

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)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

(тема)

Модернізація конструкції пристрою хімічної постобробки виробів з пластмас

Виконав: студент 2 курсу, гр. ІТМРТм-19-1
Тищенко Д. В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність

172 Телекомунікації та радіотехніки

освітньої програми Інтелектуальні технології

мікросистемної радіоелектронної техніки

(код і повна назва напряму)

Тип програми освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Ромашов Ю.В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

2020 р.

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніки
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____ (підпис)

« _____ » _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові _____ Тищенко Дмитро Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація конструкції пристрою хімічної постобробки виробів з пластмас

затверджена наказом по університету від 02.11. 2020 р. № 1508 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії . . 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Розміри макету в межах 500x500x500мм

3.2 Вага макету не повинна перевищувати 5 Кг.

3.3 Максимальний споживаний струм 5 А

3.4 Максимальна потужність, що споживається 60 Вт

3.5 Пристрій повинен працювати від зовнішнього джерела живлення 12В

3.6 Кліматичне виконання для УХЛ 4.2

4. Перелік питань, що треба опрацювати в роботі:

4.1 Провести аналіз модернізації конструкції пристрою хімічної постобробки

4.2 Провести аналіз принципу роботи пристрою хімічної постобробки

4.3 Розробити конструкцію модулю керування

4.4 Розробити алгоритм роботи модулю керування

4.5 Розробити програму для модернізованого пристрою хімічної постобробки

4.6 Розглянути питання пов'язані з охороною праці

4.7 Визначення параметрів макету

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 10 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	Отримання завдання	20.05.2020	виконав
2	Аналіз завдання	15.06.2020	виконав
3	Огляд літератури за темою роботи	07.08.2020	виконав
4	Створення електричної блок схеми	15.08.2020	виконав
5	Планування експерименту	10.09.2020	виконав
6	Проведення досліджень	06.10.2020	виконав
7	Оформлення атестаційної роботи	12.11.2020	виконав
8	Подання на підпис керівнику дипломного	20.11.2020	виконав
9	Подання роботи в ЕК		виконав

Дата видачі завдання 20.05.2020 р.

Студент _____
(підпис)

Тищенко Д.В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ромашов Ю.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 75 с., 43 рис., 4 табл., 16 джерел,
1 дод.

МЕТОДИ ПОСТОБРОБКИ ПЛАСТМАС, ПРИСТРІЙ ХІМІЧНОЇ
ПОСТОБРОБКИ, ПРИНЦИПОВА СХЕМА, НАПИСАННЯ КОДУ,
ВИГОТОВЛЕННЯ МАКЕТУ

Мета роботи – модернізація конструкції пристрою хімічної
постобробки виробів з пластмас.

Проведено аналіз методів постобробки деталей. Детально
проаналізовано процес хімічної постобробки, визначено основні параметри
процесу хімічної постобробки.

Розроблено структурну схему та алгоритм роботи пристрою хімічної
постобробки виробів з пластмас.

Розглянуто питання охорони праці.

Виготовлений макет пристрою хімічної постобробки виробів з
пластмас.

ABSTRACT

Explanatory note contains: 75 c., 43 rice, 4 tables, 16 source, 1 application.

METHODS OF PLASTIC CLEANING, CHEMICAL PROCESSING
DEVICE, PRINCIPAL SCHEME, WRITING CODE, MANUFACTURING A
MAKE

The purpose of the work is to modernization a device for chemical post-processing of plastic products.

The analysis of methods of postprocessing of parts is carried out. The process of chemical post-processing is analyzed in detail, the main parameters of the process of chemical post-processing are determined.

The structural scheme and algorithm of the device of chemical postprocessing of plastic products have been developed.

The issues of labor protection are considered.

A layout of the device for chemical post-processing of plastic products is manufactured.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	8
Вступ	9
1 Аналіз методів постобробки, аналіз структурної схеми пристрою і його аналогів.....	11
1.1 Аналіз методів постобробки виробів з пластмас	11
1.2 Аналіз структурної схеми пристрою	15
1.3 Аналіз аналогів	17
1.4 Висновки по першому розділу	22
2 Аналіз схеми електричної принципової та елементної бази	23
2.1 Вибір та аналіз схеми електричної принципової.....	23
2.2 Аналіз елементної бази та підбір радіоелементів	24
2.3 Монтажна схема пристрою	34
2.4 Висновки по другому розділу.....	35
3 Модернізація пристрою, дослідження матеріалу трубки насоса	36
3.1 Аналіз можливості модернізації пристрою	36
3.2 Дослідження матеріалу трубки насоса	38
3.3 Висновки по третьому розділу	42
4 Розробка коду для модулю керування пристроєм	43
4.1 Розробка коду програми	43
4.2 Висновки по четвертому розділу	51
5 Розробка 3D моделі пристрою постобробки.....	52
5.1 Розробка 3D моделі пристрою у програмі Autodesk 3ds Max	52
5.2 Висновки по п'ятому розділу	56
6 Розробка модернізованого макету пристрою постобробки хімічної постобробки	57
6.1 Аналіз та вибір матеріалів для корпусу пристрою	57
6.2 Збірка макету пристрою	22

6.3 Висновки по шостому розділу	61
7 Охорона праці.....	62
7.1 Аналіз умов праці на робочому місці	62
7.2 Промислова безпека в лабораторії	62
7.3 Виробнича санітарія в лабораторії	63
7.4 Розрахунок надійності	65
7.5 Техніка безпеки при роботі з ацетоном	67
7.6 Висновки по сьомому розділу	69
Висновки	70
Перелік джерел посилання	71
Додаток А. Демонстраційний матеріал	73
Додаток Б. Програмний код керування пристроєм	74

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

АС – автоматизовані системи;

ЕРЕ – електрорадіоелемент;

МК – мікроконтроллер;

ПЗ – програмне забезпечення;

ТП – технологічний процес;

ТЗ – технічне завдання;

ЧПК – числове програмне керування;

ABS – акрилонітрілбутадієнстірол;

FDM – технологія пошарового наплавлення;

HIPS – ударостійкий полістирол;

LED – світловипромінюючий діод;

PLA – полікапролактон.

ВСТУП

З кожним роком 3D друк займає дедалі вагомішу нішу у світовому виробництві деталей з пластмас. Швидкий і точний друк дозволяє значно спрощувати виготовлення пластмасових готових деталей, ергономічних корпусів, еталонів для ливарних форм тощо. Архітектура, дизайн, медицина, робототехніка, мистецтво, інженерія, макетування та прототипування – далеко не всі галузі застосування 3D друку.

На разі, найпоширенішою технологією 3D друку є технологія FDM, що дозволяє створювати тривимірні об'єкти за рахунок нанесення послідовних шарів матеріалу, які повторюють контури цифрової моделі. Недоліком технології є залишок слідів пошарового нанесення пластику на поверхні готових пластмасових виробів, тож деталь потребує подальшої фінішної обробки.

Одним з найефективнішим способом постобробки вважається хімічний спосіб, котрий полягає у властивості деяких хімічних речовин розщеплювати поверхневий шар надрукованого пластмасового виробу, завдяки чому його поверхність стає більш гладкою.

Для спрощування процесу фінішної постобробки деталей з пластмас був розроблений макет пристрою хімічної постобробки. Його принципом роботи є нагрівання хімічної речовини та рівномірна циркуляція її випарів у герметичній камері, у котрій розміщується об'єкт, що оброблюється. Такий пристрій робить процес постобробки значно легшим, але теж має свої недоліки. При роботі з пристроєм оператор повинен власноруч наповнювати контейнер хімічною речовиною, що потребує використання засобів індивідуального захисту від шкідливих випарів.

Модернізація герметичності пристрою та розробка автоматизованої системи насосів для подачі хімічною речовини у середину робочої камери значно підвищить безпеку оператора при роботі з приладом.

Таким чином метою магістерської випускної атестаційної роботи

являється виготовлення модернізованого макету пристрою хімічної постобробки деталей, виготовлених 3D друком.

Об'єкт дослідження – хімічна постобробка деталей, виготовлених 3D друком.

Предмет дослідження – пристрій хімічної постобробки деталей, виготовлених 3D друком.

Методи дослідження – метод кінцевих елементів, дисперсійний аналіз, методи ідентифікації, повний факторний експеримент.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати особливості проектування та виготовлення модернізованого макету пристрою хімічної постобробки деталей, виготовлених 3D друком;
- розробити 3D-моделі конструкції модернізованого макету пристрою хімічної постобробки деталей, виготовлених 3D друком;
- провести розрахунок основних виробничих факторів пристрою хімічної постобробки деталей, виготовлених 3D друком;
- модернізувати макет пристрою хімічної постобробки деталей, виготовлених 3D друком;
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1], та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2].

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОСТОБРОБКИ, АНАЛІЗ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ І АНАЛОГІВ ПРИСТРОЮ

1.1 Аналіз методів постобробки виробів з пластмас

Система 3D-друку технологією пошарового наплавлення створена, щоб одразу отримувати високоякісні деталі з пластмас безпосередньо з принтера, але на виготовлених виробах залишаються лінії пошарового з'єднання, зображені на рисунку 1.1. Щоб усунути пошаровий вигляд поверхні до кінцевого об'єкту застосовують методи фінішної постобробки.

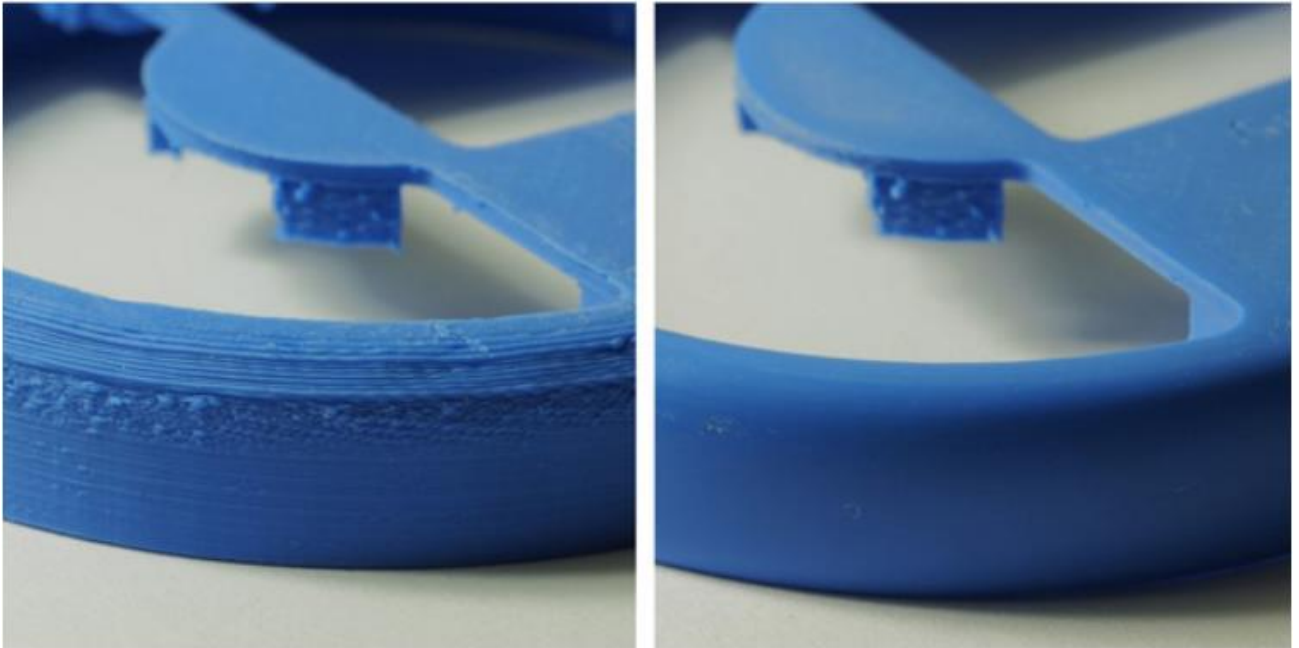


Рисунок 1.1 – Деталь 3D друку до і після постобробки [11]

На теперішній час існує три найефективніші способи постобробки друкованих 3D-об'єктів з пластмас:

- шліфування;
- пікоструйна обробка;
- обробка парами хімічних розчинників;

Завдяки постобробці деталей можливо отримати об'єкти настільки гладкими і полірованими, як за традиційними промисловими технології.

Який метод застосовувати, багато в чому залежить від геометрії та матеріалу деталі. Ці фактори визначають необхідний рівень естетики і її функціональність, оскільки різні методи дозволяють досягти різної текстури поверхні і зовнішнього вигляду об'єкту. Деякі методи краще підходять для прототипів і виставкових моделей, інші – для частин механізмів.

Шліфування абразивними матеріалами поверхні виробу (рисунок 1.2) дозволяє усунути недоліки і може бути використана для моделей, торгових зразків або концепцій, повнофункціональних прототипів, вузлів і механізмів кінцевого рівня.



Рисунок 1.2 – Шліфування деталі [11]

Для згладжування високоякісних об'єктів, виготовлених на 3D-принтері і для того, щоб видалити лінії у місцях наплавлення слоїв зазвичай шліфування достатньо.

Процес ошкурювання всім відомий. Пластикові деталі обробляють руками або на шліфовальному станку, як це робиться з дерев'яними або

металічними елементами. Ошкурювання – дешевий, ефективний і перевірений метод, за допомогою якого можна домогтися якісної поверхні.

Якщо від деталі потребується точність і міцність, то важливо знати скільки матеріалу буде видалено при обробці і врахувати у 3D моделі.

Другим за поширеністю методом доведення є піскоструйна обробка (рисунок 1.3). У цьому випадку оператор управляє соплом, з якого на деталь розпорошується дрібнодисперсний матеріал. Процес швидкий, деталь розміщується в закритій камері, у яку направляється потік дрібних пластикових частинок, в результаті чого через 5–10 хвилин поверхня стає гладкою.



Рисунок 1.3 – Піскоструйна обробка [11]

Дана технологія легко модифікується, її можна використовувати з більшістю матеріалів. Застосовується вона і в період розробки і виготовлення деталі, на будь-якому етапі – від прототипування до виробництва. Такого роду гнучкість зумовлена тим, що обробка зазвичай проводиться дрібними частинками тонко переробленого термопластика. Дуже добре працює

харчова сода, оскільки вона не дуже агресивна. З нею, однак, працювати трохи складніше, ніж з пластиком. Після піскоструминної обробки об'єкт готовий для нанесення плівкового, захисного або декоративного шару. Такі покриття зазвичай наносяться на більш міцні матеріали, до яких пред'являються високі вимоги.

Одне з обмежень піскоструминної обробки – розмір об'єкта. Оскільки процес проводиться в закритій камері обмеженого обсягу, зазвичай мова йде про габарити приблизно до 60x80x80 см. Піскоструминна обробка здійснюється вручну, тому за один раз доводиться тільки одна деталь і ні про яке «масовому виробництві» мови не йде.

Третій метод доведення називається обробкою парами або парова обробкою. В цьому випадку деталь знаходиться в середовищі випарів речовини, доведеної до точки кипіння. Частинки випарів речовини вплаваються в оброблювану поверхню на глибину приблизно 2 мікрони, роблячи її гладкою і глянцева (рисунок 1.4) всього за кілька секунд, мінус такої технології – загладжуються кути і дрібні деталі.

Ті, хто вважають за краще матову поверхню, можуть піддати деталь піскоструминної обробці після обробки парами, коли деталь вже згладжена і механічне контактне напруження знято.

Оскільки поверхню виходить дуже гладкою, обробка парами широко застосовується для предметів широкого попиту та прототипів. Метод не істотно позначається на точності деталі.



Рисунок 1.4 – Глянцева поверхність, як результат обробки ацетоном [6]

У технології обробки парами, як і у пікоструйної обробки, є обмеження за розмірами деталей. Також, на відміну від ошкурювання і пікоструминної обробки, обробка парами має обмеження і за матеріалами.

Кожен матеріал має свій розчинник. Для обробки ABS-пластика використовується ацетон. При обробці PLA-пластика використовується тетрагідрофуран або дихлорметан. Після обробки матеріали досить практичні і міцні, створені вироби зберігають свою початкову міцність і гнучкість [5].

1.2 Аналіз структурної схеми пристрою

Пристрій постобробки деталей 3D друку включає до свого складу наступні основні функціональні елементи:

- модуль автоматизованого керування приладом;
- блок керування;
- блок індикації;
- таймер;
- нагрівальний елемент (випарник).

Розроблена структурна схема приладу представлена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Структурна схема пристрою

Пристрій для автоматизованої хімічної обробки виробів 3D-друку включає в себе повністю герметизовану робочу камеру з ущільнювачами. Верхня частина корпусу зі скла виконує роль кришки пристрою та дозволяє бачити хід процесу обробки. Слід зазначити, що скло найліпший матеріал для контакту з ацетоном. Нижня частина корпусу складається з алюмінієвого контейнеру склеєного зі своєю кришкою іншою стороною, у результаті чого знизу має отвір для розміщення радіодеталей, також у контейнері прорізані додаткові отвори для дисплею, енкодера, кнопки та роз'єму живлення. У місці де алюмінієвий корпус закривається скляною кришкою по контуру розміщений ущільнювач, що не розчиняється ацетоном. Усередині камери розміщена робоча поверхня пристрою, котра складається з металевого столику, гвинтів і шайб, що тримають нагрівальний елемент з чотирьох резисторів 10 Вт 10 Ом розміщений на залізних підставках з гвинтами та гайками.

Для додаткової надійності конструкції використовуються гумові утримувачі. Над нагрівальним елементом з резисторів знаходиться залізна тара для хімічного розчинника, наприклад, ацетону. Найвище на нагріваючому столику знаходиться решітка, на яку має ставитися оброблювана деталь. Коли ємність з розчинником нагрівається відбувається циркуляція пару, котрий в'їдається у деталь та роз'їдає її поверхневий шар. За циркуляцію пару відповідає електродвигун 12 вольтовий з крильчаткою.

Пристрій дозволяє підвищити ступінь автоматизації процесу згладжування.

1.3 Аналіз аналогів

Серед аналогів пристрою можна виділити значну кількість аматорських розробок. У більшості з них схожий і доволі зрозумілий принцип роботи з мінімальним набором елементів. Це в першу чергу герметичний корпус пристрою, усередині якого розміщується оброблюваний об'єкт. Зазвичай у якості корпусу використовується контейнер з поліпропілену, інертного до випарів ацетону, зображеного на рисунку 1.6



Рисунок 1.6 – Приклад корпусу виготовленого з контейнера [10]

До корпусу приєднується мікродвигун з крильчаткою, призначений для циркуляції випарів ацетону у межах робочої камери, що дозволяє рівномірно розчиняти поверхневий шар оброблюваного виробу.

Особливістю конструкції є винесення самого двигуна за межі робочої задля дотримання вимог техніки безпеки. У випарах ацетону має знаходитися тільки крильчатка двигуна, виготовлена з інертного до вищевказаної хімічної речовини пластику. Місце кріплення двигуна до корпусу має герметизуватись належним чином, аби завадити розповсюдженню шкідливих випарів за межами робочої зони. На рисунку 1.7 зображено приклад пари двигуна з крильчаткою.



Рисунок 1.7 – Приклад двигуна з крильчаткою [10]

Найважливішим компонентом приладу є випарник (рисунок 1.8). Нагрівальна ємність приблизно 200 мл наповнюється ацетоном, що нагрівається і випаровується, розповсюджуючись у межах робочої камери.

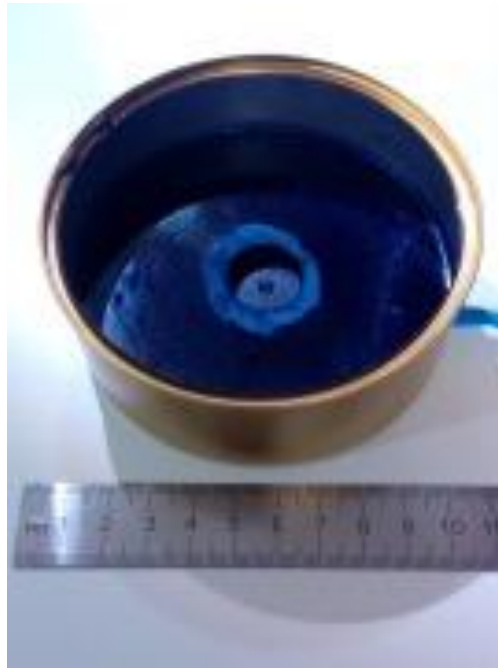


Рисунок 1.8 – Приклад випарника ацетону [10]

Як приклад професійного аналогу пристрою можна вважати створену групою компаній 3D.RU ацетонову баню Magic Box (рисунок 1.9).

Технічні характеристики пристрою Magic Box:

- розміри камери: 31 x 31 x 20 см;
- обробка пластику ABS, ABS +;
- робота при температурі + 30С;
- LCD-панель;
- три режиму зрошення: малий, середній і великий;
- фільтр, що очищає повітря від парів ацетону;
- три тимчасових режиму: час обробки 20, 30 і 50 секунд;
- автоматична зупинка зрошення;
- ацетон нагрівається у закритій ємності;
- оброблюваний виріб не деформується і не розм'якшується;
- робота з пристроєм є простою і інтуїтивно зрозумілою.



Рисунок 1.9 – Ацетонова баня Magic Box [6]

Розміщуємо у камері деталі, що потребують обробки (рисунок 1.10). На поверхні робочої зони камери знаходяться отвори, у які стікають залишки ацетону.



Рисунок 1.10 – Деталі перед початком роботи [6]

Перед запуском пристрою необхідно перевірити наявність ацетону. У корпусі пристрою знаходяться дві ємності: з однієї ацетону надходить в камеру, в іншу він збирається після обробки (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Ємності для ацетону [6]

Запускається пристрій кнопкою на панелі управління (рисунок 1.12), починається зрошення ацетоном. Вмикається вбудований вентилятор.

Іншими кнопками на панелі управління регулюються інтенсивність і час обробки. Також є можливість призупинити роботу і відновити, запам'ятовуючи час до завершення.



Рисунок 1.12 – Панель управління Magic Box [6]

Залишковий ацетон при обробці потрапляє в ємність під платформою, збирається і може бути використаний повторно.

Після завершення роботи випари виводяться по спеціальному повітропроводу за межі приміщення, що запобігає контакту оператора з випарами ацетону.

Результат роботи Magic Vox зображено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Результат роботи Magic Vox [6]

1.4 Висновки по першому розділу

У першому розділі було проаналізовано сучасні методи постобробки деталей з пластмас: шліфування, пікоструйна обробка та обробка парами хімічних розчинників.

Було проаналізовано структурну схему пристрою постобробки та його існуючі аналоги. Головним мінусом найефективніших з них є їх висока ринкова ціна.

2 АНАЛІЗ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ ТА ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

2.1 Вибір та аналіз схеми електричної принципової

Відповідно до розробленої структурної схеми, алгоритму та вимог ТЗ, для реалізації пристрою була обрано схема електрична принципова, що зображена на рис. 2.1.

Вона дозволяє реалізувати наступне:

- управління випарник, двигуном з крильчаткою ;
- звукову індикацію режиму роботи;
- простоту управління;

Для виробництва пристрою постобробки за цією схемою придатні наявні або недорогі комплектуючі.

Керування пристроєм виконує плата Arduino Nano за допомогою вбудованого мікроконтролеру – ATmega328. Усі радіоелементи підключені до цифрових виходів плати.

Оператор може керувати електродвигуном з крильчаткою для циркуляції пару та випарником, що розміщений на резисторах, підключених у паралель. Управління та зміна режимів реалізовано модулем енкодера KY-040. Код програми дозволяє змінювати час обробки, швидкість електродвигуна з крильчаткою, потужність нагрівачих резисторів. Таймер обробки не запуститься доти, поки температура на встановленому на нагрівачий стіл термодатчику не досягне температури уставки, що задана оператором. Усі зміни відображаються на чотирьохсимвольному семисегментному LED індикаторі, що підключений напряму до Arduino. Окрім цього пристрій також має звукову індикацію, яку виконує активний динамік безперервного сигналу.

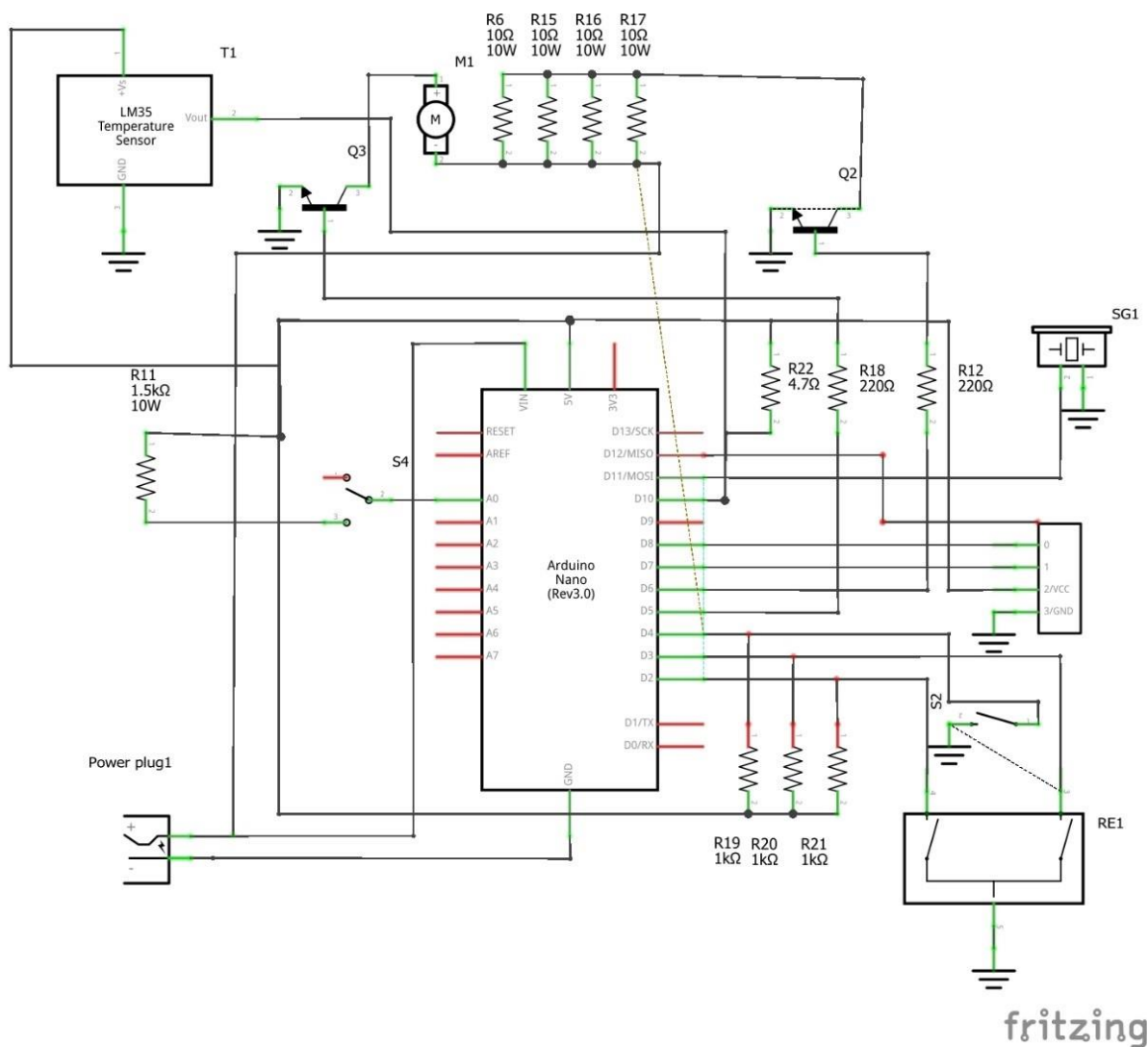


Рисунок 2.1 – Схема електрична принципова пристрою

2.2 Аналіз елементної бази та підбір радіоелементів

Для реалізації схеми було виконано підбір та аналіз ЕРЕ. Результати підбору ЕРЕ та їх відповідне позначення на схемі електричній принциповій (рисунок 2.1) приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Підбір ЕРЕ

Позначення на схемі	Найменування	Кількість
1	2	3
SG1	Бузер ВМТ-0912ХН05	1
Q2	Транзистор ТІР120	1
Q3	Транзистор ТІР122	1
T1	Термодатчик DS18B20	1
M1	Електродвигун RC-370SH-18139 – 12 В	1
RE1	Енкодер КУ-040	1
HL1	Індикатор ТМ74НС595	1
R6, R15–R17	Резистор – 10 Ом	4
R11	Резистор – 1,5 кОм	1
R12, R18	Резистор – 220 Ом	2
R19–R21	Резистор – 1 кОм	3
R22	Резистор – 4,7 кОм	2
SA1	Перемикач АЕ-С1353АВНАВ	1

Усі елементи зібрані на макетній платі на 800 точок (рис. 2.2). Використання конекторів забезпечує зручність з'єднання і можливість швидкої заміни будь якої радіодеталі.

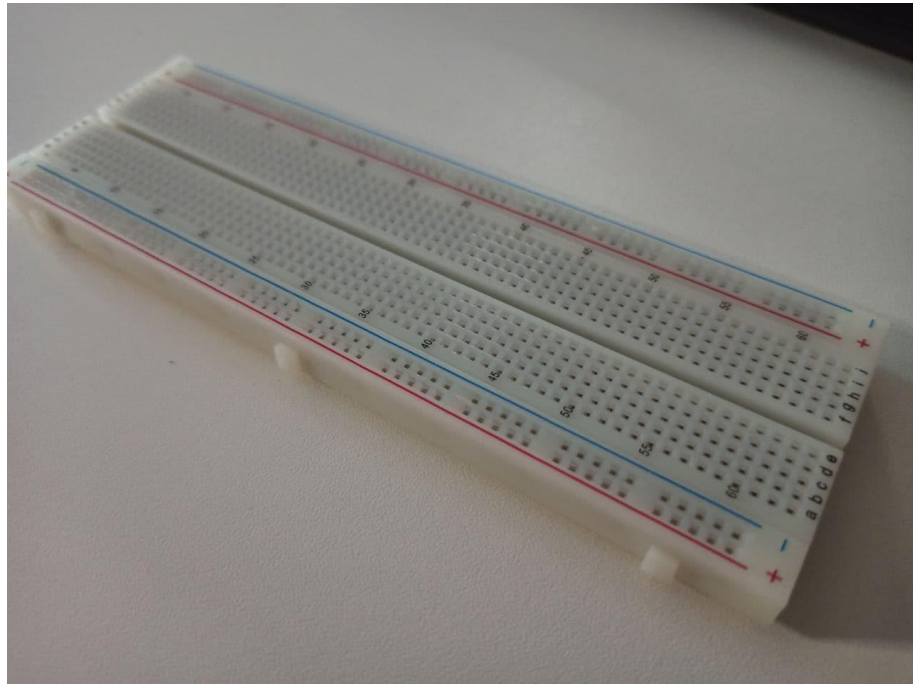


Рисунок 2.2 – Макетна плата на 800 точок

Керування пристроєм виконується за допомогою Arduino Nano (рисунок 3.3) — це повнофункціональний мініатюрний пристрій на базі мікроконтролера ATmega168, адаптований для використання з макетної плати. За функціональністю пристрій схожий на Arduino Duemilanove, і відрізняється від нього розмірами, відсутністю роз'єму живлення, а також іншим типом (Mini-B) USB-кабелю. Arduino Nano розроблено і випускається фірмою Gravitech.

Технічні характеристики:

- мікроконтролер – Atmel ATmega168;
- робоча напруга (логічний рівень) – 5В;
- напруга живлення (рекомендована) – 7–12В;
- напруга живлення (гранична) – 6–20В;
- цифрові входи/виходи – 14 (з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи);
- аналогові входи – 8;
- максимальний струм одного виводу – 40 мА;

- Flash-пам'ять – 16 КБ (АТmega168) або 32 КБ (АТmega328) з яких 2 КБ використовуються завантажувачем;
- SRAM – 1 КБ (АТmega168) або 2 КБ (АТmega328);
- EEPROM – 512 байт (АТmega168) або 1 КБ (АТmega328);
- тактова частота – 16 МГц;
- розміри плати – 1.85 см х 4.3 см.

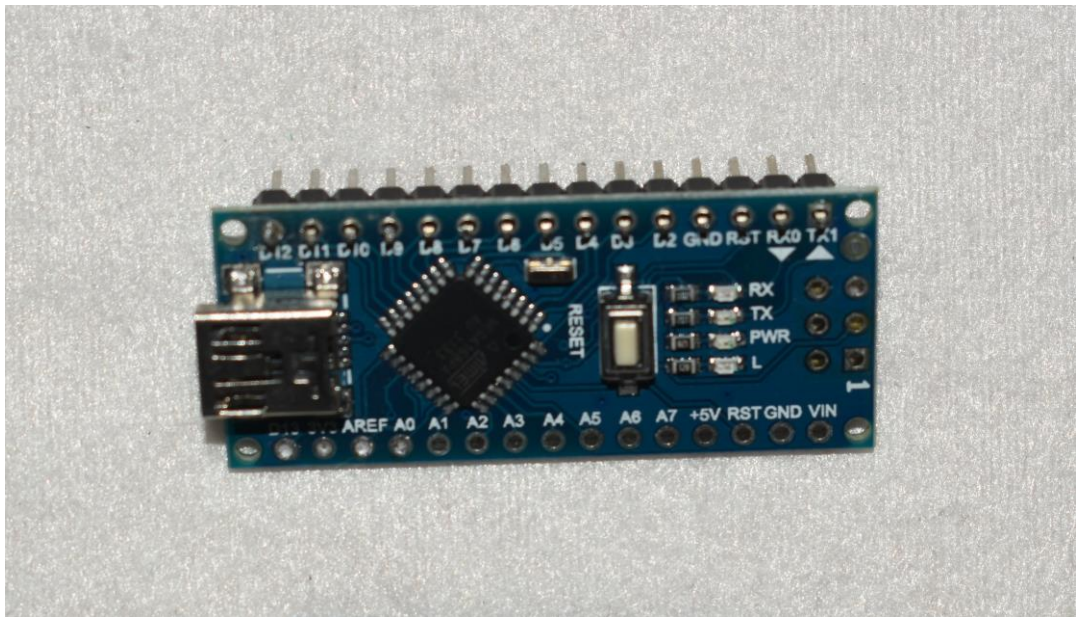


Рисунок 2.3 – Arduino Nano

Індикатор чотирьохрозрядний ТМ74НС595 (рисунок 2.4) відноситься до лінійки чотирьохсимвольних семисегментних індикаторів з висотою символу 0,28 дюйма (7,1 мм.). Кожен символ індикатора складається з семи елементів індикації (сегментів), що включаються і виключаються окремо, індикатор має також восьмий сегмент, який зображений у вигляді точки. Включаючи їх в різних комбінаціях, з них можна скласти зображення цифр. [12]

Має наступні характеристики:

- мікросхеми регистрів: 74НС595;
- напруга живлення: від 3.3 до 5 В;
- індикатор: 4-х символний 0.36 дюйма з загальним анодом;
- розмір: 46x22x10 мм.



Рисунок 2.4 – Індикатор ТМ74НС595

Для звукового сповіщення в схемі застосовано звичайний активний динамік безперервного сигналу - бузер (рисунок 2.5).

Він має наступні характеристики:

- резонансна частота – 2,3 кГц;
- робочий струм – не більше 30 мА;
- робоча температура в діапазоні -25 ... 70 °С;
- робоча напруга – 5 В;
- рівень звуку – 82 дБ;
- похибка резонансної частоти складає ± 0.5 Гц;
- висота – 9.6 мм;
- діаметр – 12 мм.

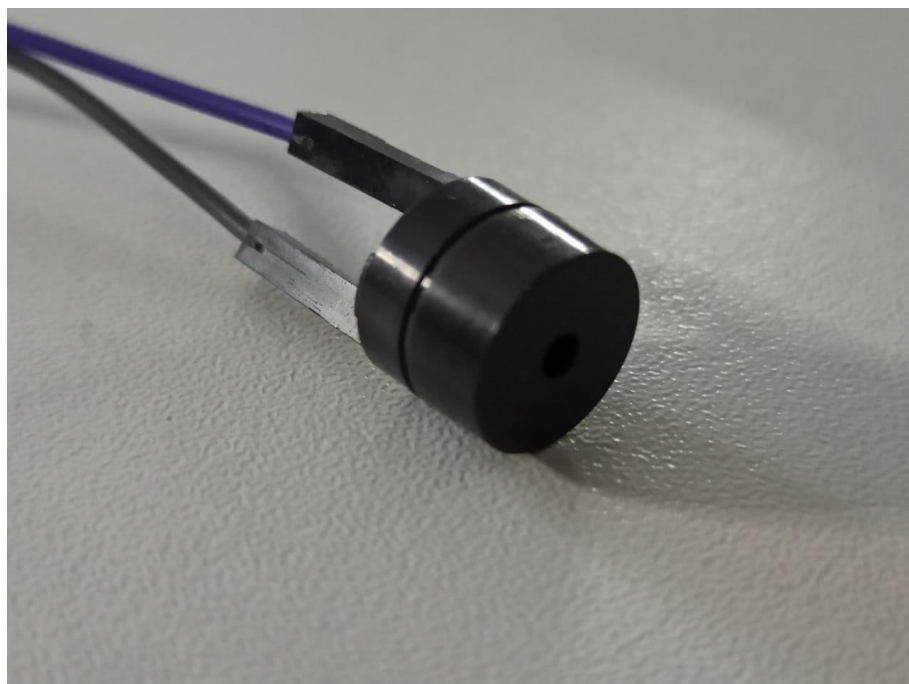


Рисунок 2.5 – Бузер

Електродвигун RC-370SH-18139 (рисунок 3.6) має наступні характеристики:

- тип двигуна – DC;
- номінальна напруга – 12 В;
- діапазон робочої напруги – 6 ... 12 В;
- робочий струм без навантаження – 0,13 А;
- швидкість без навантаження – 10 000 об/хв;
- максимальна швидкість під навантаженням – 8439 об/хв;
- максимальний робочий струм під навантаженням – 0,7 А;
- обертаючий момент – 59,2 г.см., 5,8 mNm;
- момент утримання – 382,5 г.см., 37,5 mNm;
- струм утримання – 3,8 А;
- діаметр – 24,4 мм;
- довжина – 30,8 мм.

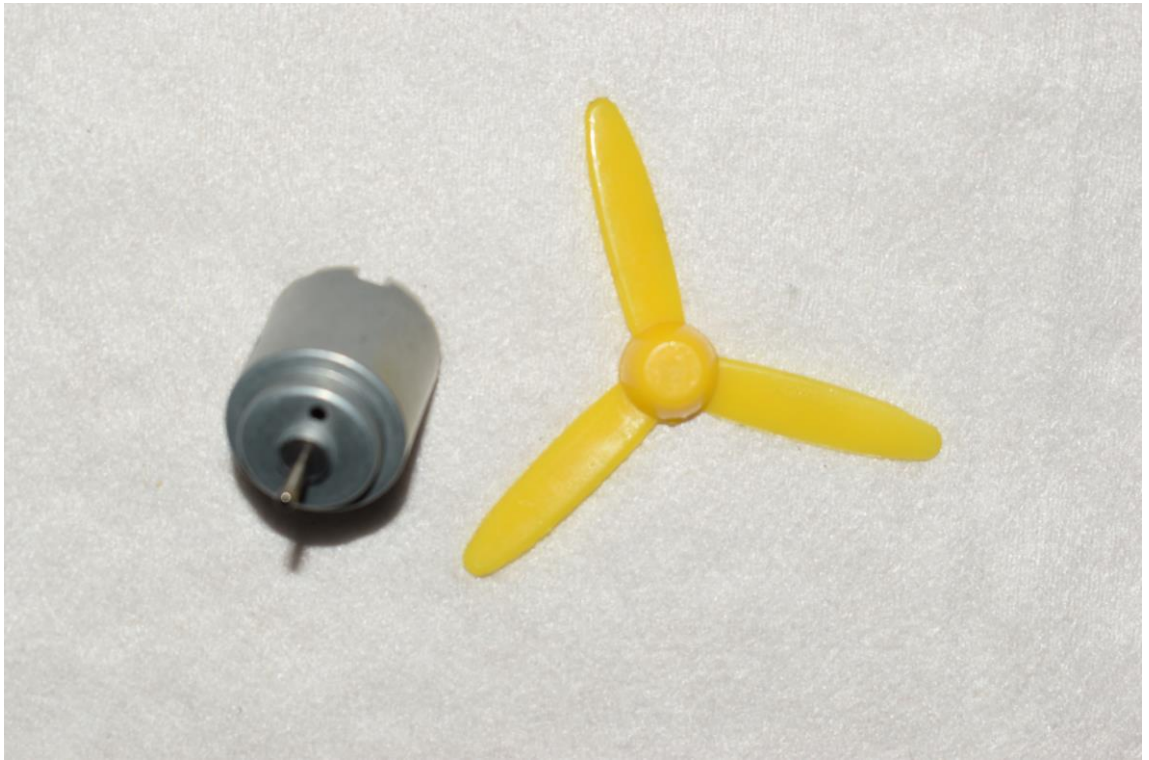


Рисунок 2.6 – Електродвигун RC-370SH-18139 [8]

Для вмикання та вимикання пристрою було обрано перемикач АЕ–С1353АВНАВ (рисунок 2.7). Цей елемент має 2 фіксованих положення, навантаження АС – 16 А / 250 В, та навантаження DC – 20 А / 28 В.



Рисунок 2.7 – Перемикач АЕ–С1353АВНАВ [8]

застосовується для реалізації зручного варіативного управління в меню розробляемого приладу, але може також застосовуватися для будь-яких інших завдань.

Його характеристики:

- робоча напруга: 3-15 В;
- число імпульсів на оборот: 20;
- розміри: 2х3х3 см.



Рисунок 2.9 – Модуль KY-040

Нагриваючий елемент виконано за допомогою чотирьох резисторів 10 Ом, підключених в паралель (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Резистор 10W 10 Ом

Транзистори TIP120 та TIP122 зображено на рисунку 2.11. TIP120 має такі технічні характеристики:

- структура: pnp;
- максимальна напруга колектор-база при заданому зворотному струмі і розімкнутого ланцюга e : 60 В;
- максимальна напруга колектор-емітер при заданому струмі і розімкнутого ланцюга b : 60 В 100;
- максимально допустимий струм k : 5 А;
- статичний коефіцієнт передачі струму e (хв.): 1000;
- гранична частота коефіцієнта передачі струму: 4 МГц;
- максимальна розсіювана потужність: 65 Вт.
- корпус транзистора TO-220.

Технічні характеристики транзистора TIP122:

- структура pnp;
- схема з'єднання – одиночний;
- максимальна напруга колектор – база 100 В;
- максимальна напруга колектор – емітер 100 В;

- максимальна напруга емітер – база 5 В;
- максимальний постійний струм колектора 5 А;
- потужність розсіювання 65 Вт;
- Коефіцієнт передачі струму (діапазон) min 1000;
- спосіб монтажу – пайка в отвори;
- корпус транзистора ТО-220.

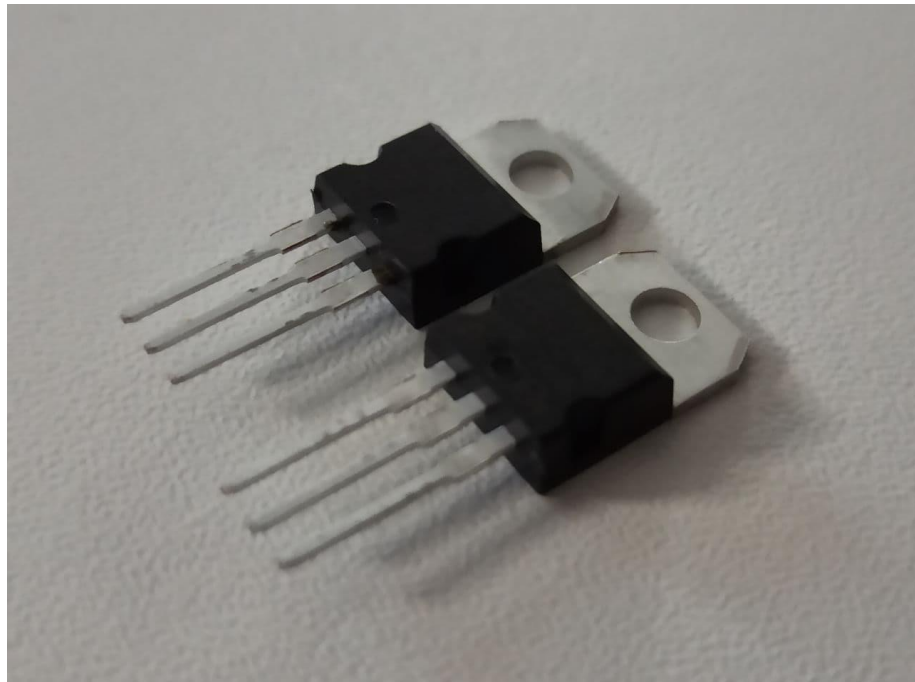


Рисунок 2.11 – Транзистори TIP120 та TIP122

2.3 Монтажна схема пристрою

У програмі Fritzing була зібрана монтажна схема пристрою (рисунок 3.13) з компоновкою радіодеталей і протестована його працездатність.

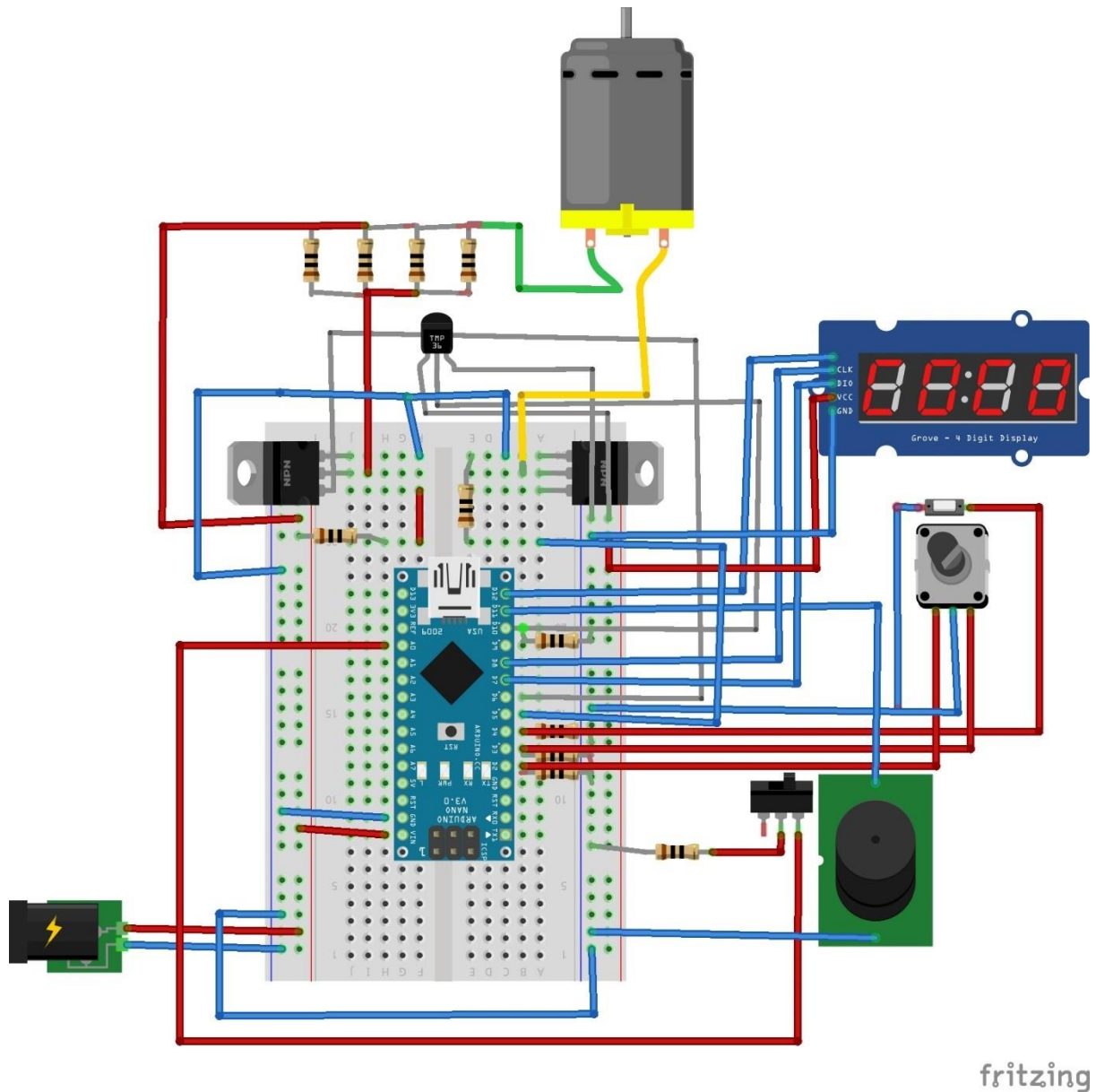


Рисунок 2.13 – Монтажна схема пристрою

2.4 Висновки по другому розділу

У другому розділі було проаналізовано схему електричну принципову і підібрана елемента база пристрою. Також у цьому розділі була зібрана монтажна схема пристрою для демонстрації компоновки радіодеталей і тесту працездатності пристрою.

3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ, ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛУ ТРУБКИ НАСОСА

3.1 Аналіз можливості модернізації пристрою

Під час робочого процесу оператора з розробленим пристроєм постобробки було виявлено значний недолік, а саме значний об'єм випаровування ацетону у навколишнє середовища під час ручного наповнювання нагрівальної ємкості випарника рідиною.

Аби усунути цей недолік було вирішено модернізувати пристрій системою автоматизованої подачі хімічної речовини напряму від тари до випарника пристрою.

Для виконання цієї задачі було обрано перистальтичний насос (рисунок 3.1). Його принцип дії заснований на передавлюванні еластичної трубки будь-якими механічними елементами, наприклад трьома роликми, що котяться по колу, проштовхуючи рідину на вихід насоса.

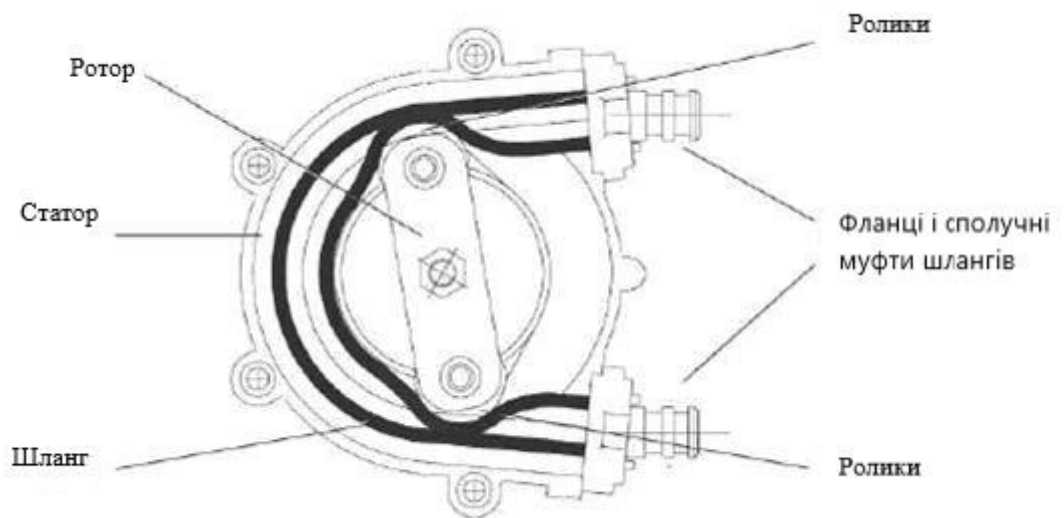


Рисунок 3.1 – Перистальтичний насос [8]

Головна перевага перистальтичного насоса від інших різновидів у тому, що перекачування речовина контактує тільки з матеріалом еластичної

трубки. Ця особливість дозволяє безпечно використовувати насос для подачі у випарника пристрою такої агресивної хімічної речовини як ацетон. Необхідно відмітити, що еластична трубка має бути з інертного до ацетону матеріалу.

Переваги перистальтичного насосу:

- відсутність тертьових пар метал по металу;
- високий коефіцієнт готовності, мінімальний час простою і обслуговування;
- низька трудомісткість на установку, обслуговування, чищення;
- висока ремонтпридатність, найбільш схильна до зносу деталей - легкозмінна еластична трубка;
- хороша відтворюваність залежності витрати від швидкості обертання ротора, краще ніж $\pm 0,5\%$;
- відносно низький рівень шуму.

Поряд з перевагами, перистальтичні насоси мають і недоліки до яких можна віднести:

- обмеження по температурі перекачуваної рідини, обумовлено термостійкістю матеріалу еластичною трубки, для поширених силіконових трубок від 0 до 90 ° C;
- обмеження по тиску (для трубкового перистальтичного насоса максимальний тиск 7 атм, для шлангового перистальтичного насоса - до 16 атм);
- обмеження для перекачуваної рідини. Трубки для високоагресивних середовищ, наприклад мінеральних концентрованих кислот, дорогі;
- падіння продуктивності при роботі з високов'язкими середовищами.

Для виконання завдання було обрано перистальтичний насос серії НКР-DA-S10В з еластичною силіконовою трубкою, що зображений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Перистальтичний насос [8]

3.2 Дослідження матеріалу трубки насоса

Звірившись з таблицею стійкості матеріалів шлангів до ацетону (таблиця 3.1) було виявлено, що силікон не є стійким до ацетону матеріалом і є лише умовно стійким до ацетону матеріалом і тільки при температурі не вище 20°C. У ході підбору деталей модернізації пристрою було вирішено дослідити матеріали наявних трубок на стійкість до ацетону і використати у пристрої самий стійкий варіант.

Таблиця 3.1 – Таблиця стійкості матеріалів шлангів до ацетону [12]

	Матеріал шлангу																									
	Ester-PUR		Eiher-PUR (MHF)		М'який ПВХ		LLDPE (Шланги Airduc и Protape)		HDPE + LDPE (CP)		TPE		Неопрен (Neoprene)		HYALON		VITON		Силікон		PTFE		PA		ARAMID	
Хімічні речовини	20°C	60°C	20°C	60°C	20°C	60°C	20°C	60°C	20°C	60°C	20°C	60°C	20°C	60°C	20°C	80°C	20°C	80°C	20°C	80°C	20°C	100°C	20°C	60°C	20°C	100°C
Ацетон	-	-	-	-	1	1	1	2	2	3	3	2	-	3	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2

У готових перистальтичних насосах переважно використовуються два типи трубок: силіконові трубки та трубки ВРТ. Детально вивчивши специфікацію трубки ВРТ було виявлено, що хоча трубка і має значну перевагу над силіконовими трубками у терміні служби, але є зовсім нестійкою до ацетону. Тому для експерименту обрано два типових матеріалу трубки і трубку спеціального призначення:

- силіконова трубка;
- ПВХ трубка;
- трубка Tygon Norprene Chemical.

Враховуючи, що ацетон є органічною речовиною, яка відноситься до класу насичених кетонів, для дослідів і було обрано трубку Tygon Norprene Chemical з матеріалу зі задовільною стійкістю до кетонів згідно таблиці відносної стійкості трубок до хімічного впливу (таблиця 3.2) від сертифікованого виробника вищевказаних трубок.

Таблиця 3.2 – Таблиця стійкості трубок до хімічного впливу [12]

Трубки	Кислоти			Луги			Солі	Спирти	Кетони
	Конц.	Сер.	Слаб.	Конц.	Сер.	Слаб.			
Трубки Norprene Chemical	F	E	E	E	E	E	E	E	F
Фтореластомери	E	E	E	U	F	F	E	F	U
Уретан	U	U	U	U	F	F	F	U	U
ПВХ	F	E	E	E	E	E	E	F	U
ТЕП	U	F	F	F	E	E	E	F	U
Неопрен	U	F	E	E	E	E	E	E	U
Нітриловий каучук	F	F	E	U	E	E	E	E	U
Силікон	U	U	U	U	F	F	F	F	U
Етиленвінілацетат	U	F	E	F	E	E	E	E	U

Де E = відмінно, F = задовільно, U = незадовільно.

Характеристика трубки Tygon Norprene Chemical:

- термін служби більше 1000 годин;
- відмінна хімічна стійкість;
- гідрофобна поверхня;
- не міняє смак-запах перекачується;
- не містить пластифікатор;
- сертифікація для харчової промисловості - FDA, NSF 51;
- твердість по Шору – 61, колір – кремовий;
- діапазон температур - 60 ° C to + 74 ° C.

Аби завітритись у відповідності стійкості матеріалів до табличних значень, було проведено експеримент з силіконовою, ПВХ і Tygon Norprene Chemical трубками. Вищезазначені трубки були розміщені у розчин ацетону у закритому контейнері на 24 години. У результаті експерименту тільки ПВХ трубка втратила свої властивості за зазначений термін, що дозволяє використовувати силіконову трубку у разі необхідності, але зі значно меншим терміном служби, аніж з трубкою Tygon Norprene Chemical.

Порівняння терміну служби трубки Tygon Norprene Chemical при роботі в перистальтичних насосах зі звичайними силіконовими і ПВХ трубками зображено на рисунку 3.3. У таблиці представлено кількість годин напрацювання до відмови трубок з внутрішнім діаметром 6,35 мм (1/4 ") і зовнішнім 9,5 мм (3/8 "). У кожному разі використовувалася головка насоса на 3 роликах; частота 600 об/хв, температура в приміщенні 22,7 ° C (73 ° F). Знос трубки вимірювався в годинах напрацювання до розриву. На продуктивність трубки в перистальтичних насосах впливають умови експлуатації, використовуване обладнання, а також типорозмір і товщина стінок трубки.

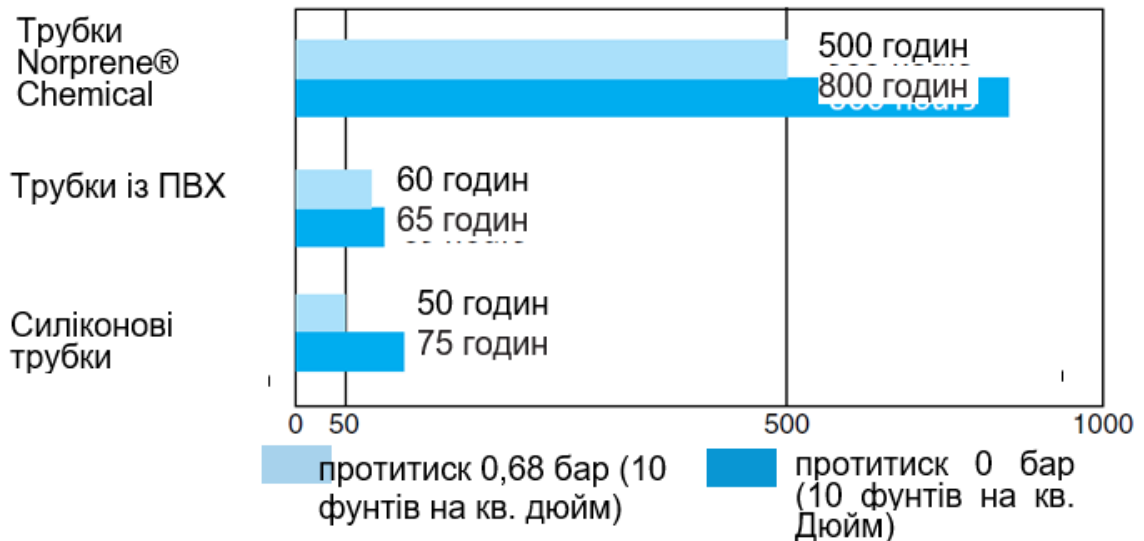


Рисунок 3.3 – Діаграма порівняння терміну служби при роботі у перистальтичному насосі [12]

Трубка Tygon Norprene Chemical значно випереджає свої аналоги як за терміном служби, так і за стійкістю до ацетону. Така трубка на разі є найкращим варіантом для використання у пристрої хімічної постобробки. Єдиним її недоліком є досить висока ціна.

Процес заміни еластичної трубки у перистальтичному насосі є доволі простим і не займає багато часу. Головне підібрати потрібний діаметр трубки, у нашому разі це діаметр 3,2x6,4 мм, який ідеально розміщується у корпусі перистальтичного насоса серії NKP-DA-S10B, зображеному на рисунку 3.4. Такого діаметра більш ніж достатньо для швидкого наповнення невеликої нагрівальної ємкості пристрою.

Також корпус перистальтичного насосу можна надрукувати на 3D принтері і навіть використовуючи ABS пластик, адже завдяки конструкції перистальтичного насоса, матеріал корпусу ніяк не взаємодіє з речовиною, що перекачується.



Рисунок 3.4 – Перистальтичний насос у розборі [12]

Після успішного тестування роботи пристрою з автоматизованою подачею ацетону були внесені деякі конструкторські рішення щодо розміщення системи подачі хімічної речовини. Вхід еластичної трубки насоса приєднується до спеціальної кришки тари з ацетоном, трубка герметично фіксується вузлом. Вихід трубки розташований над випарником. Сам перистальтичний насос зафіксований у нижній частині корпусу пристрою.

3.3 Висновки по третьому розділу

Третій розділ присвячений модернізації пристрою. У ньому було проаналізовано можливості модернізації пристрою, в результаті чого, у корпус пристрою було вмонтовано перистальтичний насос.

Були проведенні експерименти стійкості до ацетону вірогідних трубок перистальтичного насоса, а результати винесені у відповідні таблиці.

У результаті проведених досліджень, для роботи у насосі пристрою постобробки була обрана трубка Tygon Norprene Chemical, яка є кращою ніж її аналоги за параметрами стійкості і терміну служби.

4 РОЗРОБКА КОДУ ДЛЯ МОДУЛЮ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ

4.1 Розробка коду програми

Контролер управління процесом постобробки деталей надрукованих на 3D принтері. Обробка відбувається в ацетоновій камері.

У програмі Arduino IDE було розроблено код керування модернізованого пристрою. Використано плату Arduino Nano 3.0

У коді використовуються модуль індикатора 4-bit LED Tube Module, один температурний датчик DS18B20, один динамік без генератора та модуль енкодера.

Управління електродвигуном и випарником виконують транзистори TIP122 с резисторами 470 Ом на базі.

На вхід VIN Arduino подається постійна напруга 12В.

Поміж корпусом пристрою та скляною кришкою встановлений кінцевий перемикач. Через нього подається напруга +5В через резистор 1,5 Ком на вхід, сигнал 0, якщо кришка відкрита, 1 – закрита. Це забезпечує

Скетч Arduino починається з підключення до нього бібліотек, що мають певний інструментарій та дозволяють працювати з необхідними елементами. У нашому випадку потрібно підключення додадкових бібліотеки термодатчика DS18B20 та бібліотеки енкодера, призначити головні виходи енкодера та виходи виконуючих механізмів. Енкодер підключається з підтяжкою +5 до усіх виводів

Бібліотеки завантажені з офіціального сайту Arduino.

Підключаємо бібліотеку для датчика температури DS18B20. Об'являємо об'єкт ds1820 для роботи з датчиками та задаємо змінну DS18b20temp для зберігання отриманого значення температури з датчика.

```
#include "ds18x20.h"
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#define DS18x20_PIN          10
#define DS18x20_MAX_SENSORS  1
ds18x20  ds1820(DS18x20_PIN, DS18x20_MAX_SENSORS);
uint8_t nsensds18b20;
float DS18b20temp;
```

Підключаємо бібліотеку для роботи з внутрішньою пам'яттю.

```
#include <EEPROM.h>
```

Даємо назву виводам виконавчих механізмів.

Вентилятор та випарник підключаються до 5 та 6 пінів, котрі забезпечують ШІМ (широтно-імпульсну модуляцію) з роздільною здатністю 8 біт завдяки функції `analogWrite()`. Це дозволить керувати швидкістю обертів двигуна вентилятора та потужністю нагріву випарника.

```
#define FAN 6
#define HEAT 5
```

Динамік плюс вихід генератора.

```
#define BEEP 11
```

Кришка з підтяжкою до мінуса через резистор 10 КОм.

```
#define DOOR A0 //крышка или дверка вход с подтяжкой к минусу 10к.
Активный +5в через 1,5к
```

Назначаємо виводи для чотирьохрозрядного індикатора ТМ74НС595.

```
#include <TM74HC595Display.h>
#include <TimerOne.h>
int SCLK = 12;
int RCLK = 8;
int DIO = 7;
TM74HC595Display disp(SCLK, RCLK, DIO);
```

Підключаємо бібліотеку модулю енкодера KY-040 і назначаємо його виводи.

```
#define CLK 2
#define DT 3
#define SW 4
#include "GyverEncoder.h"
Encoder enc1(CLK, DT, SW);
```

Об'являємо змінні типу `int` для вказання пінів, до яких під'єднані виводи:

```
int Enc_value = 0; // значення при повороті енкодера 1,2, не натис. 3,4.
```

Поворот з натисканням.

```
int Enc_Press; // значення при натисканні на енкодер: поворот,
натискання 1, відпускання 2, утримання 3.
```

```
char Disp1[10];
```

```
char Disp2[50];
```

```
int i; // лічильник для масиву екрана.
```

```
int Time, sec; // час роботи таймера хвилини, лічильник секунд.
```

```
int TempUst, TempVal; //установка температури та поточна
температура.
```

```
int PowerHeat, PowerFan; // потужність нагріву, швидкість вентилятора.
```

```

int fPowerHeat, fPowerFan; // службові прапори.
int Page; // номер сторінки екрану.
byte fheatOn; // прапор включення нагріву.
byte fFanOn; // прапор включення вентилятора при прогріванні.
byte fFanOnVal; // службова змінна.
int RTC; // лічильник для корекції переривань кожну секунду.
byte f1sec; // прапор виставляється кожну секунду.
int tic; // лічильник анімації і звукового сигналу у кінці процесу.
int beep; // прапор подачі звукового сигналу у кінці процесу.
int TimeOut; // лічильник затримки перед поверненням на головний
екран.
byte fPage5; // для запам'ятовування способу активації 5 екрану
температури. Необхідно розділити спосіб відображення температури при
нагріванні або при налаштуванні.
byte TimeEnd; // закінчення процесу, включення звукового сповіщення.

```

Нижче представлена частина коду, демонструє роботу з семисегментним Led індикатором і його масивом .

```

char dDisp1;
for (i = 0; i < 4; i++) {
    switch (Disp1[i]) {
        case '0': dDisp1 = 0xC0; break; // 0
        case '1': dDisp1 = 0xF9; break; // 1
        case '2': dDisp1 = 0xA4; break; // 2
        case '3': dDisp1 = 0xB0; break; // 3
        case '4': dDisp1 = 0x99; break; // 4
        case '5': dDisp1 = 0x92; break; // 5
        case '6': dDisp1 = 0x82; break; // 6
        case '7': dDisp1 = 0xF8; break; // 7
    }
}

```

```

    case '8': dDisp1 = 0x80; break; // 8
    case '9': dDisp1 = 0x90; break; // 9
    case 'O': dDisp1 = 0xC0; break; // O
    case 'd': dDisp1 = 0xA1; break; // d
    case 'E': dDisp1 = 0x86; break; // 8
    case 'n': dDisp1 = 0xAB; break; //
    case 'P': dDisp1 = 0x8C; break; //
    case 'F': dDisp1 = 0x8E; break; //
    case 'u': dDisp1 = 0xE3; break; //
    case 't': dDisp1 = 0x87; break; //
    case '*': dDisp1 = 0x9C; break; //
    case ' ': dDisp1 = 0xFF; break; //
    case '-': dDisp1 = 0xBF; break; // -
    case '=': dDisp1 = 0xB7; break; // =
    case '_': dDisp1 = 0xF7; break; // =
    case '~': dDisp1 = 0xFE; break; //
    case 'z': dDisp1 = 0xDD; break; //
    case 'x': dDisp1 = 0xD5; break; //
    case 'y': dDisp1 = 0xBE; break; //
    case 'w': dDisp1 = 0xB6; break; //
    default: dDisp1 = 0xFF; break; //
  }
  disp.set(dDisp1, 3 - i);
}
}
void Serial_Print()
{
  Serial.println(Disp2);
}

```

Блок налаштувань та ініціалізація. Читаємо пам'ять і заповнюємо змінні значеннями

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  enc1.setType(TYPE2);
  Timer1.initialize(1500);
  Timer1.attachInterrupt(timerIsr);
  Time = 0;
  Page = 1
  if (EEPROM.read(0x00) != 123) {
    EEPROM.write(0x01, 25);
    EEPROM.write(0x02, 50);
    EEPROM.write(0x03, 10);  EEPROM.write(0x00, 123);
  }
  TempUst = EEPROM.read(0x01);
  PowerFan = EEPROM.read(0x02);
  PowerHeat = EEPROM.read(0x03);
}
```

Головна програма, безкінечний цикл коду. Перетворюємо отримані данні, значення після коми не враховуються.

```
void loop() {
  DS18B20temp = ReadDS18B20(1);
  TempVal = (int)DS18B20temp;
  if (Disp1[0] != 0) { LCD_Print(); Disp1[0] = 0; }
  if (Disp2[0] != ' ') {
    Serial_Print();
    Disp2[0] = ' ';
  }
}
```



```

if (digitalRead(A0) == 1) {
  enc1.tick();
  Enc_value = 0;
  Enc_Press = 0;
  if (enc1.isRight()) Enc_value = 1;
  if (enc1.isLeft()) Enc_value = 2;
  // if (enc1.isRightH()) Enc_value = 3;
  // if (enc1.isLeftH()) Enc_value = 4;
  if (enc1.isPress()) {
    TimeOut = 10;    Enc_Press = 1;
    tone (BEEP, 1000); delay(50);
    noTone(BEEP);
    if (EEPROM.read(0x01) != TempUst) EEPROM.write(0x01, TempUst);
    if (EEPROM.read(0x02) != PowerFan)    EEPROM.write(0x02,
PowerFan);
    if (EEPROM.read(0x03) != PowerHeat)    EEPROM.write(0x03,
PowerHeat);
  }
  if (Enc_value > 0) {
    tone (BEEP, 1000); delay(10); noTone(BEEP);
    TimeOut = 10
  }
  if (enc1.isTurn()) {
    if ((Page == 1) || (Page == 2)) {
      if (Enc_value == 1) {
        Time++;
        sec = 0;
      }
      if (Enc_value == 2) {
        Time--;

```

```
    sec = 0;
}
if (Time < 0) Time = 0;
if (Time > 60) Time = 60;
if (Time == 0) Page = 1;
else Page = 2;
}
if (Page == 3) {
    if (Enc_value == 1) PowerFan++;
    if (Enc_value == 2) PowerFan--;
    if (PowerFan < 0) PowerFan = 0;
    if (PowerFan > 100) PowerFan = 100;
}
if (Page == 4) {
    if (Enc_value == 1) TempUst++;
    if (Enc_value == 2) TempUst--;
    if (TempUst < 1) TempUst = 1;
    if (TempUst > 50) TempUst = 50;
}
if (Page == 5) {
    if ((Enc_value > 0) && (fPage5 == 0)) Page = 4;
    if ((Enc_value > 0) && (fPage5 == 1)) Page = 2;
}
if (Page == 6) {
    if (Enc_value == 1) PowerHeat++;
    if (Enc_value == 2) PowerHeat--;
    if (PowerHeat < 0) PowerHeat = 0;
    if (PowerHeat > 100) PowerHeat = 100;
}
```

```

} // end (enc1.isTurn())

if (f1sec == 1) {
  if (TimeOut != 0)
    TimeOut--;
  if ((TimeOut == 0) && (Time == 0)) Page = 1;
  if ((TimeOut == 0) && ((Time > 0) && (fFanOnVal == 0))) {
    Page = 5;
    fPage5 = 1;
  }
  if ((TimeOut == 0) && ((Time > 0) && (fFanOnVal == 1))) {
Page = 2;
    fPage5 = 0;
  }
  analogWrite (FAN, 0);
}

```

Повний код надано у додатку атестаційної роботи.

4.2 Висновки по четвертому розділу

У четвертому розділі було розроблено програмний код керування пристроєм та винесено деякі пояснення щодо головних частин цього коду.

Програмний код пристрою є повністю робочим.

5 РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ ПОСТОБРОБКИ

5.1 Розробка 3D моделі пристрою у програмі Autodesk 3ds Max.

Для оцінки зовнішнього вигляду конструкції макету пристрою було вирішено виготовити 3D модель у програмі Autodesk 3ds Max 2020.

Корпус макету складається з круглого алюмінієвого контейнеру та скляної кришки (рисунок 5.1). Щільність конструкції забезпечує гумовий ущільнювач поміж ними.

На передній панелі пристрою знаходяться чотирьохрозрядний індикатор ТМ74НС595, перемикач струму та ручка модулю енкодера КУ-040.

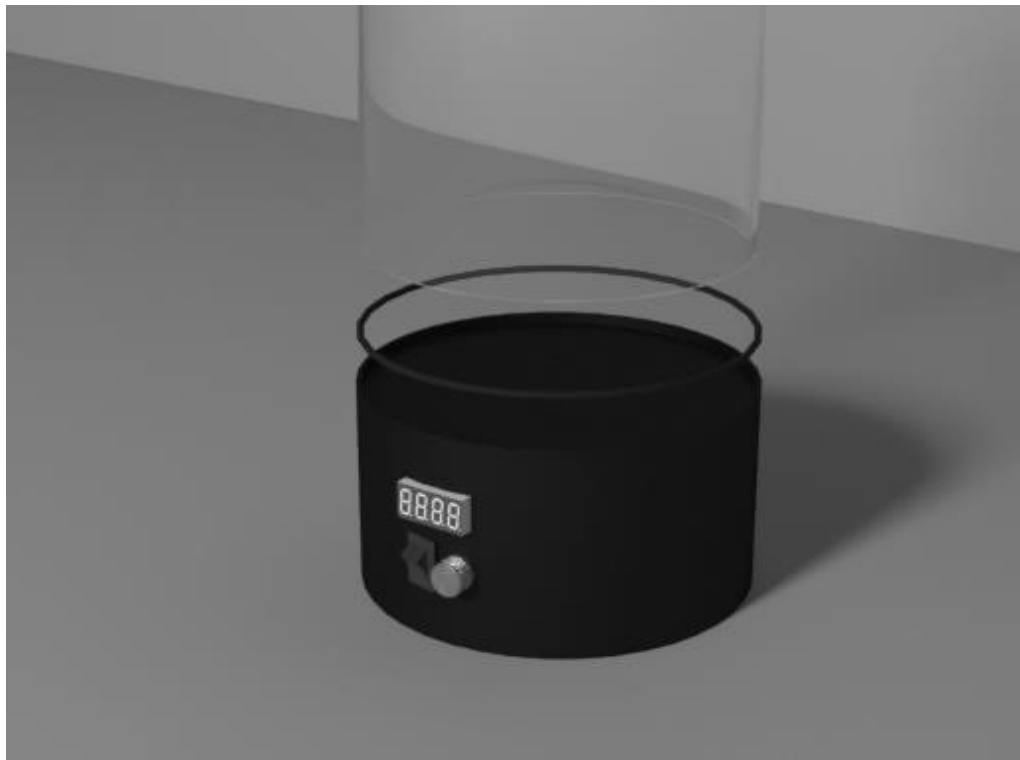


Рисунок 5.1 – Корпус пристрою

На рисунку 5.2 зображена конструкція випарника, який складається з чотирьох паралельно ввімкнутих резисторів 10 W 10 Ом, на яких розташована залізна ємкість для ацетону. Поміж ними знаходиться

теплопровідна підкладка з термопастою, котра забезпечує достатню теплопровідність для нагріву і випаровування ацетону у залізній ємкості.

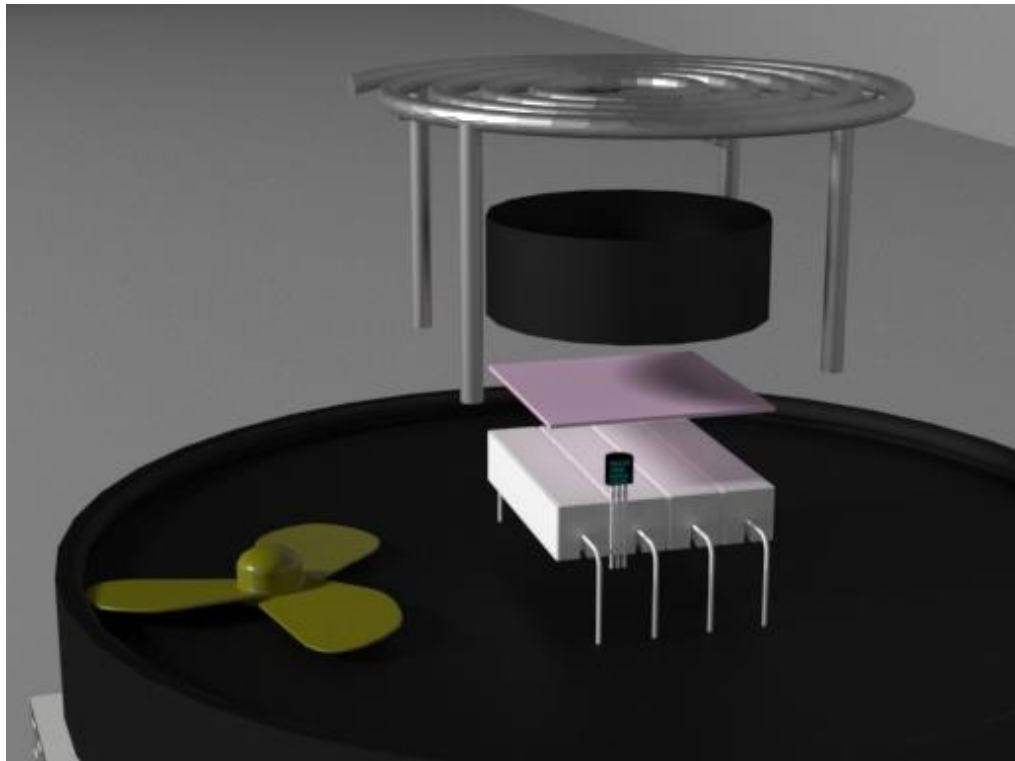


Рисунок 5.2 – Конструкція випарника

У середину корпусу пристрою (рисунок 5.3) вмонтована макетна плата на 800 точок, що дозволяє реалізовувати електричну схему за допомогою лише перемичок без необхідності пайки. Такий тип з'єднання забезпечує легкий доступ до радіоелементів і можливість швидкої подальшої їх заміни у разі необхідності.

До макетної плати приєднана плата Arduino Nano з мікроконтролером ATmega328. Зручне розташування плати дозволяє забезпечити просте з'єднання перемичками виводів індикатора, енкодера, двигунів вентилятора та насоса напряму з керуючою платою.

Також у корпусі розміщується вхід і вихід для трубки насоса. Кожен отвір в межах робочої камери щільно герметизований інертним до ацетону герметиком. Під час роботи пристрою агресивні випари ацетону

залишаються в межах робочої зони і не впливають на радіоелементи у середині корпусу.

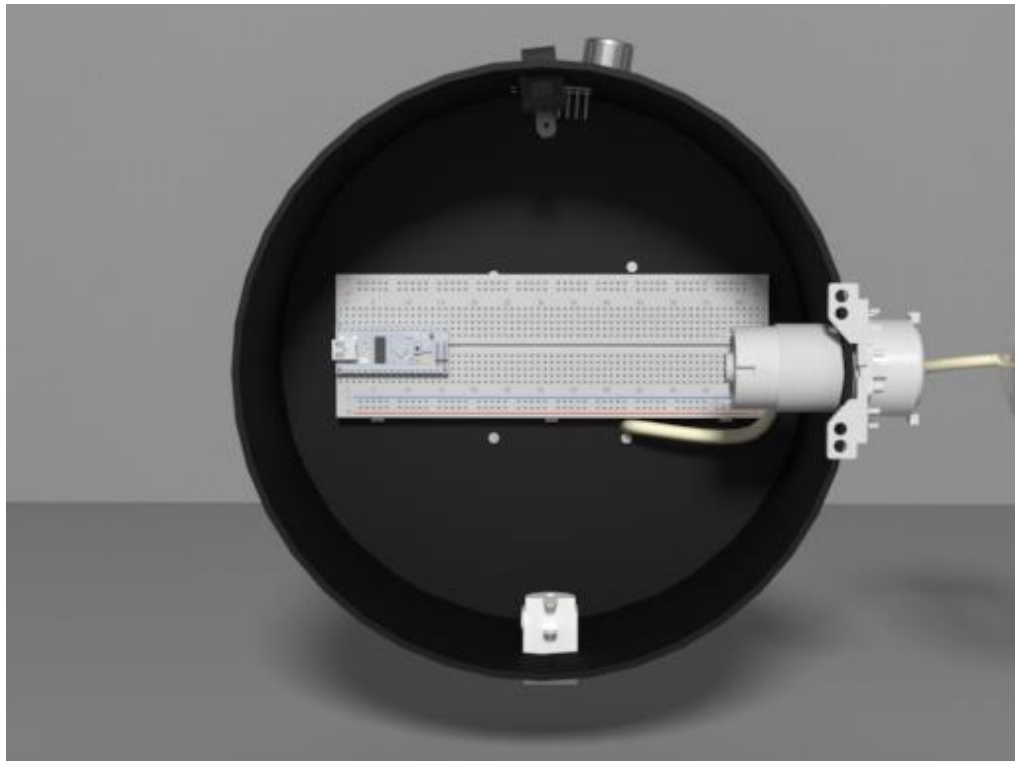


Рисунок 5.3 – Середина корпусу пристрою

Модернізацією пристрою є автоматизована система подачі ацетону до випарника за допомогою перистальтичного насоса, зображена на рисунку 5.4.

Стійка до ацетону трубка насоса, підібрана відповідно таблиці стійкості матеріалів. Це забезпечує надійність конструкції і значно підвищує тривалість стійкої працездатності пристрою.

Вхід трубки ацетону знаходиться у герметичній скляній пляшці об'ємом 1 літр. Такий великий об'єм хімічної речовини достатній для обробки понад 50 деталей з ABS пластику, залежно від їх розміру.



Рисунок 5.4 – Система подачі ацетону

Вихід трубки насоса закріплений безпосередньо над випарником, що зображено на рисунку 5.5.

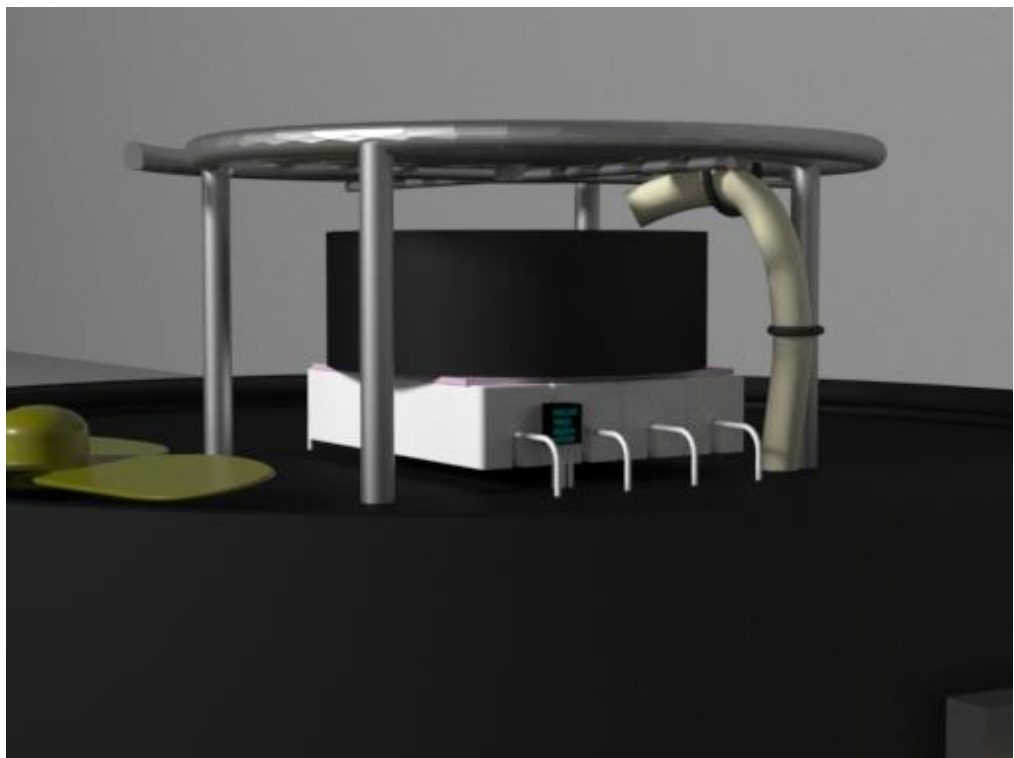


Рисунок 5.5 – Вихід трубки насоса

Готова 3D модель модернізованого пристрою постобробки зображена на рисунку 5.6 і демонструє розташування усіх основних конструктивних елементів.



Рисунок 5.6 – Конструкція готового модернізованого пристрою

5.2 Висновки по п'ятому розділу

У п'ятому розділі було розроблено 3D моделі пристрою у програмі Autodesk 3ds Max. Таке рішення дозволило оцінити конструкторські рішення щодо розміщення елементів пристрою до збірки самого макета.

6 РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОГО МАКЕТУ ПРИСТРОЮ ХІМІЧНОЇ ПОСТОБРОБКИ

6.1 Аналіз та вибір матеріалів для корпусу пристрою

Так як пристрій буде працювати з агресивними хімічними розчинниками то його конструкція обов'язково має бути з матеріалів, котрі є інертними до певних хімічних речовин. Також не менш важливо досягнути повної герметизації усередині робочої камери макету, щоб мінімізувати вихід шкідливих випарів за межі робочої камери.

Пристрій переважно розрахований для роботи з ABS пластиком та його розчинником ацетоном. Пластики на основі полістиролу, акрилонітріл-стиролу і полікарбонату дуже легко піддаються впливу хімічної речовини. Інші пластмаси не такі вразливі до ацетону, але з часом можуть втрачати свої властивості під тиском агресивного хімічного пару.



Рисунок 6.1 – Алюмінієвий контейнер

Найліпшим варіантом було обрано алюмінієвий контейнер у якості основи під стіл з нагрівальними елементами (рисунок 6.1) та скляна циліндрична ємність, що служить кришкою камери (рисунок 6.2). Наприклад, з виробництва ацетон постачається саме в скляних тарах. Також плюсом цього вибору є можливість оператора слідкувати за процесом обробки через скло і корегувати його, якщо це потрібно.



Рисунок 6.2 – Скляна кришка

Для того, щоб забезпечити додаткову герметизацію пристрою до верхньої частини контейнера було приклеєно резиновий ущільнювач, інертний до ацетону (рисунок 6.3). У якості клейкої речовини використано клей-герметик марки Fix All, котра гарантує збереження усіх його властивостей під дією агресивного середовища.



Рисунок 6.3 – Резиновий ущільнювач

6.2 Збірка макету пристрою

У корпусі вирізані отвори LED індикатора, енкодера, кнопки та роз'єму живлення, що не порушують загальну герметичність макету. До корпусу приєднаний стіл з решіткою під розміщення необроблених деталей 3D друку (рисунок 6.4). Конструкцію пофарбовано у чорний колір.



Рисунок 6.4 – Стіл з решіткою

Макетна плата з платою Arduino Nano та радіодеталлями монтується у середину корпусу за межею випарювання хімічних розчинів.

Усі радіоелементи були спочатку з'єднані і протестовані на макетній платі і тільки потім технічно розміщені у пристрої (рисунок 6.5).

З'єднання виконується за допомогою перемичок, майже не використовуючи пайку.

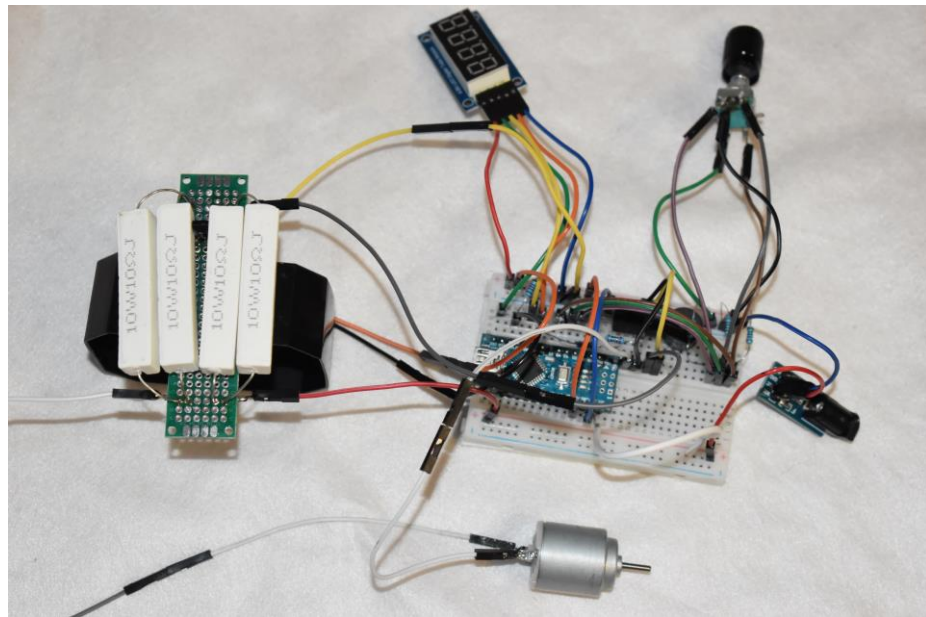


Рисунок 6.5 – Зібрана схема

Основною конструктивною частиною макету є випарник з чотирьох резисторів з'єднаних паралельно, котрі забезпечують підігрів ємності з ацетоном (рисунок 6.6). Контакти резисторів підключені до плати Arduino через отвір у контейнері. Ще один отвір до камери необхідний для крильчатки електродвигуна, що відповідає за циркуляцію. Так як отвори знаходяться в межах робочої камери, їх необхідно щільно загерметизувати, аби запобігти розповсюдженню випарів ацетону.

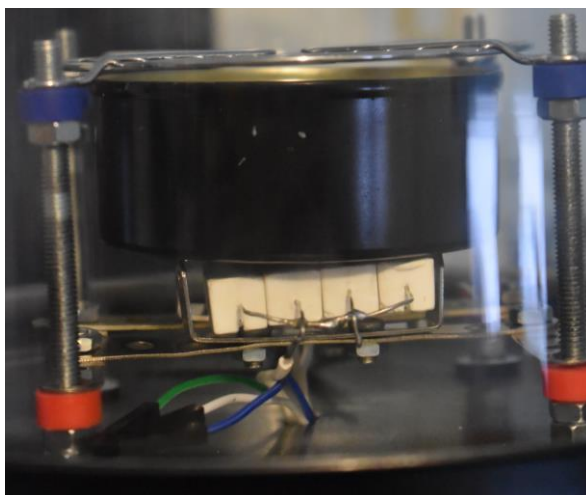


Рисунок 6.6 – Випарник

Повністю готовий до роботи і протестований пристрій хімічної постобробки деталей з пластику зображено на рисунку 6.7



Рисунок 6.7 – Готовий пристрій постобробки

6.3 Висновки по шостому розділу

У шостому розділі описується процес збору макету пристрою постобробки та пояснюється конструкторські рішення щодо матеріалів корпусу пристрою.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Аналіз умов праці на робочому місці

Роботи по постобробці деталей 3D друку, використовуючи виготовлений макет пристрою виконуються в лабораторії, розміри якої складають 6×4×3,4 м. Робоче місце оператора складається із столу, стільця і пристрою постобробки. У приміщенні працює 1 людина. Площа приміщення 24 м², об'єм – 81,6 м³, згідно ДСанПіН 3.3.2.007–98 площа на одне робоче місце повинна складати не менше 6 м², а об'єм – 20 м³. Для даного приміщення робоча площа і об'єм на одну людину (площа на одне робоче місце 8 м², а об'єм – 27,2 м³) відповідає нормам [21].

У аналізованому приміщенні (лабораторії) домінуючим шкідливим виробничим чинником є шкідливі випаровування робочої речовини - ацетону.

Ацетон відноситься до класу пожежонебезпечних речовин, тому при роботі слід уникати потрапляння на нього прямих сонячних променів і тримати подалі від тепла. Він важчий за повітря і може накопичуватися в невентильованому приміщенні, що може бути причиною хімічного отруєння або вибуху, якщо хмара пари ацетону стикнеться з іскрою або джерелом тепла.

Працювати з ацетоном слід в рукавичках і не допускати попадання речовини в слизову оболонку ока.

7.2 Промислова безпека в лабораторії

Живлення пристрою постобробки здійснюється від трифазної чотирипровідної системи живлячих провідників змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

Згідно НПАОП 40.1–1.21–98 лабораторію можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, оскільки в приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести низку організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1–1.32–01 для запобігання поразці людини електричним струмом в приміщенні застосовується система заземлення типу TN–C–S захисного провідника.

Згідно з вимогами НПАОП 0.00–4.12–05 проводиться ввідний, первинний на робочому місці, повторний, цільовий і позаплановий інструктаж. Вміст інструктажу відповідає вимогам НПАОП 0.00–4.12–05. Факт проведення інструктажу наголошується у відповідних журналах з підписами, що інструктуються і що інструктує.

7.3 Виробнича санітарія в лабораторії

Оптимальні норми температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень для категорії робіт легка, а наступні відповідно до ДСН 3.3.6.042–99:

– у холодний період: температура 22–24°C, відносна вологість 40–60 %, швидкість руху повітря менше або рівна 0,1 м/с;

– у теплий період: температура 23–25°C, відносна вологість 40–60 %, швидкість руху менше або рівна 0,1 м/с.

Зорова робота оператора є роботою високої точності, найменший розмір об'єкту розрізнення 0,3–0,5 мм і розряд зорової роботи III. Згідно вимоги ДБН В.25–28–2006 величина коефіцієнта природної освітленості дорівнює 2 %. Природне світло проникає в приміщення через бічні вікна, що відповідає вимогам. Штучне освітлення виконуємо у вигляді суцільних або переривистих ліній світильників, розташованих паралельно лінії зору операторів. В якості джерела світла застосовані люмінесцентні лампи.

Згідно ДСН 3.3.6.037–99 рівень шуму в лабораторії не повинен перевищувати 50 ДБ.

Проведений аналіз дозволив виявити домінуючий шкідливий чинник – підвищена температура повітря робочої зони. Одним з варіантів усунення даного чинника є використання системи кондиціонування.

Мета перевірного розрахунку – вибір кондиціонера, який забезпечить оптимальні значення мікрокліматичних параметрів в приміщенні.

При виділенні надлишкової теплоти кількість повітря визначається з умови асиміляції надлишків цієї теплоти. Кількість необхідного припливного повітря можна визначити за формулою :

$$L_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{надл}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}})}, \quad (7.1)$$

де $Q_{\text{надл}}$ – надлишкове виділення явної теплоти;

c – питома теплоємність повітря при постійному тиску (1,009 кДж/кг·град або 0,24 ккал/кг·град);

p – питома вага повітря в приміщенні (за нормальних умов 1,2928 кг/м³);

$t_{\text{уд}}$ – температура повітря, що видаляється;

$t_{\text{пр}}$ – температура припливного повітря (має бути не 5–8 °С нижче за температуру повітря в робочій зоні).

У приміщенні джерелами надлишкового тепла $Q_{\text{надл}}$ є :

- надходження тепла від людей;
- виділення тепла від обладнання і допоміжної апаратури;
- вступ тепла від сонячної радіації;
- виділення тепла від електричного освітлення і т.д.

Вхідні дані для розрахунку: $Q_{\text{надл}}$ для розглянутої лабораторії дорівнює 1200 ккал/год.; $t_{\text{уд}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{пр}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Виконаємо розрахунок кількості необхідного припливного повітря:

$$L_{\text{пр}} = \frac{1200}{0,24 \cdot 1,2928 \cdot (27 - 20)} = 552,5 \text{ (м}^3\text{/год.)}.$$

З двох розрахованих показників необхідної кількості припливного повітря вибираємо найбільше 552,5 м³/год. При виборі кондиціонера слід віддавати перевагу моделям з показником продуктивності 600–700 м³/год., отже, вибираємо кондиціонер SAMSUNG AQ18TSBN.

7.4 Розрахунок надійності

Залежно від властивостей, визначених у понятті «надійність», використовуються терміни «розрахунки окупності», «розрахунки технічного обслуговування», «розрахунки довговічності», «розрахунки зберігання», які на відміну від загального терміна «розрахунок надійності» висловлюють суть здійснюваних в кожному конкретному випадку розрахунків.

Надійність – властивість технічних об'єктів своєчасно утримувати в встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в зазначених режимах і умовах експлуатації, технічного обслуговування, зберігання і транспортування.

Під технічними об'єктами розуміються пристрої, пристрої, механізми, машини, комплекси обладнання, будівельні конструкції і конструкції, технологічні операції і процеси, системи зв'язку, інформаційні системи, автоматизовані системи управління технологічними процесами і т. д. [13]

Методи теорії і практики дослідження надійності засновані на застосуванні апарату теорії ймовірностей і випадкових процесів, математичної статистики, моделювання.

Надійність в інженерній практиці відрізняється від безпеки щодо типів небезпек, з якими вона має справу. Надійність в техніці в основному пов'язана з оцінкою показників вартості. Вони відносяться до цих ризиків з точки зору надійності, яка може перерости в аварію, що призведе до додаткових витрат для розробника або замовника. Це може статися через втрати через небажання системи, несподівано високих витрат на запасні частини і ремонт, перерв в нормальній роботі тощо. Однак безпека відноситься до тих випадків прояву небезпек, які можуть привести до потенційно серйозних наслідків та аварій.

Вимоги безпеки функціонально пов'язані з вимогами надійності, але характеризуються більш високим ступенем відповідальності. Безпека має справу з небажаними небезпечними подіями для життя людей і навколишнього середовища в тому ж сенсі, що і надійність, яка не пов'язана безпосередньо з витратами і не пов'язана з відновленням після збоїв і аварій.

У сфері безпеки існують інші рівні важливості, заперечення в суспільстві і державний контроль. Безпека переважно контролюється державою (наприклад, атомна промисловість, космічна промисловість, оборонний, залізничний і повітряний транспорт, нафтогазовий сектор.

Таблиця 7.1 – Розрахунок інтенсивності відмов

Найменування радіоелемента	Тип	Кількість, n	Температурна вишка, t _{ср.} , °C	Коефіцієнт навантаження, K _{н.}	Коефіцієнт впливу, α	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$	$\lambda_c \cdot 10^{-6}$
						Γ^{-1}	Γ^{-1}	Γ^{-1}
R1-R11	ІМС	11	40	0,4	0,7	0,06	0,030	1,86
Пайка	ПОС-61	120	40	-	-	0,005	0,005	0,16

Розрахуємо надійність пристрою.

Розрахунок напрацювання на відмову проходить за формулою 5.2.

$$\Lambda = \sum \lambda_c \quad (7.2)$$

$$T_c = 1/\Lambda \quad (7.3)$$

де Λ – сума інтенсивності відмов;
 λ_c – інтенсивність відмов елементу;
 T_c – значення напрацювання на відмову.

$$\Lambda = (0,0004 + 11,16 + 1,3 + 1,44 + 19,2) * 10^{-6} \text{ г}^{-1}$$

$$T_c = 1/33,1004 * 10^{-6} = 30211,11 \text{ годин} \approx$$

$$\approx 1258 \text{ днів} \approx 3,4 \text{ роки}$$

7.5 Техніка безпеки при роботі з ацетоном

Ацетон – горюча безбарвна легкозаймиста рідина, розчинна у воді з характерним різким запахом, легко випаровується при кімнатній температурі, при контакті з пероксидом натрію або хромовим ангідридом загоряється при вибуху.

Летучість при кімнатній температурі – 711 мг/л.

Густина при 20° С – 0,794 г/см³.

Температура спалаху – мінус 18° С.

Температура кипіння – 56,24° С.

Температура самозаймання – 465° С.

Температурні межі вибухонебезпеки насичених парів з повітрям:

– нижня – мінус 20° С,

– верхня – +6° С.

Концентраційні межі вибухонебезпеки парів з повітрям за об'ємом:

– нижня – 2,2 %,

– верхня – 13 %.

Технічний ацетон транспортується у спеціально розроблених для нього залізних цистернах з рідким або універсальним розвантажувальним пристроєм; цистерни, алюмінієві, сталеві або оцинковані, місткістю від 100 до 275 дм³, скляні пляшки згідно з ОСТ 6-09-185 10 і 20 дм³. Ацетон, призначений для роздрібної торгівлі, упакований у скляні пляшки та флакони ємністю 30, 50, 100, 500 і 1000 см³.

Технічний ацетон зберігається в сталі, алюмінію, оцинкованих контейнерах або бочках і в скляних пляшках відповідно до правил зберігання горючих речовин. Термін придатності не обмежений [13].

При роботі з ацетоном необхідно дотримуватися наступних правил:

- вся робота з ацетоном повинна проводитися в приміщеннях з використанням примусової і витяжної вентиляції;
- все обладнання, що використовується у виробничих процесах, має бути запечатано;
- у виробничих приміщеннях і сховищах необхідно дотримуватися правил захисту від статичної електрики;
- захист органів дихання в надзвичайних ситуаціях застосовується з технічним ацетоном - протигазом марки "А" або "БКФ";
- для гасіння пожежі гірського ацетону використовуються порошкові вогнегасники, пісок, азбестовий ковдра, вода і піна [13].

Технічний ацетон транспортується у спеціально розроблених для нього залізних цистернах з рідким або універсальним розвантажувальним пристроєм; цистерни, алюмінієві, сталеві або оцинковані, місткістю від 100 до 275 дм³, скляні пляшки згідно з ОСТ 6-09-185 10 і 20 дм³. Ацетон, призначений для роздрібної торгівлі, упакований у скляні пляшки та флакони ємністю 30, 50, 100, 500 і 1000 см³ [13].

Ацетон транспортує всі види товарів відповідно до правил перевезення вантажів, що діють на транспорті такого типу.

Повітряний транспорт здійснюється тільки на вантажних суднах максимальною сумою 60 дм³. По залізниці перевозили в бочках в криті

вагони. При транспортуванні ацетону в бочках ємністю 100 дм³ в покритих залізничних вагонах, річковий і морський транспортний перевізник забезпечуються пакетами відповідно до правил перевезення вантажів.

Технічний ацетон зберігається в сталі, алюмінію, оцинкованих контейнерах або бочках і в скляних пляшках відповідно до правил зберігання горючих речовин. Термін придатності не обмежений [13].

7.6 Висновки по сьомому розділу

Сьомий розділ охоплює питання охорони праці. Проаналізовано умови праці на робочому місці. Зазначено норми промислової безпеки та виробничої санітарії у лабораторії.

Був виконаний розрахунок надійності пристрою постобробки.

Також у розділі описуються правила техніки безпеки при роботі з ацетоном.

ВИСНОВКИ

Під час проходження професійної практики було виконано наступне.

Проведено аналіз методів постобробки виробів з пластмас. Детально проаналізовано процеси постобробки.

Проаналізовано існуючі аналоги пристрою.

Виконано повний аналіз конструкції та принципу роботи пристрою хімічної постобробки, аналіз схеми електричної принципової та підібрано необхідну елементної бази. Основним елементом керування було обрано плату Arduino Nano. Важливими виконавчими елементами є вентилятор і випарник ацетону, що складається із залізної ємкості, розташованої на чотирьох резисторах 10 Вт 10 Ом, підключених паралельно. Також у пристрої використовуються чотирьохрозрядний LED індикатор та активний динамік для візуальної і звукової індикації відповідно. Регулювання відбувається пристрою відбувається за допомогою модулю енкодера.

Розроблено програмний код для модулю керування пристроєм хімічної постобробки деталей з пластмас.

Модернізовано конструкцію виробу системою автоматизованої подачі хімічної речовини до випарника. Використано перистальтичний насос зі спеціально підбраною трубкою. Досліджено її властивості стійкості до ацетону.

Розглянуто питання надійності і охорони праці, техніку безпеки при роботі з ацетоном.

Роботоспроможність пристрою постобробки протестована. Завдяки правильно підбраній трубці насоса, термін роботи пристрою понад 500 годин.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки до магістерської атестаційної роботи для студентів спеціальності 8.05090203 «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін, Є.А. Разумов-Фризюк, І.В. Жарікова. – Харків: ХНУРЕ. – 2011. – 49 с.
2. ДСТУ 3008–2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – К.: Вид-во стандартів, 2016. – 26 с.
3. Невлюдов, І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів / І.Ш. Невлюдов. – Харків: Компанія СМІТ, 2005. – 592 с.
4. ГОСТ 15150–69. Межгосударственный стандарт. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). – М.: Стандартиформ, 2010. – 58 с.
5. Постобработка пластика после 3D-печати: механическая и химическая [Електронний ресурс]: Bestfilament. – Режим доступу: <https://rusabs.ru/blogs/blog/kak-raspechatannye-na-3d-printere-obekty-sdelat-gladkimi> – 2012 г.
6. Профессиональная ацетоновая баня – первая в Москве! [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://promtubes.ru/chemical-hose> – 01.10.2020 г.
7. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін «Основи технології виробництва РЕА» для студентів усіх форм навчання спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка (освітня програма «Радіоелектронні апарати») / Упоряд. І. В. Боцман. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 36 с.
8. Радиокот [Електронний ресурс]: Радиокот. – Режим доступу: <https://www.radiokot.ru/> – 2014 г – Загл. с экрана.

9. Космодром. Электронные компоненты [Электронный ресурс]: Космодром. Электронные компоненты. – Режим доступа: <http://www.kosmodrom.com.ua/> – 2012 г – Загл. с экрана.

10. АЦЕТОНОВЫЕ И ДИХЛОРМЕТАНОВЫЕ БАНИ [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://3drashodnic.ru/katalog/prisposobleniya-dlya-raboty-na-3d-printere> – 09.09.2020 г.

11. Пост-обработка изделий из пластика: как сделать поверхности гладкими [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://3d.globatek.ru/world3d/obrabotka_abs/ – 10.09.2020 г.

12. Химические шланги и трубки [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://promtubes.ru/chemical-hose> – 09.10.2020 г.

13. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс]: Electronic Components Datasheet Search. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/> – 2013 г – Загл. с экрана.

14. Технологичность конструкции изделия [Электронный ресурс]: Академик. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/139535/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C> – 2011 г – Загл. с экрана.

15. Устройство для автоматизированной финишной обработки изделий, изготовленных 3d печатью [Электронный ресурс]: ЕДРИД – Режим доступа: <https://edrid.ru/rid/217.015.e244.html> – 2015 г.

16. Технологии 3D-печати: преимущества и недостатки [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologii-3d-pechati-preimuschestva-i-nedostatki/> – 09.10.2018 г.