 мл
11	2 год	проста деталь	20 мл
12	2 год	проста деталь	21 мл
13	2 год	проста деталь	22 мл
14	2 год	проста деталь	23 мл
15	2 год	проста деталь	24 мл
16	2 год	проста деталь	25 мл
17	2 год	проста деталь	26 мл
18	2 год	проста деталь	27 мл
19	2 год	проста деталь	28 мл
20	2 год	проста деталь	29 мл
21	2 год	проста деталь	30 мл
22	2 год	проста деталь	31 мл
23	2 год	проста деталь	32 мл
24	2 год	проста деталь	33 мл
25	2 год	проста деталь	34 мл
26	2 год	проста деталь	35 мл
27	2 год	проста деталь	36 мл
28	2 год	проста деталь	37 мл
29	2 год	проста деталь	38 мл
30	2 год	проста деталь	39 мл
31	2 год	проста деталь	40 мл

Продовження таблиці 3.3

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
32	2 год	проста деталь	41 мл
33	2 год	проста деталь	42 мл
34	2 год	проста деталь	43 мл
35	2 год	проста деталь	44 мл
36	2 год	проста деталь	45 мл
37	2 год	проста деталь	46 мл
38	2 год	проста деталь	47 мл
39	2 год	проста деталь	48 мл
40	2 год	проста деталь	49 мл

На початку експериментів вже було помітно згладжування деталі, але не значні. Постобробка деталі з прогнозованою якістю була досягнута з дозуванням 23 мл. Далі було сплавлення країв деталі. На рисунку 3.3 приведено діаграму експериментів відносно якості деталі.



Рисунок 3.3 – Результати експерименту простої деталі

3.3 Експеримент з середньою деталлю

3.3.1 Експеримент з середньою деталлю за 30 хв

Для початку виконання експерименту було вибрано деталь середньої складності та мінімальний час обробки – 30 хв. Мінімальна кількість ацетону була збільшена з 10 мл до 15 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики експериментів середньої деталі за 30 хв

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	30 хв	середня деталь	15 мл
2	30 хв	середня деталь	16 мл
3	30 хв	середня деталь	17 мл
4	30 хв	середня деталь	18 мл
5	30 хв	середня деталь	19 мл
6	30 хв	середня деталь	20 мл
7	30 хв	середня деталь	21 мл
8	30 хв	середня деталь	22 мл
9	30 хв	середня деталь	23 мл
10	30 хв	середня деталь	24 мл
11	30 хв	середня деталь	25 мл
12	30 хв	середня деталь	26 мл
13	30 хв	середня деталь	27 мл
14	30 хв	середня деталь	28 мл
15	30 хв	середня деталь	29 мл
16	30 хв	середня деталь	30 мл

Продовження таблиці 3.4

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
17	30 хв	середня деталь	31 мл
18	30 хв	середня деталь	32 мл
19	30 хв	середня деталь	33 мл
20	30 хв	середня деталь	34 мл
21	30 хв	середня деталь	35 мл
22	30 хв	середня деталь	36 мл
23	30 хв	середня деталь	37 мл
24	30 хв	середня деталь	38 мл
25	30 хв	середня деталь	39 мл
26	30 хв	середня деталь	40 мл
27	30 хв	середня деталь	41 мл
28	30 хв	середня деталь	42 мл
29	30 хв	середня деталь	43 мл
30	30 хв	середня деталь	44 мл
31	30 хв	середня деталь	45 мл
32	30 хв	середня деталь	46 мл
33	30 хв	середня деталь	47 мл
34	30 хв	середня деталь	48 мл
35	30 хв	середня деталь	49 мл
36	30 хв	середня деталь	50 мл
37	30 хв	середня деталь	51 мл
38	30 хв	середня деталь	52 мл
39	30 хв	середня деталь	53 мл
40	30 хв	середня деталь	54 мл
41	30 хв	середня деталь	55 мл

Продовження таблиці 3.4

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
42	30 хв	середня деталь	56 мл
43	30 хв	середня деталь	57 мл
44	30 хв	середня деталь	58 мл
45	30 хв	середня деталь	59 мл

Зі збільшенням складності деталі було збільшено кількість експериментів до з 40 до 45, тому що якість обробки не давала потрібного результату. Прогнозовані форми деталі були помітні при дозуванні 55 мл. Далі було сплавляння деталі. Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Результати експерименту середньої деталі

3.3.2 Експеримент з середньою деталлю за 1 год

Для початку виконання експерименту було вибрано деталь середньої складності та час обробки – 1 год. Мінімальна кількість ацетону лишилась незмінною – 15 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики експериментів середньої деталі за 1 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	1 год	середня деталь	15 мл
2	1 год	середня деталь	16 мл
3	1 год	середня деталь	17 мл
4	1 год	середня деталь	18 мл
5	1 год	середня деталь	19 мл
6	1 год	середня деталь	20 мл
7	1 год	середня деталь	21 мл
8	1 год	середня деталь	22 мл
9	1 год	середня деталь	23 мл
10	1 год	середня деталь	24 мл
11	1 год	середня деталь	25 мл
12	1 год	середня деталь	26 мл
13	1 год	середня деталь	27 мл
14	1 год	середня деталь	28 мл
15	1 год	середня деталь	29 мл
16	1 год	середня деталь	30 мл
17	1 год	середня деталь	31 мл
18	1 год	середня деталь	32 мл

Продовження таблиці 3.5

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
19	1 год	середня деталь	33 мл
20	1 год	середня деталь	34 мл
21	1 год	середня деталь	35 мл
22	1 год	середня деталь	36 мл
23	1 год	середня деталь	37 мл
24	1 год	середня деталь	38 мл
25	1 год	середня деталь	39 мл
26	1 год	середня деталь	40 мл
27	1 год	середня деталь	41 мл
28	1 год	середня деталь	42 мл
29	1 год	середня деталь	43 мл
30	1 год	середня деталь	44 мл
31	1 год	середня деталь	45 мл
32	1 год	середня деталь	46 мл
33	1 год	середня деталь	47 мл
34	1 год	середня деталь	48 мл
35	1 год	середня деталь	49 мл
36	1 год	середня деталь	50 мл
37	1 год	середня деталь	51 мл
38	1 год	середня деталь	52 мл
39	1 год	середня деталь	53 мл
40	1 год	середня деталь	54 мл
41	1 год	середня деталь	55 мл
42	1 год	середня деталь	56 мл
43	1 год	середня деталь	57 мл
44	1 год	середня деталь	58 мл

45	1 год	середня деталь	59 мл
----	-------	----------------	-------

Прогнозовані форми були помітні починаючи з 24 експерименту. Потрібні форми обробки деталі були помітні при дозуванні 48 мл. Далі було сплавляння деталі. Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Результати експерименту середньої деталі

3.3.3 Експеримент з середньою деталлю за 2 год

Для початку виконання експерименту було вибрано деталь середньої складності та час обробки – 2 год. Мінімальна кількість ацетону лишилась незмінною – 15 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристики експериментів середньої деталі за 2 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	2 год	середня деталь	15 мл
2	2 год	середня деталь	16 мл

3	2 год	середня деталь	17 мл
---	-------	----------------	-------

Продовження таблиці 3.6

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
4	2 год	середня деталь	18 мл
5	2 год	середня деталь	19 мл
6	2 год	середня деталь	20 мл
7	2 год	середня деталь	21 мл
8	2 год	середня деталь	22 мл
9	2 год	середня деталь	23 мл
10	2 год	середня деталь	24 мл
11	2 год	середня деталь	25 мл
12	2 год	середня деталь	26 мл
13	2 год	середня деталь	27 мл
14	2 год	середня деталь	28 мл
15	2 год	середня деталь	29 мл
16	2 год	середня деталь	30 мл
17	2 год	середня деталь	31 мл
18	2 год	середня деталь	32 мл
19	2 год	середня деталь	33 мл
20	2 год	середня деталь	34 мл
21	2 год	середня деталь	35 мл
22	2 год	середня деталь	36 мл
23	2 год	середня деталь	37 мл
24	2 год	середня деталь	38 мл
25	2 год	середня деталь	39 мл
26	2 год	середня деталь	40 мл
27	2 год	середня деталь	41 мл

28	2 год	середня деталь	42 мл
----	-------	----------------	-------

Продовження таблиці 3.6

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
29	2 год	середня деталь	43 мл
30	2 год	середня деталь	44 мл
31	2 год	середня деталь	45 мл
32	2 год	середня деталь	46 мл
33	2 год	середня деталь	47 мл
34	2 год	середня деталь	48 мл
35	2 год	середня деталь	49 мл
36	2 год	середня деталь	50 мл
37	2 год	середня деталь	51 мл
38	2 год	середня деталь	52 мл
39	2 год	середня деталь	53 мл
40	2 год	середня деталь	54 мл
41	2 год	середня деталь	55 мл
42	2 год	середня деталь	56 мл
43	2 год	середня деталь	57 мл
44	2 год	середня деталь	58 мл
45	2 год	середня деталь	59 мл

Форми прогнозованих результатів були помітні починаючи з 10-12 експериментів. Потрібні форми обробки деталі були помітні при дозуванні 37 мл. Далі було сплавлення деталі. Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Результати експерименту середньої деталі

3.4 Експеримент зі складною деталлю

3.4.1 Експеримент зі складною деталлю за 30 хв

Для початку виконання експерименту було вибрано складну деталь та мінімальний час обробки – 30 хв. Мінімальна кількість ацетону була збільшена до 20 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Характеристики експериментів середньої деталі за 30 хв

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	30 хв	складна деталь	20 мл
2	30 хв	складна деталь	21 мл
3	30 хв	складна деталь	22 мл
4	30 хв	складна деталь	23 мл
5	30 хв	складна деталь	24 мл

Продовження таблиці 3.7

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
6	30 хв	складна деталь	25 мл
7	30 хв	складна деталь	26 мл
8	30 хв	складна деталь	27 мл
9	30 хв	складна деталь	28 мл
10	30 хв	складна деталь	29 мл
11	30 хв	складна деталь	30 мл
12	30 хв	складна деталь	31 мл
13	30 хв	складна деталь	32 мл
14	30 хв	складна деталь	33 мл
15	30 хв	складна деталь	34 мл
16	30 хв	складна деталь	35 мл
17	30 хв	складна деталь	36 мл
18	30 хв	складна деталь	37 мл
19	30 хв	складна деталь	38 мл
20	30 хв	складна деталь	39 мл
21	30 хв	складна деталь	40 мл
22	30 хв	складна деталь	41 мл
23	30 хв	складна деталь	42 мл
24	30 хв	складна деталь	43 мл
25	30 хв	складна деталь	44 мл
26	30 хв	складна деталь	45 мл
27	30 хв	складна деталь	46 мл
28	30 хв	складна деталь	47 мл
29	30 хв	складна деталь	48 мл
30	30 хв	складна деталь	49 мл

Продовження таблиці 3.7

№ експерименту	Час обробки, хв	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
31	30 хв	складна деталь	50 мл
32	30 хв	складна деталь	51 мл
33	30 хв	складна деталь	52 мл
34	30 хв	складна деталь	53 мл
35	30 хв	складна деталь	54 мл
36	30 хв	складна деталь	55 мл
37	30 хв	складна деталь	56 мл
38	30 хв	складна деталь	57 мл
39	30 хв	складна деталь	58 мл
40	30 хв	складна деталь	59 мл
41	30 хв	складна деталь	60 мл
42	30 хв	складна деталь	61 мл
43	30 хв	складна деталь	62 мл
44	30 хв	складна деталь	63 мл
45	30 хв	складна деталь	64 мл
46	30 хв	складна деталь	65 мл
47	30 хв	складна деталь	66 мл
48	30 хв	складна деталь	67 мл
49	30 хв	складна деталь	68 мл
50	30 хв	складна деталь	69 мл

Зі складною деталлю було проведено 50 експериментів, але гарних результатів не було помітно. Складні форми деталі не були добре оброблені, тому 30 хв обробки не варто використовувати для складного типу деталі. Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Результати експерименту складної деталі

3.4.2 Експеримент зі складною деталлю за 1 год

Для початку виконання експерименту було вибрано складну деталь та мінімальний час обробки – 1 год. Мінімальна кількість ацетону лишилась незмінною – 20 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Характеристики експериментів середньої деталі за 1 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	1 год	складна деталь	20 мл
2	1 год	складна деталь	21 мл
3	1 год	складна деталь	22 мл
4	1 год	складна деталь	23 мл

Продовження таблиці 3.8

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
5	1 год	складна деталь	24 мл
6	1 год	складна деталь	25 мл
7	1 год	складна деталь	26 мл
8	1 год	складна деталь	27 мл
9	1 год	складна деталь	28 мл
10	1 год	складна деталь	29 мл
11	1 год	складна деталь	30 мл
12	1 год	складна деталь	31 мл
13	1 год	складна деталь	32 мл
14	1 год	складна деталь	33 мл
15	1 год	складна деталь	34 мл
16	1 год	складна деталь	35 мл
17	1 год	складна деталь	36 мл
18	1 год	складна деталь	37 мл
19	1 год	складна деталь	38 мл
20	1 год	складна деталь	39 мл
21	1 год	складна деталь	40 мл
22	1 год	складна деталь	41 мл
23	1 год	складна деталь	42 мл
24	1 год	складна деталь	43 мл
25	1 год	складна деталь	44 мл
26	1 год	складна деталь	45 мл
27	1 год	складна деталь	46 мл
28	1 год	складна деталь	47 мл
29	1 год	складна деталь	48 мл

Продовження таблиці 3.8

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
30	1 год	складна деталь	49 мл
31	1 год	складна деталь	50 мл
32	1 год	складна деталь	51 мл
33	1 год	складна деталь	52 мл
34	1 год	складна деталь	53 мл
35	1 год	складна деталь	54 мл
36	1 год	складна деталь	55 мл
37	1 год	складна деталь	56 мл
38	1 год	складна деталь	57 мл
39	1 год	складна деталь	58 мл
40	1 год	складна деталь	59 мл
41	1 год	складна деталь	60 мл
42	1 год	складна деталь	61 мл
43	1 год	складна деталь	62 мл
44	1 год	складна деталь	63 мл
45	1 год	складна деталь	64 мл
46	1 год	складна деталь	65 мл
47	1 год	складна деталь	66 мл
48	1 год	складна деталь	67 мл
49	1 год	складна деталь	68 мл
50	1 год	складна деталь	69 мл

Гарні форми були помітні починаючи з 10-12 експериментів. Потрібні форми обробки деталі були помітні при дозуванні 66 мл. Далі було сплавляння деталі.

Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.8.

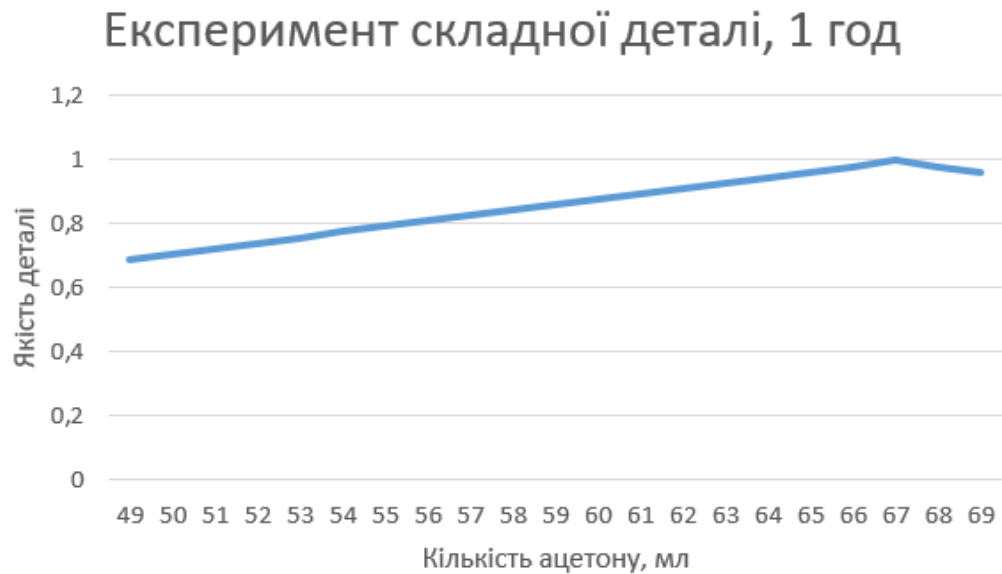


Рисунок 3.8 – Результати експерименту складної деталі

3.4.3 Експеримент зі складною деталлю за 2 год

Для початку виконання експерименту було вибрано складну деталь та мінімальний час обробки – 2 год. Мінімальна кількість ацетону лишилась незмінною – 20 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Характеристики експериментів середньої деталі за 2 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	2 год	складна деталь	20 мл
2	2 год	складна деталь	21 мл
3	2 год	складна деталь	22 мл

Продовження таблиці 3.9

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
4	2 год	складна деталь	23 мл
5	2 год	складна деталь	24 мл
6	2 год	складна деталь	25 мл
7	2 год	складна деталь	26 мл
8	2 год	складна деталь	27 мл
9	2 год	складна деталь	28 мл
10	2 год	складна деталь	29 мл
11	2 год	складна деталь	30 мл
12	2 год	складна деталь	31 мл
13	2 год	складна деталь	32 мл
14	2 год	складна деталь	33 мл
15	2 год	складна деталь	34 мл
16	2 год	складна деталь	35 мл
17	2 год	складна деталь	36 мл
18	2 год	складна деталь	37 мл
19	2 год	складна деталь	38 мл
20	2 год	складна деталь	39 мл
21	2 год	складна деталь	40 мл
22	2 год	складна деталь	41 мл
23	2 год	складна деталь	42 мл
24	2 год	складна деталь	43 мл
25	2 год	складна деталь	44 мл
26	2 год	складна деталь	45 мл
27	2 год	складна деталь	46 мл
28	2 год	складна деталь	47 мл
29	2 год	складна деталь	48 мл
30	2 год	складна деталь	49 мл
31	2 год	складна деталь	50 мл

Продовження таблиці 3.9

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
32	2 год	складна деталь	51 мл
33	2 год	складна деталь	52 мл
34	2 год	складна деталь	53 мл
35	2 год	складна деталь	54 мл
36	2 год	складна деталь	55 мл
37	2 год	складна деталь	56 мл
38	2 год	складна деталь	57 мл
39	2 год	складна деталь	58 мл
40	2 год	складна деталь	59 мл
41	2 год	складна деталь	60 мл
42	2 год	складна деталь	61 мл
43	2 год	складна деталь	62 мл
44	2 год	складна деталь	63 мл
45	2 год	складна деталь	64 мл
46	2 год	складна деталь	65 мл
47	2 год	складна деталь	66 мл
48	2 год	складна деталь	67 мл
49	2 год	складна деталь	68 мл
50	2 год	складна деталь	69 мл

Так як деталь має дуже складні форми для обробки, то час обробки дуже впливає на якість. Прості форми деталі оброблюються швидше, але деталі, форма яких є складною (наприклад заглиблена або деталізована форма) потребує більше часу на обробку. При експерименті з тривалістю 2 год було досягнуто прогнозованого результату майже вкінці експерименту, при дозуванні 57 мл.

Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Результати експерименту складної деталі

3.5 Підтвердження експерименту

Після проведення експериментів для кожної деталі з різними проміжками часу можна зробити висновок, що для кожної деталі 1 година обробки є оптимальним значенням. Для підтвердження цих даних потрібно зробити кількісний експеримент. Провести 20 експериментів з одною кількістю ацетону. Також потрібно провести апроксимацію даних для кожної деталі.

3.5.1 Підтвердження експерименту для простої деталі

Для початку виконання експерименту було вибрано просту деталь та час обробки – 1 год. Кількість ацетону була збільшена до 35 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Характеристики експериментів простої деталі на 1 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	1 год	проста деталь	35
2	1 год	проста деталь	35
3	1 год	проста деталь	35
4	1 год	проста деталь	35
5	1 год	проста деталь	35
6	1 год	проста деталь	35
7	1 год	проста деталь	35
8	1 год	проста деталь	35
9	1 год	проста деталь	35
10	1 год	проста деталь	35
11	1 год	проста деталь	35
12	1 год	проста деталь	35
13	1 год	проста деталь	35
14	1 год	проста деталь	35
15	1 год	проста деталь	35
16	1 год	проста деталь	35
17	1 год	проста деталь	35
18	1 год	проста деталь	35
19	1 год	проста деталь	35
20	1 год	проста деталь	35

З проведених експериментів можна прийти до висновку, що час проведення експерименту 1 год та кількість ацетону 35 мл для простої деталі є оптимальним значенням для проведення інших обробок.

Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.10.

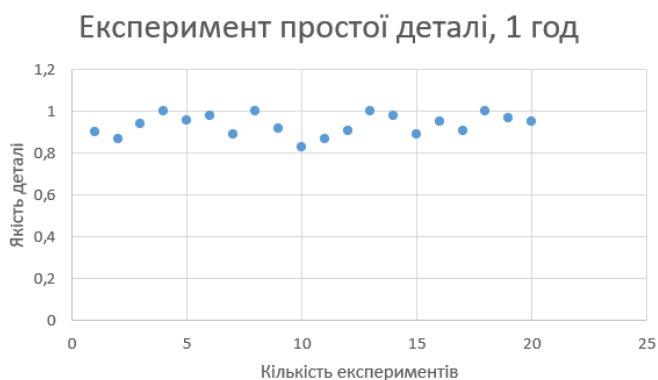


Рисунок 3.10 – Результати експерименту простої деталі

Результати обробки простої деталі зображені на рисунку 3.11. Зліва зображена необроблена деталь, на якій дуже добре помітно шари наплавлення пластику. Справа зображена оброблена деталь за допомогою парів ацетону. Вона має гладкий вигляд.

З проведених експериментів можна зробити висновки, що для простої деталі 35 мл ацетону та часом обробки 1 год є оптимальним значенням досягнення результату, представленого в ТЗ.



Рисунок 3.11 – Результат обробки простої деталі

3.5.2 Підтвердження експерименту середньої деталі

Для початку виконання експерименту було вибрано середню деталь та час обробки – 1 год. Кількість ацетону була збільшена до 48 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Характеристики експериментів середньої деталі на 1 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	1 год	середня деталь	48
2	1 год	середня деталь	48
3	1 год	середня деталь	48
4	1 год	середня деталь	48
5	1 год	середня деталь	48
6	1 год	середня деталь	48
7	1 год	середня деталь	48
8	1 год	середня деталь	48
9	1 год	середня деталь	48
10	1 год	середня деталь	48
11	1 год	середня деталь	48
12	1 год	середня деталь	48
13	1 год	середня деталь	48
14	1 год	середня деталь	48
15	1 год	середня деталь	48
16	1 год	середня деталь	48
17	1 год	середня деталь	48
18	1 год	середня деталь	48
19	1 год	середня деталь	48
20	1 год	середня деталь	48

Роблячи висновки, можна сказати, що 48 мл ацетону є гарною кількістю при часу обробки 1 год. Результати експериментів були дуже хорошими. Тому таку кількість ацетону можна і надалі використовувати для обробки деталей середньої важкості.

Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.12.

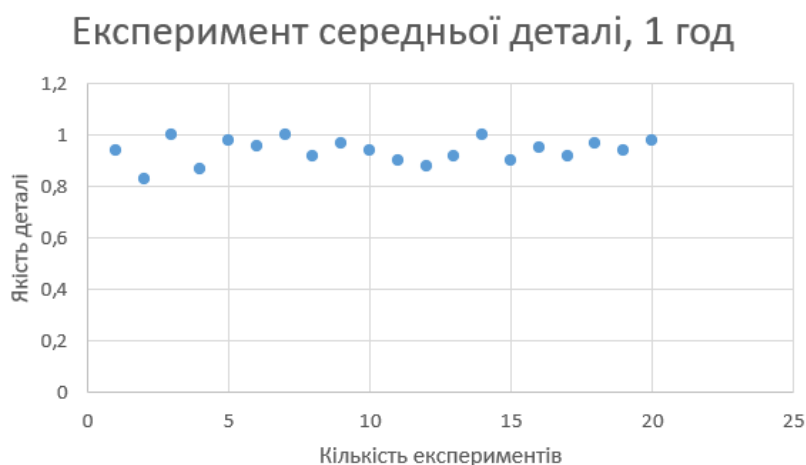


Рисунок 3.12 – Результати експерименту середньої деталі

Результати обробки середньої деталі зображені на рисунку 3.13 у вигляді брелка. Зліва зображена необроблена деталь, на якій дуже добре помітно шари наплавлення пластику. Справа маємо оброблену деталь за допомогою парів ацетону. Шари пластику зникли, поверхня деталі стала гладкою.

Для середньої деталі 48 мл ацетону та часом обробки 1 год є оптимальним значенням досягнення прогнозованого результату.



Рисунок 3.13 – Результат обробки середньої деталі

3.5.3 Підтвердження експерименту складної деталі

Для початку виконання експерименту було вибрано складну деталь та час обробки – 1 год. Кількість ацетону була збільшена до 67 мл.

Дані експериментів приведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Характеристики експериментів середньої деталі на 1 год

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
1	1 год	складна деталь	67
2	1 год	складна деталь	67
3	1 год	складна деталь	67
4	1 год	складна деталь	67
5	1 год	складна деталь	67
6	1 год	складна деталь	67
7	1 год	складна деталь	67

Продовження таблиці 3.12

№ експерименту	Час обробки, год	Складність деталі	Кількість ацетону, мл
8	1 год	складна деталь	67
9	1 год	складна деталь	67
10	1 год	складна деталь	67
11	1 год	складна деталь	67
12	1 год	складна деталь	67
13	1 год	складна деталь	67
14	1 год	складна деталь	67
15	1 год	складна деталь	67
16	1 год	складна деталь	67
17	1 год	складна деталь	67
18	1 год	складна деталь	67
19	1 год	складна деталь	67
20	1 год	складна деталь	67

Беручи до уваги складність деталі, можна сказати, що з проведених експериментів була більшість гарних результатів з 67 мл ацетону та 1 год часу експерименту для складної деталі, що є дуже гарним результатом.

Діаграма експериментів відносно якості деталі приведено на рисунку 3.14.

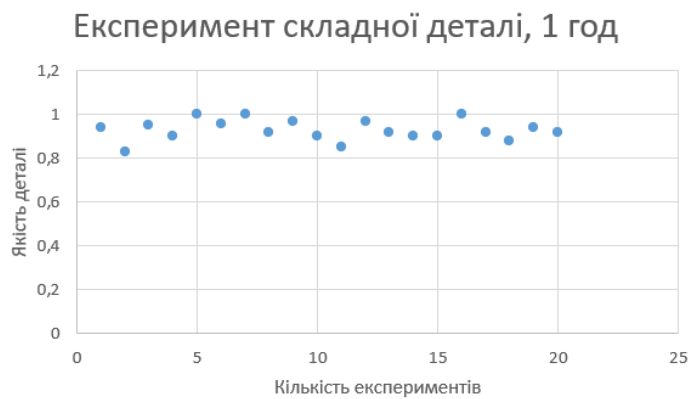


Рисунок 3.14 – Результати експерименту складної деталі

Результати обробки складної деталі зображені на рисунках 3.15-3.17 у вигляді динозавру. На рисунку 3.15 зображена необроблена деталь, на якій дуже добре помітно шари наплавлення пластику. Справа На рисунку 3.16 маємо деталь з невеликою обробкою, бо шари наплавлення дуже добре помітно. На рисунку 3.17 зображено деталь з гарною обробкою.

Для середньої деталі 67 мл ацетону та часом обробки 1 година є оптимальним значенням досягнення результату, представленого в ТЗ, згідно результатів проведених експериментів. При збільшенні кількості ацетону деталь починала плавитись та ззовні деталь виглядала дуже погано.



Рисунок 3.15 – Складна деталь без обробки



Рисунок 3.16 – Складна деталь з невеликою обробкою



Рисунок 3.17 – Складна деталь з гарною обробкою

Загальний вигляд деталей зображень на рисунку 3.18.



Рисунок 3.18 – Експерименти складної деталі

3.6 Техніка безпеки

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності [26].

При роботі з ацетоном важливо дотримуватися правил техніки безпеки. Для роботи з ацетоном потрібно добре провітрюване приміщення з витяжною вентиляцією.

3.6.1 Техніка безпеки при роботі з ацетоном

Ацетон є леткою рідиною з характерним запахом [27]. Температура кипіння дорівнює 56,1 °С, температура плавлення – - 95 °С. Діелектрична проникність ацетону дорівнює 20 °С [28].

При роботі з ацетоном потрібно дотримуватися таких правил:

- використовувати приміщення з використанням припливно-витяжної вентиляції;
- обладнання має бути герметизоване;
- засоби захисту органів дихання - протигаз марки «А» або «БКФ»;

– для пожежогасіння використовувати порошкові вогнегасники, пісок, азбестова ковдра, воду і піна.

3.6.2 Вентиляція приміщень

Приміщення мають бути добре провітрювані, та обов'язково мати витяжну вентиляцію.

Експерименти проводяться в закритій лабораторії площею 24 м² (рис. 3.19).

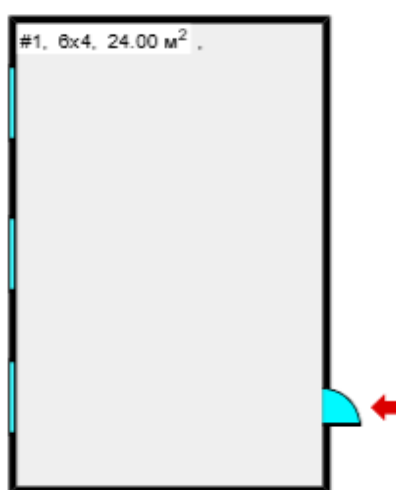


Рисунок 3.19 – Схема приміщення

Витяжна система забирає відпрацьоване повітря з приміщення та викидає його назовні [29]. Кількість (маса) повітря, що потрапляє в будинок дорівнює кількості повітря, що видаляється з нього, тому для збалансованого повітрообміну в будинку чи споруді, як правило, передбачається комбінація припливних і витяжних систем.

3.7 Висновки до третього розділу

Можна зробити висновок, що проводячи експерименти було знайдено оптимальний час обробки та кількість використаного ацетону для кожного

типу деталі. Якість постобробки деталі визначалась візуально. Я як людина, яка займається цією справою та маючи досвід в роботі з обробкою деталей ацетоном вважаю себе спеціалістом в цій сфері та можу визначити якість постобробки. Також для визначення шорсткості поверхні використовувався профілометр [30] – прилад, яким визначають розмір нерівностей (шорсткість) обробленої поверхні деталей. Була досягнута необхідна шорсткість деталі в діапазоні від 10 мкм до 20 мкм згідно ТЗ.

Як зображено на рисунку 3.20, проста деталь досягла прогнозованих результатів при кожному інтервалі часу.

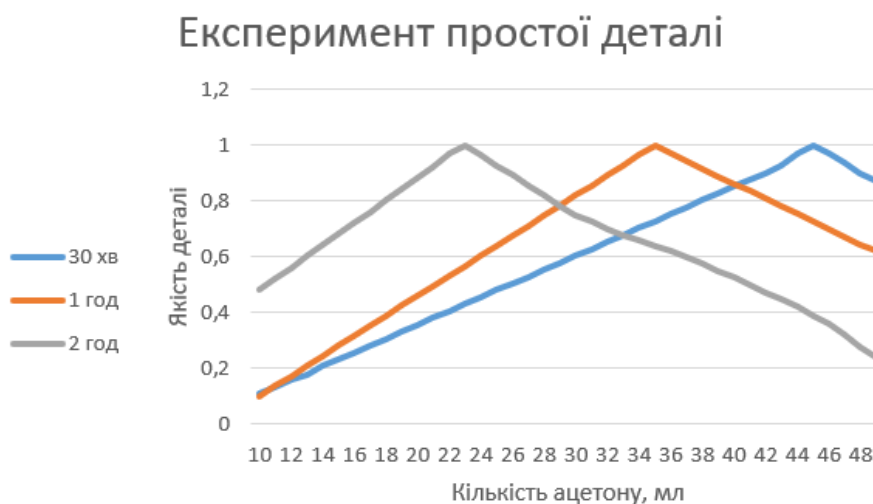


Рисунок 3.20 – Результати експерименту простої деталі

Для середньої деталі було збільшено кількість експериментів з 40 до 45 та мінімальну кількість ацетону з 10 до 15. Також можна бачити, що середня деталь досягла результатів, представлених в ТЗ, при кожному часі експерименту (рис. 3.21).

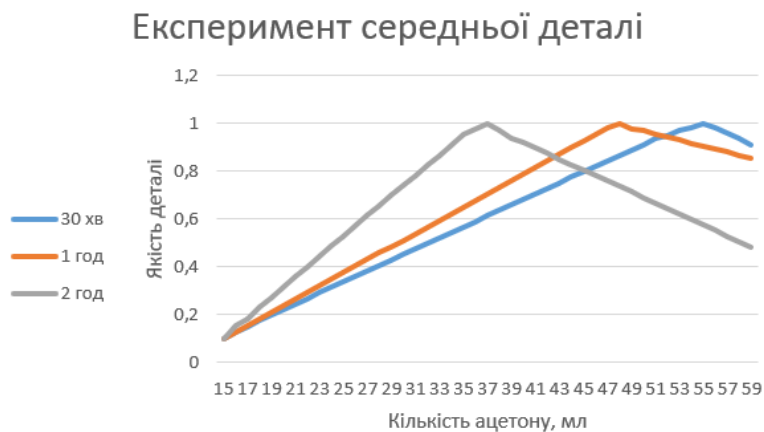


Рисунок 3.21 – Результати експерименту середньої деталі

Складна деталь досягла прогнозованих результатів тільки в двох експериментах. Кількість експериментів було збільшено до 50, та мінімальну кількість ацетону до 20 мл. Як можна бачити, при експерименті на 30 хв гарного результату не було досягнуто. Прогнозований результат був досягнутий при експерименті за 1 год та кількості ацетону 66 мл, та за 2 год при кількості ацетону 57 мл (рис. 3.22).

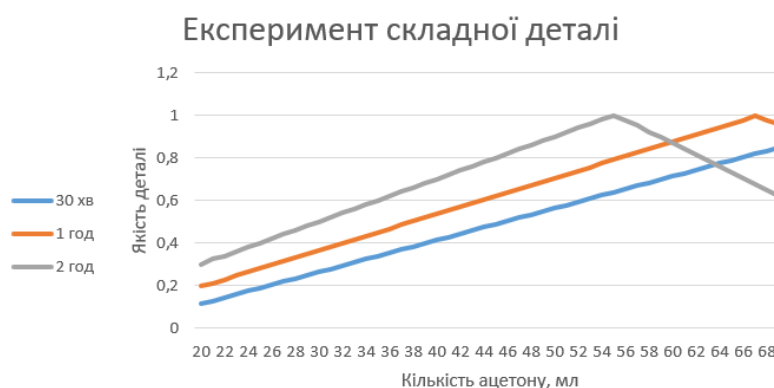


Рисунок 3.22 – Результати експерименту складної деталі

Було проведено підтвердження експерименту для кожної деталі. Проведено 20 експериментів з інтервалом часу 1 год для всіх деталей. Для

простої деталі кількість ацетону складає 35 мл, для середньої – 48 мл, для складної – 67 мл. В ході проведення експериментів були досягнуто прогнозованих результатів постобробки деталей з шорсткістю поверхні в діапазоні від 10 мкм до 20 мкм.

Було побудовано крапкові графіки для відображення результатів експериментів.

Приведено приклади обробки деталей у вигляді рисунків:

- для простої деталі – зображення циліндру та шестикутника;
- для середньої деталі – зображення фігури у вигляді брелка;
- для складної деталі – зображення динозавру.

З техніки безпеки було розглянуто роботу з ацетоном та приміщення з гарною вентиляцією.

Розглянуто основні характеристики ацетону. Температура кипіння дорівнює 56,1 °С, температура плавлення – - 95 °С. Діелектрична проникність ацетону дорівнює 20 °С.

Приміщення мають бути добре провітрювані, та обов'язково мати витяжну вентиляцію. Витяжна система забирає відпрацьоване повітря з приміщення та викидає його назовні.

Експерименти проводяться в закритій лабораторії площею 24 м².

4 МОДЕРНІЗАЦІЯ РОБОТИ ПРОГРАМИ

4.1 Модернізація програми

Для модернізації програми були добавлені такі конструктивні елементи:

- модулі реле;
- водяний насос для контрольованої подачі ацетону;
- перистальтичний насос для циркуляції парів ацетону всередині автоматизованої камери.

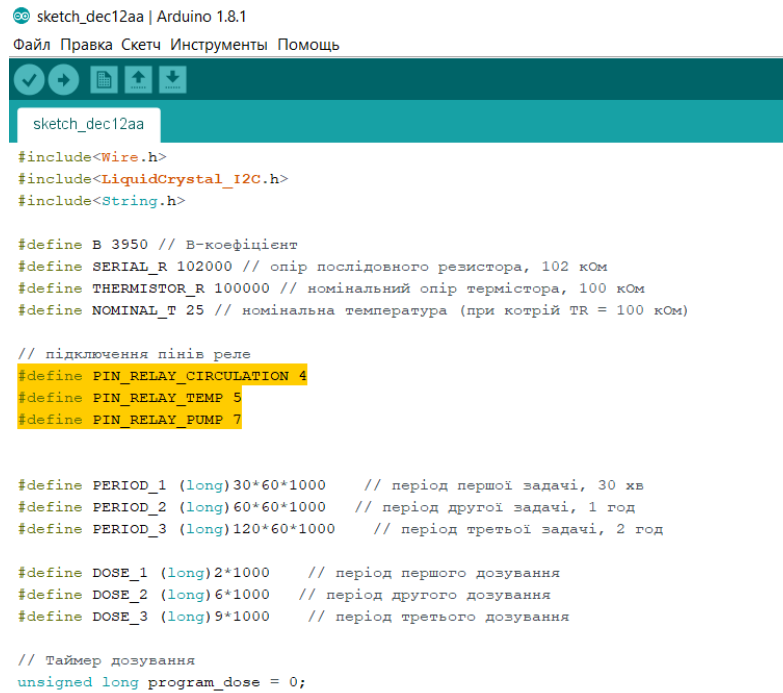
Розробка ведеться у середовищі Arduino IDE, яка створена спеціально для розробки програм для платформи Arduino. Мовою написання коду код написаний на C ++, адаптований під Arduino.

Спочатку було підключено бібліотеку LiquidCrystal. Ця бібліотека дозволяє Arduino керувати різними рідкокристалічними дисплеями (LCD), побудованими на базі поширеного чіпсету Hitachi HD44780 (або сумісного) [31].

Також підключено бібліотеку Wire.h. Ця бібліотека дозволяє спілкуватися з пристроями I2C/TWI. На платах Arduino з компонуванням R3 SDA (лінія передачі даних) і SCL (лінія тактового сигналу) розташовані на контактних роз'ємах поруч із висновком AREF [32].

String.h бібліотека – заголовний файл стандартної бібліотеки мови C++, що містить функції для роботи з нуль-термінованими рядками і різними функціями роботи з пам'яттю [33].

Далі були підключені модулі реле до пінів 4, 5 та 7. Код програми приведено на рисунку 4.1.



```

sketch_dec12aa

#include<Wire.h>
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
#include<String.h>

#define B 3950 // B-коефіцієнт
#define SERIAL_R 102000 // опір послідовного резистора, 102 кОм
#define THERMISTOR_R 100000 // номінальний опір термістора, 100 кОм
#define NOMINAL_T 25 // номінальна температура (при котрій TR = 100 кОм)

// підключення пінів реле
#define PIN_RELAY_CIRCULATION 4
#define PIN_RELAY_TEMP 5
#define PIN_RELAY_PUMP 7

#define PERIOD_1 (long)30*60*1000 // період першої задачі, 30 хв
#define PERIOD_2 (long)60*60*1000 // період другої задачі, 1 год
#define PERIOD_3 (long)120*60*1000 // період третьої задачі, 2 год

#define DOSE_1 (long)2*1000 // період першого дозування
#define DOSE_2 (long)6*1000 // період другого дозування
#define DOSE_3 (long)9*1000 // період третього дозування

// Таймер дозування
unsigned long program_dose = 0;

```

Рисунок 4.1 – Підключення реле

Для роботи водяного насосу для дозування ацетону потрібно задати час роботи. Для цього було знайдено оптимальне значення часу для кожної дози. Приклад представлено на рисунку 4.2.

```

#define PERIOD_1 (long)30*60*1000 // період першої задачі, 30 хв
#define PERIOD_2 (long)60*60*1000 // період другої задачі, 1 год
#define PERIOD_3 (long)120*60*1000 // період третьої задачі, 2 год

#define DOSE_1 (long)2*1000 // період першого дозування
#define DOSE_2 (long)6*1000 // період другого дозування
#define DOSE_3 (long)9*1000 // період третього дозування

// Таймер дозування
unsigned long program_dose = 0;

// Таймер
unsigned long program_period_time = 0;
// Змінна таймеру
unsigned long program_timer;

// Реле та температура
unsigned long period_delay_time = (long)200;
// Змінна таймеру
unsigned long delay_timer;

```

Рисунок 4.2 – Підключення часу дозування

Далі було додано змінну, що відповідає за час роботи таймеру дозування.

```
unsigned long program_dose = 0;
```

Після цього потрібно ініціалізувати дані. Для цього використовується блок коду setup().

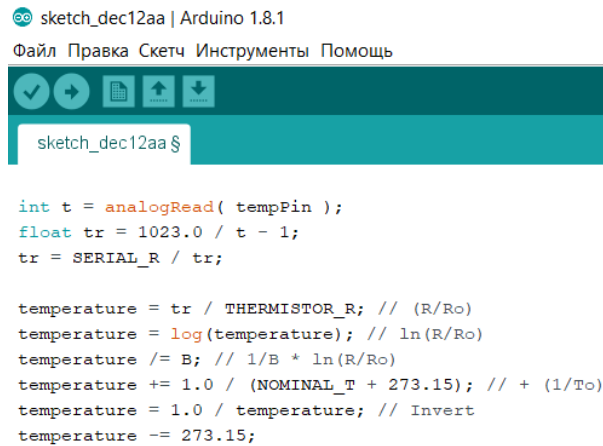
```
void setup()
{
  lcd.init(); // Ініціалізація дисплея

  //термістор
  Serial.begin( 9600 );//Швидкість передачі даних
  pinMode( tempPin, INPUT );//Оголошено пін термістора входом

  //реле
  pinMode(PIN_RELAY_TEMP, OUTPUT); // Оголошуємо пін реле як
вихід
  digitalWrite(PIN_RELAY_TEMP, HIGH); // Виключаємо реле -
посилаємо високий сигнал
  pinMode(PIN_RELAY_PUMP, OUTPUT);
  digitalWrite(PIN_RELAY_PUMP, HIGH);
  pinMode(PIN_RELAY_CIRCULATION, OUTPUT)
  digitalWrite(PIN_RELAY_CIRCULATION, HIGH);

  delay_timer = millis();//скидання значення таймеру реле та температури
  display_timer = millis();//скидання значення таймеру дисплея
}
```

Розрахунок датчика температури в програмному середовищі представлений на рисунку 4.3.



```

sketch_dec12aa | Arduino 1.8.1
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

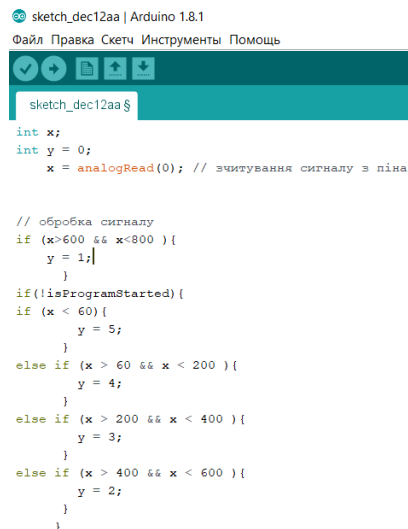
sketch_dec12aa $

int t = analogRead( tempPin );
float tr = 1023.0 / t - 1;
tr = SERIAL_R / tr;

temperature = tr / THERMISTOR_R; // (R/Ro)
temperature = log(temperature); // ln(R/Ro)
temperature /= B; // 1/B * ln(R/Ro)
temperature += 1.0 / (NOMINAL_T + 273.15); // + (1/To)
temperature = 1.0 / temperature; // Invert
temperature -= 273.15;
  
```

Рисунок 4.3 – Підключення датчика температури

Включення програми буде відбуватися по кнопках дисплею. По натисканню кожної кнопки приходить сигнал. Його потрібно обробити, щоб знати яка кнопка була натиснута. Код програми представлений на рисунках 4.4 - 4.5.



```

sketch_dec12aa | Arduino 1.8.1
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

sketch_dec12aa $

int x;
int y = 0;
x = analogRead(0); // зчитування сигналу з піна

// обробка сигналу
if (x>600 && x<800 ) {
  y = 1;
}
if(!isProgramStarted){
  if (x < 60){
    y = 5;
  }
  else if (x > 60 && x < 200 ) {
    y = 4;
  }
  else if (x > 200 && x < 400 ) {
    y = 3;
  }
  else if (x > 400 && x < 600 ) {
    y = 2;
  }
}
  
```

Рисунок 4.4 – Підключення обробки сигналу кнопок



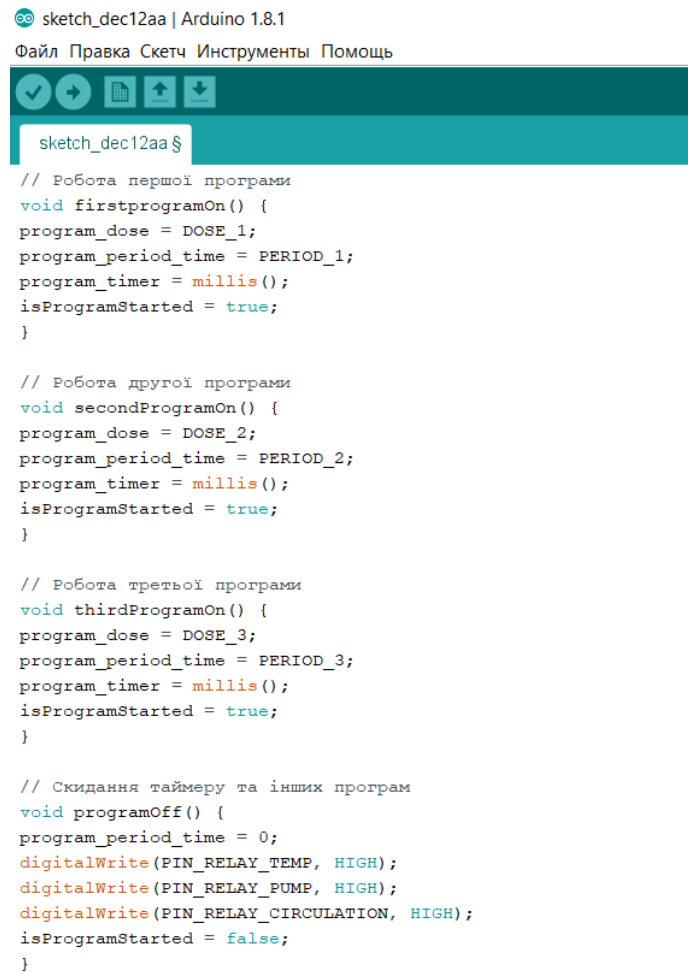
Для регулювання температури нагріву було створено метод керування реле. Якщо температура підіймається більше, ніж 57 °C.

```

// Принцип дії реле
void checkTemperature() {
  if (temperature <= 57) {
    digitalWrite(PIN_RELAY_TEMP, LOW);
  }
  else{
    digitalWrite(PIN_RELAY_TEMP, HIGH);
  }
}

```

Далі було модифіковано програми для кожної деталі та часу. Код представлений на рисунку 4.6.



```

sketch_dec12aa | Arduino 1.8.1
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

sketch_dec12aa $

// Робота першої програми
void firstProgramOn() {
  program_dose = DOSE_1;
  program_period_time = PERIOD_1;
  program_timer = millis();
  isProgramStarted = true;
}

// Робота другої програми
void secondProgramOn() {
  program_dose = DOSE_2;
  program_period_time = PERIOD_2;
  program_timer = millis();
  isProgramStarted = true;
}

// Робота третьої програми
void thirdProgramOn() {
  program_dose = DOSE_3;
  program_period_time = PERIOD_3;
  program_timer = millis();
  isProgramStarted = true;
}

// Скидання таймеру та інших програм
void programOff() {
  program_period_time = 0;
  digitalWrite(PIN_RELAY_TEMP, HIGH);
  digitalWrite(PIN_RELAY_PUMP, HIGH);
  digitalWrite(PIN_RELAY_CIRCULATION, HIGH);
  isProgramStarted = false;
}

```

Рисунок 4.6 – Функції роботи програм за складністю деталей та часом

Далі було модифіковано процес відключення програм та реле.

```

if (isProgramStarted&&millis() - program_timer >= program_dose) {
  digitalWrite(PIN_RELAY_PUMP, LOW);
  if ( isProgramStarted&&millis() - program_timer >= program_period_time)
  {
    program_timer = millis();
    isProgramStarted = false;
    digitalWrite(PIN_RELAY_TEMP, HIGH);
    digitalWrite(PIN_RELAY_CIRCULATION, HIGH);
  }
}

```

```

}else {
    digitalWrite(PIN_RELAY_PUMP, HIGH);
}

```

Для виводу інформації про роботу програми та час, що було вибрано, відповідає код, представлений на рисунку 4.7.



```

sketch_dec12aa | Arduino 1.8.1
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

sketch_dec12aa $

if ( millis() - display_timer >= period_display_time) {
    display_timer = millis();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(8,1);
    String temperatureDisplay = String(temperature) + (char)223 + "C";
    lcd.print(temperatureDisplay);

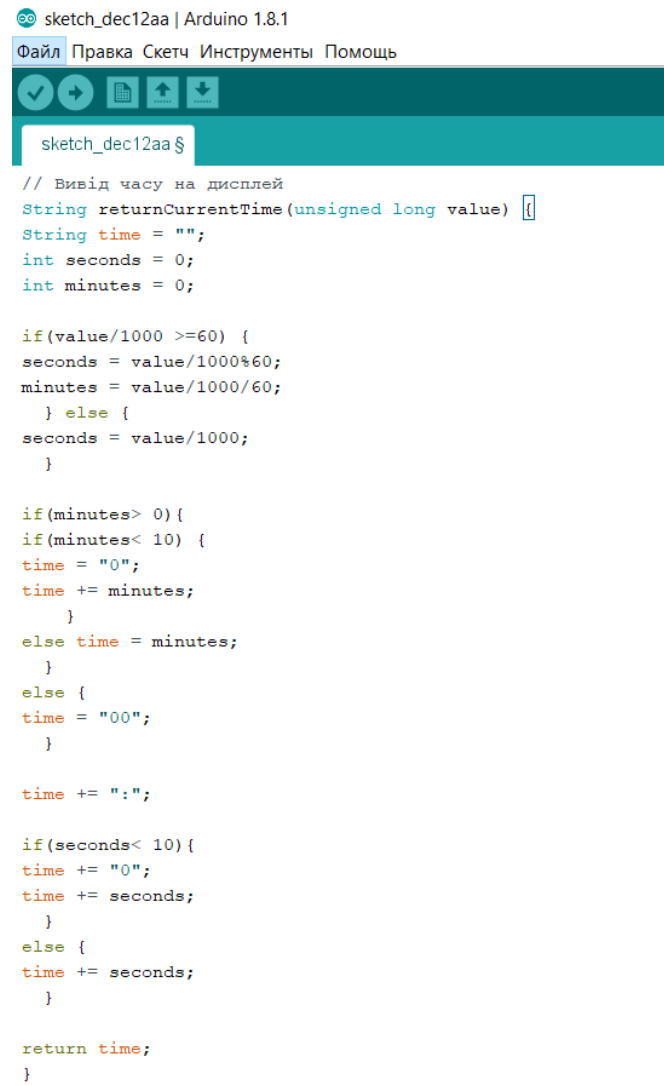
    if(isProgramStarted){
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        if(program_period_time == PERIOD_1){
            lcd.print("Pr#1 - 30 min");
        } else if(program_period_time == PERIOD_2){
            lcd.print("Pr#2 - 60 min");
        } else if(program_period_time == PERIOD_3){
            lcd.print("Pr#3 - 120 min");
        }
        } else {
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("Programsoff");
        }

        lcd.setCursor(0,1);
        if(isProgramStarted){
            String time = returnCurrentTime(millis() - program_timer);
            lcd.print(time);
        } else {
            lcd.print("00:00");
        }
    }
}

```

Рисунок 4.7 – Показ зображення на дисплеї

За вивід часу на дисплей відповідає функція `returnCurrentTime()`. Код представлений на рисунку 4.8.



```

sketch_dec12aa | Arduino 1.8.1
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

sketch_dec12aa$

// Вивід часу на дисплей
String returnCurrentTime(unsigned long value) {
String time = "";
int seconds = 0;
int minutes = 0;

if(value/1000 >=60) {
seconds = value/1000%60;
minutes = value/1000/60;
} else {
seconds = value/1000;
}

if(minutes> 0){
if(minutes< 10) {
time = "0";
time += minutes;
}
else time = minutes;
}
else {
time = "00";
}

time += ":";

if(seconds< 10){
time += "0";
time += seconds;
}
else {
time += seconds;
}

return time;
}

```

Рисунок 4.8 – Показ часу на дисплеї

Повний код програми приведений в додатку А.

4.2 Висновки до четвертого розділу

В четвертому розділі було модифіковано роботу програми. Додано 2 реле, які відповідають за включення мембранного та перистальтичного насосу. Було змінено роботу програм по кнопкам. По кожній кнопці включається різний режим з різним проміжком часу та різним дозуванням.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було виконано автоматизацію дозування рідин в автоматизованій камері для хімічної обробки деталей отриманих за допомогою 3D друку.

У першому розділі було розглянуто та проаналізовано методи дозування рідини автоматизованої лазні, а саме: постійне та квазіпостійне дозування, дозування порціями, пропорційне дозування, дозування в системах зі зворотним зв'язком, вагове дозування, дозування за часом, дозування за обсягом, дозування за рівнем, комбіноване дозування. Було зроблено постановку задачі дослідження.

У другому розділі було розроблено стратегію експерименту. Модернізовано автоматизовану камеру. Додано до конструкції мембранний та перистальтичний насоси. Розроблено блок-схему управління автоматизованою камерою, монтажну та електричну схему пристрою. Розроблено схему виконання експерименту та приведено умовну модель експерименту для чіткого розуміння поставленої задачі.

У третьому розділі було проведено експерименти для кожної складності деталі та визначено кількість ацетону для кожної. Розроблено діаграми якості деталі. Проведено підтвердження експерименту для кожної деталі. Побудовано крапкові графіки для відображення результатів експериментів. Приведено приклади обробки деталей у вигляді рисунків. Розглянуто техніку безпеки при роботі з ацетоном та приміщення з гарною вентиляцією. Досягнуто необхідної шорсткості деталі в діапазоні від 10 мкм до 20 мкм згідно ТЗ.

У четвертому розділі було модифіковано роботу програми. Змінено роботу програм по кнопкам, та час роботи програми. Розроблено контроль дозування системи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: довід. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова – Київ, 2018. 320 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкорвайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2021. 55 с.
4. Аналіз методів дозування рідин для ацетонової лазні / І.В. Журавель, Д. В. Гурін // Матеріали VI-ої Міжнародної VI конференц Виробництво & Мехатронні Системи Тези доповідей. 2022: Харків, ХНУРЕ, 21-22 жовтня 2022. С. 57-60.
5. Методи дозування рідин. URL: https://wiki.tntu.edu.ua/Методи_дозування_рідин. (дата звернення 30.09.2022).
6. Вагові дозатори. URL: https://studref.com/478125/tehnika/vesovye_dozatory. (дата звернення 06.09.2022).
7. Дозування за об'ємом та краплями. URL: <https://keli.com.ua/vagovi-dozatori-vidi-harakteristiki/>. (дата звернення 06.09.2022).
8. Основні способи вагового дозування. URL: https://studme.org/143344/tehnika/osnovnye_sposoby_vesovogo_dozirovaniya. (дата звернення 07.09.2022).

9. Характеристика методів дозування та способів фасування рідкої продукції. URL: <https://studfile.net/preview/8807010/page:3/>. (дата звернення 07.09.2022).
10. Дозування за об'ємом та краплями. URL: <https://studfile.net/preview/1902764/page:27/>. (дата звернення 08.09.2022).
11. Принцип дозування за рівнем. URL: <https://flexmash.com/chto-takoe-dozator/>. (дата звернення 09.09.2022).
12. Принцип дозування пневматичної системи. URL: <http://akvus.ua/princip-dozirovaniapnevmaticheskoy-sistemy/>. (дата звернення 09.09.2022).
13. Основи розрахунку обладнання для дозування сипучих та рідких матеріалів. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/lekciya-4-osnovy-rozrahunku-obladnannja-dlja-dozuvannja-sypuchyh-ta-ridkyh-materialiv.pdf>. (дата звернення 10.09.2022).
14. Дозуюче обладнання. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%20%D0%A1%D0%B0%D0%B9/page17.. (дата звернення 11.09.2022).
15. Эксикатор. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Эксикатор>. (дата звернення 15.09.2022).
16. Ексикатор – для чого використовується, принцип роботи, особливості. URL: <https://himbaza.com/blog/eksikator--dlya-chego-ispolzuet-sya-princip-raboty-osobennosti/>. (дата звернення 16.09.2022).
17. Ексикатор – для чого використовується, принцип роботи, особливості. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Діафрагмовий_насос. (дата звернення 18.09.2022).
18. Мембранный воздушно-водяной насос 12В. URL: <https://prom.ua/p1270629929-membrannyj-vozdushno-vodyanoj.html>. (дата звернення 19.09.2022).
19. Будова і принцип дії мембранних насосів. URL: <https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/rozdil-persij-osnovi-gidravliki-i-nasosi/-3-nasosi/3-12-budova-i-princip-diie-membrannih-nasosiv>. (дата звернення 20.09.2022).

20. Мембранный воздушно-водяной насос 12В. URL: https://aliexpress.com/item/4001242680455.html?sku_id=10000015437096203. (дата звернення 21.09.2022).
21. Мембранный воздушно-водяной насос 12В. URL: https://wiki.tntu.edu.ua/Перистальтичний_насос. (дата звернення 24.09.2022).
22. Перистальтичний насос. URL: <https://prom.ua/p840854120-peristalticheskij-nasos-100.html>. (дата звернення 27.09.2022).
23. Перистальтичний насос. URL: <https://co-di.com.ua/ua/p840854120-peristalticheskij-nasos-100.html>. (дата звернення 30.09.2022).
24. Технології виробництва. Розбираємося що таке перистальтичні насоси. URL: <https://veche.kiev.ua/news/242142/> . (дата звернення 02.10.2022).
25. Що таке перистальтичні насоси та як вони працюють. URL: <https://www.debem.com.ua/ukr/news/?sid=76021>. (дата звернення 04.10.2022).
26. Інструктаж з охорони праці: порядок проведення та види. URL: https://ua.prostopravo.com.ua/pratsevlashtuvannya/statti/instruktazh_z_ohoroni_pratsi_poryadok_provedennya_ta_vidi. (дата звернення 08.10.2022).
27. Ацетон. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ацетон> . (дата звернення 08.10.2022).
28. Ацетон. URL: <https://vue.gov.ua/Ацетон>. (дата звернення 08.10.2022).
29. Вентиляція. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Вентиляція>. (дата звернення 08.11.2022).
30. Профілометр. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Профілометр>. (дата звернення 15.11.2022).
31. Библиотека LiquidCrystal. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/prog/LiquidCrystal> . (дата звернення 01.12.2022).
32. Wire. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/> . (дата звернення 01.12.2022).
33. string.h. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/String.h> . (дата звернення 03.12.2022).