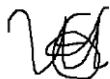


Я , Шрубковський Євген Вікторович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«16» червня 2025 р.



Шрубковський Є.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
«30» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачеві Шрубковському Євгену Вікторовичу

1. Тема роботи Розроблення програмного модуля для підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат
затверджена наказом університету від 19.05.2025 р. № 390
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 24.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи
 - 3.1 Мікроконтролер Arduino UNO R4
 - 3.2 Середовище розробки Tinkercad
 - 3.3 Мова програмування C++
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
 - 4.1 Аналіз предметної області
 - 4.2 Розробка схеми підключення підсистеми автоматичного дозування рідких складників
 - 4.3 Розрахунки стійкості системи
 - 4.4 Розробка програмного забезпечення для підсистеми автоматичного дозування рідких складників
 - 4.5 Макетування підсистеми автоматичного дозування рідких складників
 - 4.6 Охорона праці
 - 4.7 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Графічний демонстраційний матеріал в форматі powerpoint(*.ppt) формату А4 –12 сторінок

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	30.04.2025 – 02.04.2025	Виконано
2	Опрацювання літератури за темою	02.04.2025 – 04.05.2025	Виконано
3	Аналіз існуючих рішень	05.05.2025 – 06.05.2025	Виконано
4	Розробка загальної структурної схеми	07.05.2025– 08.05.2025	Виконано
5	Вибір апаратних модулів	09.05.2025 – 11.05.2025	Виконано
6	Розробка схеми підключення	12.05.2025 – 13.05.2025	Виконано
7	Моделювання схеми в середовищі Tinkercad	14.05.2025 – 16.05.2025	Виконано
8	Складання та тестування фізичного макету	18.05.2025 – 25.05.2025	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2025 – 12.06.2025	Виконано

Дата видачі завдання 28.04.2025 р.

Здобувач


(підпис)

Євген ШРУБКОВСЬКИЙ

Керівник роботи

(підпис)

доц. Олена ЧАЛА
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с., 60 рис., 1 дод, 34 джерела.

ВИРОБНИЦТВО, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ДОЗА, ДОЗАТОР,
ДОЗУВАННЯ, ФЛЮС, ПРИПІЙ, ТЕМПЕРАТУРА, ТРАВЛЕННЯ.

Об'єкт розробки – автоматизований технологічний процес виготовлення друкованих плат.

Предмет розробки – підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат

Мета роботи – підвищення якості технологічно процесу виготовлення друкованих плат за рахунок розроблення програмного модуля для підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат.

Методи розробки – аналізування існуючих рішень, пошук проблем та шляхів їх усунення, впровадження принципово нових підходів до ТП. Моделювання підсистеми дозування рідких складників у середовищі Tinkercad та тестування шляхом фізичного макетування.

Проведено аналіз предметної області, оглянуто пристрої подібного призначення.

Розроблено програмний модуль для підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат, що дозволить покращити виробництво шляхом зменшення його собівартості та спрощення методів.

ABSTRACT

Explanatory note: 79 pages, 60 figures, 1 app, 34 sources.

MANUFACTURING, PRINTED CIRCUIT BOARD, DOSE, DOSER, DOSING, FLUX, SOLDER, TEMPERATURE, ETCHING.

Object of the development: automated technological process for the manufacture of printed circuit boards.

Subject of the development: subsystem for the automatic dosing of liquid components in the technological process of soldering printed circuit boards.

Goal of the work: improve the quality of the technological process of manufacturing printed circuit boards by developing a software module for the subsystem of automatic dosing of liquid components in the technological process of soldering printed circuit boards.

Development methods: analysis of existing solutions, identification of problems and ways to eliminate them, implementation of fundamentally new approaches to the technological process. Modelling of the subsystem for dispensing liquid components in the Tinkercad environment and testing by physical prototyping. An analysis of the subject area was carried out, and devices of a similar purpose were reviewed.

A software module was developed for the subsystem of automatic dosing of liquid components in the technological process of soldering printed circuit boards, which will improve production by reducing its cost and simplifying methods.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз предметної області.....	13
1.1 Технологічний процес виготовлення друкованих плат	13
1.1.1 Основні технологічні методи виготовлення ДП.....	13
1.1.2 Роль дозування у виробництві ДП. Проблеми, їх вирішення та автоматизація.....	20
1.2 Аналіз конструкцій дозаторів	22
1.2.1 Об'ємні дозатори.....	22
1.2.2 Струменеві (безконтактні) дозатори	24
1.3 Способи автоматизованого паяння друкованих плат.....	26
1.3.1 Паяння хвилею припою.....	27
1.3.2 Паяння груповим паяльником	33
1.3.3 Лазерне Паяння	35
2 Розробка макету підсистеми автоматичного дозування рідких складників	39
2.1 Розробка загальної структурної схеми.....	39
2.2 Розробка алгоритму роботи	40
2.3 Вибір апаратних модулів.....	43
2.4 Розробка схеми підключення.....	48
2.5 Моделювання підсистеми автоматичного дозування рідких складників у середовищі Tinkercad	49
3 Розрахунки стійкості перистальтичного насосу	51
4 Складання та тестування фізичного макету	55
4.1 Тестування створеного віртуального макету	55
4.2 Макетування проєкту.....	58
4.2.1 Блок Arduino	59

4.2.2 Блок джерел живлення	60
4.2.3 Блок датчиків.....	61
4.2.4 Блок драйверів.....	63
4.2.5 Блок виконавчих механізмів.....	64
4.2.6 Блок індикації.....	65
4.3 Фінальна збірка, програмування та тестування.....	66
4.4 Охорона праці при експлуатації підсистем дозування рідких складників.....	69
Висновки	72
Перелік джерел посилання	74
Додаток А Апробація результатів роботи	77
Додаток Б Програмний код	84
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	87

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ДП – друкована плата;

КІТАР – комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки;

ТП – технологічний процес;

ФЧХ – фазово-частотна характеристика;

FPQP – Advanced Product Quality Planning;

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis;

SPC – Static process control.

ВСТУП

У сучасному світі, задля збільшення обсягу виробленої продукції, зменшення обсягу роботи, виконаної людиною та, відповідно, впливу людського фактору на підсумковий результат, витрати і, супутньо, зменшення собівартості продукції, на виробничих підприємствах дуже поширене використання конвеєрів, маніпуляторів, крокових двигунів та дозаторів. Останні відіграють ключову роль на фармацевтичних, хімічних, харчових промисловостях. Виробництво друкованих плат не є виключенням.

Дозатори переважно застосовуються на етапах попереднього очищення, нанесення паяльних компонентів, таких як флюс, припій та паста, і фінального очищення виробу після закінчення всіх паяльних операцій, що робить плату готовою до наступних етапів виробництва (наприклад, сушіння, фарбування, нанесення термоінтерфейсів і радіаторів охолодження тощо).

Виходячи з назви, основна мета застосування дозатора – нанесення газоподібного, рідкого або твердого тіла в необхідному об'ємі (дозі). Дозування є дуже важливою складовою всіх видів виробництв: на фармацевтичному та хімічному це дозволяє уникнути неправильних пропорцій складників, на харчових запобігти недостатнього або надмірного обсягу одиниці товару, а на виробництві друкованих плат виключає можливі короткі замикання через надмірну кількість припою або ж навпаки, відсутність контакту через її нестачу.

На сучасних підприємствах більшість дозаторів мають програмне управління, що робить можливим зміну таких параметрів, як: доза, швидкість видачі, частота видачі тощо.

Не зважаючи на велику кількість досліджень та варіантів дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат виникають протиріччя між подальшим розширенням технологічного процесу, підвищення якості, за критерієм точності дозування перспективних варіантів реалізації

технологічного процесу (ТП) за умови підвищення щільності монтажу та водночас – обмеженістю відомих підходів до технологічного забезпечення якості паяння.

Спираючись на вище сказане, можна зробити висновок, що розроблення програмного модуля для підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат є актуальною та своєчасною науково-практичною задачею. Також, це допоможе значно підвищити гнучкість виробництва.

Об'єкт розробки – автоматизований технологічний процес виготовлення друкованих плат.

Предмет розробки – підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат.

Мета роботи – підвищення якості технологічно процесу виготовлення друкованих плат за рахунок розроблення програмного модуля для підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання: проаналізувати предметну область та існуючі рішення, підібрати електронні компоненти для макетування, розробити віртуальну схему підключення та запрограмувати її для тестування програмного забезпечення, провести розрахунки стійкості системи, побудувати фізичний макет та провести його тестування із різними сценаріями роботи. Також необхідно проводити всю роботу згідно законів та рекомендацій про охорону праці.

Упровадження розробленого макету стане в нагоді для тестування та налагодження програм для модулів підсистем дозування рідин а також у проведенні лабораторних робіт та практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та подібних.

Кваліфікаційну роботу виконано та оформлено згідно з ДСТУ 3008:2015 [1], методичних вказівок [2], Положення про протидію плагіату в ХНУРЕ [3] та навчального посібника з кваліфікаційної роботи [4].

Матеріали за тематикою роботи були апробовані у вигляді усної доповіді на міжнародній науковій конференції та тези доповіді опубліковано у збірнику наукових праць «Період трансформаційних процесів в світовій науці: задачі та виклики», у червні 2025 року, місто Кропивницький, Україна [4].

Проведені дослідження відповідають цілям сталого розвитку (ЦСР), а саме: ЦСР 4, ЦСР 9 [5].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Технологічний процес виготовлення друкованих плат

1.1.1 Основні технологічні методи виготовлення ДП

Під виготовленням друкованих плат (ДП) зазвичай розуміють обробку заготовки, наприклад, фольгованого діелектричного матеріалу, якщо мова йде про субтрактивну технологію. Типовий процес обробки заготовки складається з декількох етапів:

- вирізання заготовки з листового базового матеріалу;
- свердління перехідних отворів;
- отримання рисунку провідників шляхом видалення надлишків мідної фольги (травлення);
- металізація отворів (за необхідності);
- нанесення захисних покриттів і лудіння;
- нанесення маркування [6].

Для отримання провідників під час виготовлення ДП використовуються хімічні, електролітичні або механічні методи відтворення необхідного струмопровідного рисунка, а також їх комбінації.

Захисний шар може бути нанесено у вигляді фоторезисту, а також трафаретним способом або методом офсетного друку у вигляді лаку або фарби.

Механічний спосіб виготовлення струмопровідних елементів ДП полягає у використанні фрезерно-гравірувальних верстатів або інших інструментів для механічного видалення шару фольги із заданих ділянок.

Технології виготовлення ДП розділяють на три групи: субтрактивна, адитивна, напівадитивна (рис. 1.1).

Субтрактивною (subtratio – віднімання) називають технологію одержання провідного рисунка шляхом виборчого видалення окремих ділянок із суцільного

металевого шару, що покриває ізоляційну основу. Ця технологія, заснована на застосуванні готового фольгованого шаруватого пластику, на якому формується провідний рисунок шляхом видалення фольги з непровідних ділянок. До субтрактивної технології відноситься хімічний метод виготовлення ДП.

Хімічний спосіб виготовлення друкованих плат з готового фольгованого матеріалу складається з двох основних етапів: нанесення захисного шару на фольгу та травлення незахищених ділянок хімічними методами.

Після формування захисного рисунку незахищена фольга витравлюється в розчині хлорного заліза або (набагато рідше) інших хімікатів, наприклад мідного купоросу. Після травлення захисний рисунок з фольги змивається.

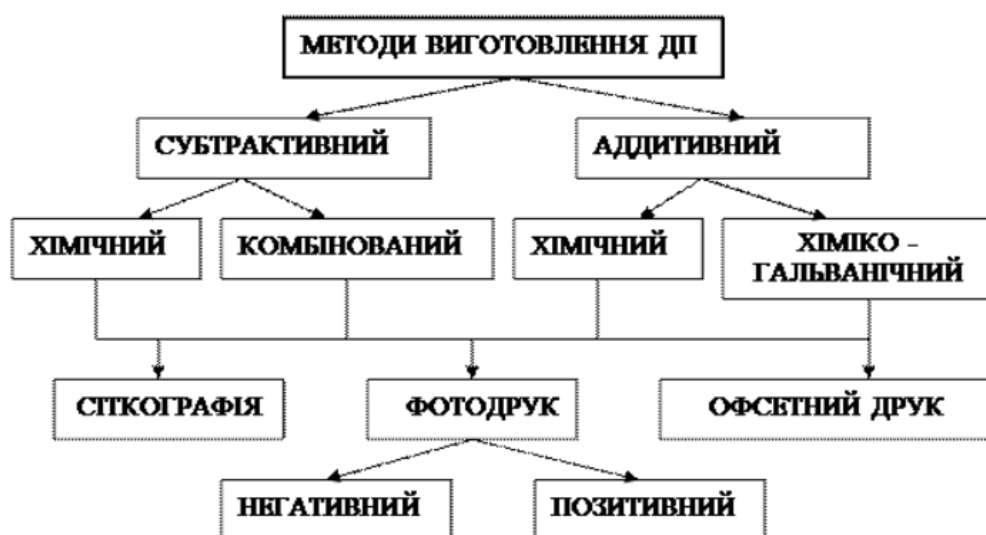


Рисунок 1.1 – Класифікація методів виготовлення ДП [6]

Субтрактивні методи, розглянуті вище (рисунок ДП отримується травленням міді з пробілів), які застосовуються в даний час, мають обмеження по спроможності рисунку схеми, тобто за мінімально відтворюваною шириною провідників і відстаней між ними, розміри яких пов'язані з товщиною провідників:

– за товщини провідників 5 мкм ...9 мкм можна отримати ширину провідників і зазорів порядку 50 мкм;

- за товщини провідників 20 мкм...35 мкм – 100 мкм...125 мкм;
- за товщини провідників 50 мкм – 150 мкм...200 мкм.

Переваги субтрактивної технології:

- можливість повної автоматизації;
- висока продуктивність;
- низька собівартість.

Недоліки субтрактивного методу:

- ймовірність виникнення великих підтравлювань через необхідність травління великої товщини фольги, що унеможлиблює виготовлення ДП високих класів точності;
- необхідність використання більш дорогих базових матеріалів;
- необхідність видалення дорогої міді;
- проблеми з регенерацією розчинів, утилізацією матеріалів.

Додаткова хіміко-гальванічна металізація монтажних отворів привела до створення комбінованих методів виготовлення ДП.

Адитивною (additio – додаток) технологією називають виборче осадження струмопровідного покриття на діелектричну основу, на яке попередньо може наноситися шар клейової композиції (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Структурна схема ТП виготовлення ДП [7]

У порівнянні із субтрактивними методами адитивні мають наступні переваги:

- однорідністю структури, тому що провідники і металізація отворів отримуються у єдиному хімікогальванічному процесі;
- усувають підтравлювання елементів друкованого монтажу;
- поліпшують рівномірність товщини металізованого шару в отворах;
- підвищують щільність друкованого монтажу (ширина провідників складає 0,13 мм...0,15 мм);
- спрощують ТП через усунення ряду операцій;
- заощаджують мідь, хімікати для травлення і витрати на нейтралізацію стічних вод в цілях сталого розвитку [5].

Таким чином, на відміну від субтрактивної технології, адитивні процеси принципово дозволяють одержувати ДП за найвищими класами точності.

На відміну від субтрактивних методів, в адитивному методі застосовують нефольгований діелектрик, на який селективно осаджують мідь.

Осадження хімічної міді здійснювалося на поверхню, активовану паладієм або іншим активатором (олов'янопаладієвим, полімерним або вуглецевим). Активатор виконував роль центрів для осадження міді, після чого за рахунок автокаталітичного процесу утворювалася рівномірна тонка мідна плівка. Ця плівка забезпечувала електропровідність всій поверхні плати, що дозволяло надалі здійснювати електрохімічне (гальванічне) нарощування. Отримання досить товстих плівок тільки засобами хімічного процесу було вельми складним і в промислових масштабах не застосовувалося.

До недоліків адитивного методу відносяться:

- високий питомий електричний опір хімічної міді;
- наявність адгезійного шару на поверхні, що піддається старінню;
- тенденція хімічної міді до розтріскування під впливом сильних термічних ударів і ін.

Недоліки адитивної технології пов'язані перш за все з тим, що процес хімічного міднення – один з трудомістких і складних в технологічному циклі виробництва ДП (на його частку припадає 20 %-40 % браку). Це пояснюється цілою низкою причин:

- низькою стабільністю розчину хімічного міднення,
- труднощами одержання якісних шарів великої товщини,
- складністю управління самим процесом хімічного осадження,
- трудомісткою попередньої підготовки матеріалу основи плати,
- гіршою адгезією і погіршеними фізико-хімічними властивостями хімічно осадженої міді в порівнянні з гальванічною через відмінності їх структур, що пов'язано, з специфікою процесів осадження.

Більш сучасний процес, що носить назву прямої металізації, не вимагає хімічної металізації. При прямому методі на поверхню наноситься плівка активатора, яка вже володіє достатньою електропровідністю для гальванічної металізації. Цей підхід більш екологічний, дозволяє спростити устаткування і пропонує кращі співвідношення глибини отвору до діаметра, оскільки при його виконанні не утворюється водень, характерний для хімічного міднення.

Незважаючи на описані переваги, застосування адитивного методу в масовому виробництві ДП обмежено низькою продуктивністю процесу хімічної металізації, інтенсивним впливом електролітів на діелектрик, трудомісткістю одержання металевих покриттів з гарною адгезією. Домінуючою в цих умовах є напівадитивна технологія, особливо з переходом на фольговані діелектрики з тонкомірною фольгою (5 мкм і 18 мкм).

Напівадитивна технологія – це сумісні варіанти адитивної і субтрактивної технологій, тобто проводиться, як хімічне травлення, так і хімічне та гальванічне нарощування. Провідний шар наносять і на поверхню отворів, призначених для впаювання дротових і штирьових виводів ЕК, чого не може забезпечити субтрактивна технологія. Металізація отворів дає умови для міцного механічного і надійного електричного з'єднання.

До напівадитивної технології відносяться комбіновані методи виготовлення ДП.

Технологічний процес виготовлення ДП включає такі важливі етапи, як формування рисунка і механічна обробка ДП.

Основні операції напівадитивної технології є наступними:

- підготовка поверхні діелектрика;
- нанесення адгезива;
- виготовлення отворів;
- сенсibiliзація і активація;
- хімічне осадження міді;
- формування маскуючого шару;
- гальванічне нарощування міді;
- видалення маски;
- вибіркове травління міді;
- виготовлення технологічних отворів;
- формування маски для паяння.

Основні способи нанесення зображення друкованих провідників наступні:

– фотографічний – фотографування зображення провідників з фото позитива чи негатива на основу, що вкрита світлочутливою емульсією або плівкою;

– офсетний – нанесення позитивного чи негативного зображення провідників на основу захисною фарбою із застосуванням офсетної машини. Для нанесення рисунка використовується типографська машина, у якій на плату, розміщену на столі машини, з кліше з офсетної резини на поверхню основи кислотостійкою фарбою наносять зображення схеми;

– сіткографічний – нанесення зображення провідників за допомогою захисної фарби через сітчастий трафарет. На основу плати накладається трафарет, через який ракелем вручну або механічним способом продавлюють пасту необхідної якості з отриманням при цьому рисунка схеми;

- пресування – створення за допомогою прес-форм позитивного рельєфного зображення провідників на платі у вигляді канавок;
- штампування – вирубка провідників з листа фольги, накладеного на ізоляційну основу, за допомогою спеціального штампа;
- тиснення – нанесення на основу кислотостійких плівок позитивного чи негативного зображення провідників за допомогою нагрітої матриці та фарбової фольги;
- гравіювання – створення за допомогою спеціального інструменту позитивного рельєфного зображення провідників у вигляді канавок.

Основою для роботи в усіх методах слугують позитивні чи негативні фотошаблони, що отримують шляхом фотокопіювання оригіналу ДП. Найчастіше використовують фотоплівки, за підвищених вимог до точності – фотопластини.

Фотошаблони під час фотодруку використовуються безпосередньо для створення захисного рельєфу, під час трафаретного друку – для виготовлення трафарету, під час офсетного – для кліше.

Захисний рельєф буває негативний і позитивний. Негативний захищає від витравлювання струмопровідні елементи ДП: друковані провідники, контактні площадки, шини «землі» та «живлення» та інші, позитивний наноситься на пробільні місця, тобто на ділянки ДП, на яких не має бути міді.

Створені до того струмопровідні елементи захищаються перед операцією травління міді з пробільних місць стійкими у травильних розчинах або металорезистами, або полімерним травильним резистом.

Вибір способу отримання захисного рельєфу визначається конструкцією ДП, класом точності ДП: шириною провідників і відстаней між ними, розміром контактних площадок, точністю отримання розмірів друкованих елементів; щільністю монтажу, а також ТП виготовлення (продуктивністю обладнання, економічністю процесу та ін.) [8].

1.1.2 Роль дозування у виробництві ДП. Проблеми, їх вирішення та автоматизація.

Дозування рідких компонентів відіграє ключову роль у технологічному процесі виготовлення ДП.

Технології точного дозування забезпечують належне встановлення та захист електронних компонентів для забезпечення надійності та продуктивності плати.

Серед критеріїв у її застосуванні можна виділити наступні, нижче наведені етапи.

Вибір правильного клею є критичним у процесі дозування. При виборі клею слід враховувати такі фактори, як тип склеювального матеріалу, діапазон температур, в'язкість, твердість і хімічні властивості. Поширені види клею включають епоксидну смолу, силікон і поліуретан.

Дозувальне обладнання вимагає використання спеціального дозувального обладнання, такого як дозатори або машини для нанесення покриттів, забезпечує точне нанесення клею на плату. Ці пристрої зазвичай оснащені системами керування для забезпечення точності та послідовності дозування.

Точного дозування можна досягти, контролюючи потік і швидкість клею. Зазвичай для цього потрібно налаштувати параметри дозувального обладнання відповідно до потреб різних компонентів і плат.

Розташування та форма дозатора визначається розташуванням компонентів на платі. Деякі компоненти можуть потребувати дозування, щоб забезпечити додаткову механічну підтримку, тоді як інші можуть потребувати захисту від вібрації або проникнення вологи.

Впровадження етапів контролю якості, включаючи візуальний огляд і вимірювання, щоб забезпечити точність і послідовність дозування. Погане дозування може призвести до поломки плати або гірших наслідків [9].

Покращення якості та постійне вдосконалення мають вирішальне значення у виробництві друкованих плат, вони допомагають покращити якість продукції,

надійність і продуктивність, а також зменшити виробничі витрати та рівень браку. Задля досягнення цієї мети можна використовувати наступні методи:

Статистичний контроль процесу (SPC) – використання методів SPC для моніторингу та аналізу даних виробничого процесу для своєчасного виявлення та виправлення виробничих аномалій та відхилення. SPC може допомогти виявити потенційні проблеми з якістю та зменшити виробництво невідповідної продукції.

Автоматизовані процеси та автоматизоване обладнання для перевірки впроваджуються, щоб зменшити втручання оператора та мінімізувати помилки людини. Автоматизація може підвищити продуктивність і зменшити проблеми, спричинені помилками оператора.

Навчання та атестація працівників проводиться, щоб переконатися, що вони розуміють передовий досвід і стандарти якості. Атестування співробітників, щоб переконатися, що вони володіють необхідними навичками та знаннями.

Впровадження заходів запобігання помилкам, такі як FMEA (Аналіз відмов і наслідків) і APQP (Розширене планування якості продукції), щоб виявити й усунути потенційні проблеми до виробництва.

Метрики та індикатори якості – для кількісної оцінки якості продукції та продуктивності. Використання цих показників для відстежування проблем із якістю та прогресу вдосконалення.

У ситуаціях, коли виникають проблеми з якістю, проводиться аналіз першопричини для визначення першопричини проблеми, а не просто мається справу з поверхневими проблемами.

Відстеження та записи – щоб можна було швидко відстежити джерело проблеми, коли вона виникає. Ведення детальних записів, включаючи дані про виробництво, звіти про якість та історію технічного обслуговування.

Стандартизовані процеси та процедури – щоб гарантувати, що кожен продукт виробляється відповідно до однакових високих стандартів якості [10].

1.2 Аналіз конструкцій дозаторів

1.2.1 Об'ємні дозатори

Застосовуються для дозування газів, рідин, рідше твердих сипучих матеріалів. Дози від часток см^3 до сотень (тисяч для газів) м^3 , продуктивність від менш ніж $\text{см}^3/\text{год}$ до тисяч $\text{м}^3/\text{год}$ (для газів десятків тисяч), похибка від 0,5% до 10 %-20 % [11].

Дозатори дискретної дії в простому випадку складаються з однієї каліброваної ємності, яка забезпечена датчиком рівня, двох клапанів на вході в ємність і виході з неї (для підвищення точності і продуктивності дозатори можуть мати кілька різних за обсягом ємностей) і блоку управління – двохпозиційного автоматичного регулятора. Похибка до 1,5 %.

Принцип роботи даного обладнання заснований на заповненні проміжної ємності (гільзи) продуктом, за рахунок чого створюється негативний тиск при русі поршня, завдяки чому продукт виводиться в тару.

Мінімальний і максимальний обсяг продукту, який буде виданий в тару, може перевищувати обсяг гільзи дозатора.

Порівняно низьку похибку і габарити мають дозатори дискретної дії на основі об'ємних лічильників продукту (роторно-лопатеві, з овальними шестернями, гвинтові та ін.).

Кут повороту ротора, відповідний до обсягу минулого продукту, перетворюється на сигнал, що надходить у блок управління, який обчислює загальний обсяг пропущеного продукту, порівнює його із завданням і формує сигнал на припинення подачі продукту.

Головні переваги цього способу дозування:

- простота в роботі;
- досить легкий спосіб переналагодження;
- точність дозування;
- надійність самої конструкції;

Основні недоліки конструкції:

- обмежений обсяг дози (до 5 л);
- наявність великої кількості застійних зон;
- висока чутливість до різного виду абразивів;
- неможливість дозування агресивних (кислот та подібних) продуктів;
- обмеження щодо дозування густих продуктів;
- похибка при дозуванні пінних середовищ;
- залежність від температури і тиску (особливо для газів).

На рисунку 1.3 наведено об'ємний дозатор.

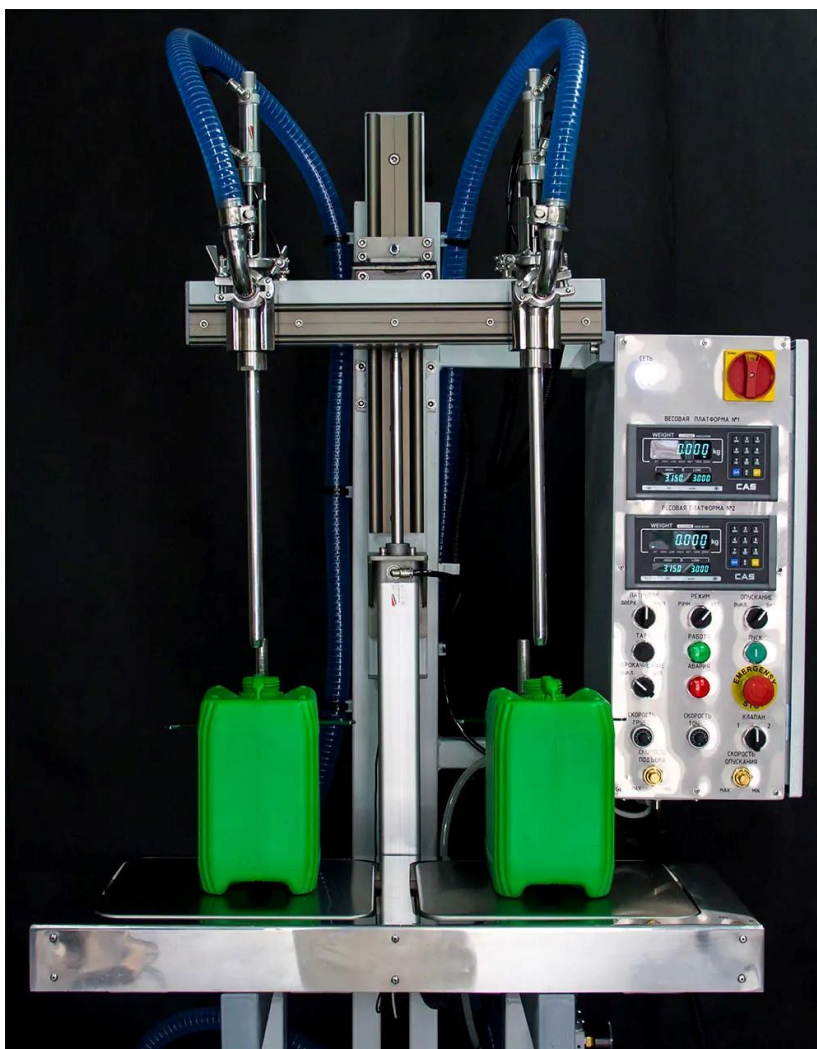


Рисунок 1.3 – Об'ємний дозатор [12]

1.2.2 Струменеві (безконтактні) дозатори

Там, де розміри крапель стають все меншими, і/або поверхня нанесення не допускає фізичного контакту з голкою дозатора, струменеві дозатори стають в нагоді.

У традиційних контактних методах голка торкається поверхні і фізично наносить рідину. При безконтактному дозуванні струмінь висить над робочою поверхнею і вистрілює рідиною, не торкаючись її.

При струменевому нанесенні рідина відокремлюється від аплікатора за допомогою імпульсу краплі, що призводить до утворення ідеально круглої крапки [13].

Струменеве нанесення забезпечує нанесення крапель надзвичайно малого розміру, з малим об'ємом та високою повторюваністю. Крім того, така технологія має можливість різкого перекриття подачі матеріалу, що дозволяє виконувати точні лінії та чіткі кути.

Результати дозування можна покращити шляхом точного налаштування тиску струменя і рідини, розміру краплі, швидкості краплі та параметрів дозування, таких як час дозаправки і витримки.

Струменева технологія найкраще визначається тим, що під час розпилення немає контакту з робочою поверхнею.

Клеї, мастила, оливи, фіксатори, флюс, припій та багато інших рідин наносяться з максимальною швидкістю і точністю за допомогою п'єзопривідного дозуючого клапана, який відрізняється надзвичайною довговічністю і низькою вартістю. Клапан приводиться в дію електрично. Матеріал може подаватися під тиском від 0,1 бар до 100 бар.

Основні переваги струменевого дозування:

- висока довговічність, низькі витрати на обслуговування;
- відсутність браку через зіткнення підкладки з голкою дозатора;
- найвища надійність процесу;
- прискорення процесу завдяки максимальній швидкості дозування;

- найменший час переналагодження, придатний для різних рідин;
- високоточна позиціонування дозування;
- високоефективне використання рідини;
- SPC-сумісні системи керування забезпечують максимальний контроль процесу.

Струменеве дозування може застосовуватися практично в кожній галузі промисловості.

Серед основних прикладів можна зазначити: дозування масел і мастил на мікромеханічні та електронні компоненти, охолоджуючих мастил, розпилення розчинників і ґрунтовок, миючих і дезінфікуючих засобів, дозування харчових барвників і ароматизаторів, клеїв-розплавів, герметизуючих лаків, силіконових масел і матеріалів для клейких стрічок, чутливих до тиску.

На рисунку 1.4 наведено струменевий дозатор.

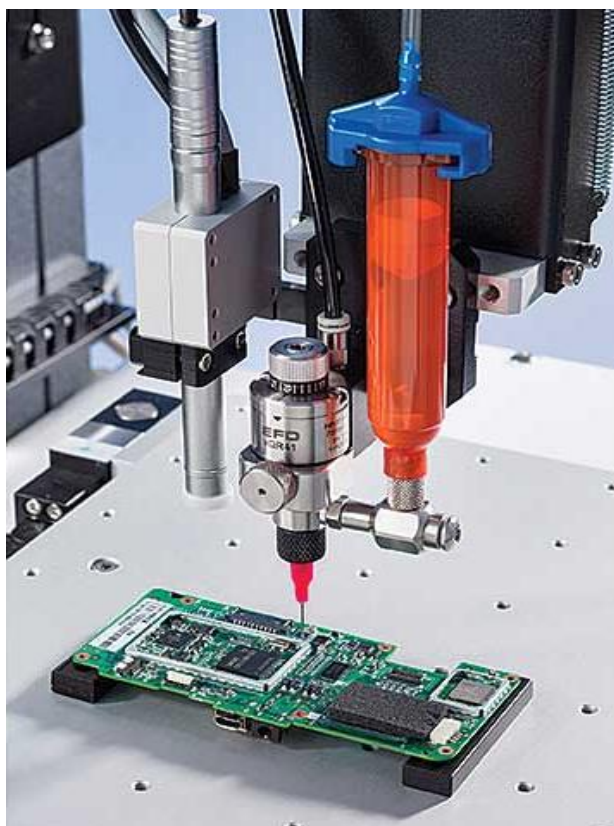


Рисунок 1.4 – Струменевий дозатор [13]

1.3 Способи автоматизованого паяння друкованих плат

Механізоване паяння застосовується в умовах серійного, багатосерійного та масового виробництв. Для механізованого паяння характерна групова технологія.

До переваг групового механізованого паяння можна віднести:

- високий рівень механізації й автоматизації;
- ідентичність умов монтажу для всіх контактних точок (місць) паяння;
- високу продуктивність;
- стабільність підтримування режимів паяння;
- високу технологічну й експлуатаційну надійність з'єднань.

До недоліків групового паяння варто віднести:

- необхідність розробки комплексу заходів, які виключають вплив термоудару на виріб, який паяється;
- можливість паяння плат тільки з одностороннім розміщенням навісних елементів;
- підвищені вимоги до однорідності підготовки поверхні до паяння виводів ЕК;
- складність відмивання вузлів від більш активного флюсу, ніж під час ручного паяння, особливо вузлів на ДП, виконаних за технологією поверхневого монтажу.

У виробництві знаходять застосування різні способи механізованого паяння, але найширше застосування знайшли:

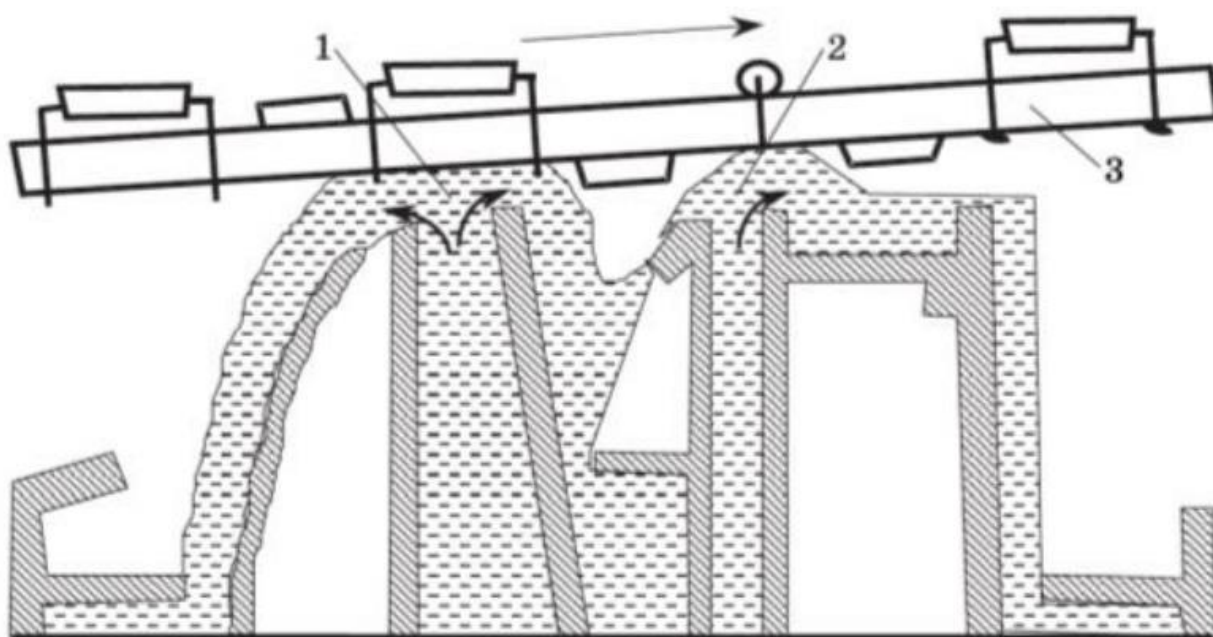
- паяння хвилею припою;
- паяння груповим паяльником;
- лазерне паяння;
- парофазне паяння (для вузлів, виконаних на компонентах поверхневого монтажу).

1.3.1 Паяння хвилею припою

Даний метод полягає в тому, що під час безупинного руху ДП над хвилею розплавленого припою послідовно пропадаються всі монтажні з'єднання (рис. 1.5), при цьому одночасно паяється група з'єднань, розміри яких залежать від ширини хвилі припою. Продуктивність процесу залежить від швидкості руху ДП і їх розмірів.

Основними параметрами паяння хвилею припою є:

- швидкість руху конвеєра (0,8м/хв-1,2 м/хв);
- швидкість витікання припою із сопла (підбирається дослідним шляхом);
- температура припою;
- ширина смуги розтікання припою по ДП.



1 – турбулентна хвиля; 2 – ламінарна хвиля; 3 – ДП з ЕК

Рисунок 1.5 – Схема паяння хвилею припою [6]

Прикладом обладнання для паяння ЕК на ДП хвилею припою є установка Vitronics Soltec Delta X (рис. 1.6). Її особливостями є:

- використання титанового тигля;

- моторизоване регулювання ширини конвеєра;
- підігрів з примусовою конвекцією знизу та згори;
- подача флюсу з регульованим тиском з кроковим двигуном для точного та відтворюваного нанесення;
- можливість регулювання висоти припою;
- подвійне розпилювальне сопло з можливістю вибору резервуара для флюсу;
- запатентована опція SmartWave, що придатна для паяння як КМП, так і КМО.



Рисунок 1.6 – Установка Vitronics Soltec Delta X для паяння хвилею припою [6]

Установка ПВ-2 (рис. 1.7) являє собою компактну машину хвильового паяння як КМО, так і КМП на одношарові або багат шарові ДП. Її основні характеристики:

- середня продуктивність – 100 плат (розміром 200 мм × 200 мм) на годину;
- автоматична система пінного флюсування;
- робоча ширина хвилі – 200 мм;

- малий час нагрівання до робочого режиму – 60 хв;
- кількість припою, що завантажується – 35 кг;
- регульовані висота припою, кут і швидкість конвеєра;
- керування та програмування режимів роботи здійснюється з електронної панелі керування з сенсорного екрану;
- контроль режимів роботи, захист і блокування від некоректних дій;
- зберігання в пам'яті до 10 різних програм паяння;
- зручне технічне обслуговування завдяки доступу з чотирьох сторін.



Рисунок 1.7 – Установка для паяння хвилею припою ПВ-2 [6]

Системи паяння хвилею припою ATF 13, ATF 23, ATF 33, ATF 43 компанії ДИПОЛЬ (рис. 1.8) є конвеєрними системами та можуть швидко вбудовуватися в конвеєрні лінії. Тим самим, забезпечується висока гнучкість виробничого процесу.

Усі установки ATF для паяння хвилею оснащені двома типами хвиль: чип-хвиля та лямбда-хвиля, – з мінімальною відстанню для зменшення шлакоутворення й остигання плат у процесі паяння.

Попередній підігрів здійснюється за допомогою ІЧ-нагрівачів із можливістю додавання модуля конvekції. Зона флюсувача являє собою пінний флюсувач із можливістю заміни на спреї-флюсувач з одною або двома головками розпилення.



Рисунок 1.8 – Установка для паяння хвилею припою ATF [6]

У зв'язку з переходом на безсвинцову технологію паяння устаткування ATF о оснащено новими технологічними рішеннями для усунення негативних аспектів використання безсвинцових матеріалів: спреї-флюсувач, потужніше попереднє нагрівання, спеціальне керамічне покриття ванни, насосів і сполучних шлангів, підведення азоту в область паяння.

Керування устаткуванням здійснюється за допомогою мікропроцесорної системи.

Головний дисплей має основні функціональні клавіші із графічним позначенням, що робить керування системою інтуїтивно зрозумілим. Основна та поточна інформація висвічується на РК-моніторі.

Існує можливість збереження до 99 профілів паяння та можливість керування робочими процесами за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, а також збереження та виведення на друк документації технологічного процесу.

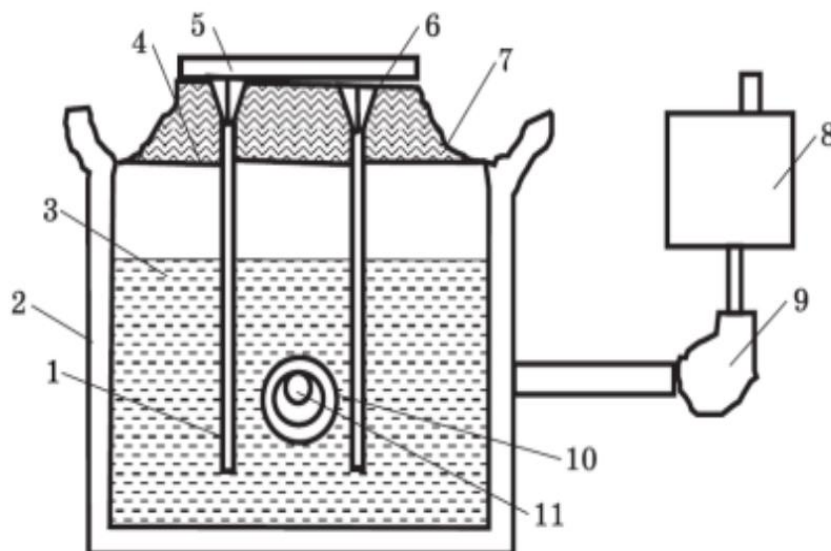
Під час паяння хвилею припою флюси застосовують тільки рідкі, активовані. Флюсування при цьому є більш рясним, ніж у процесі ручного паяння, і воно може бути виконане одним з наступних способів: пінним, хвильовим і струминним.

Піна створюється під час пропущення через рідкий флюс стисненого повітря (барботування). Висота піни сягає до 15 мм.

Схему пінного флюсування наведено на рис. 1.9.

Спосіб знаходить широке застосування внаслідок простоти створення хмари піни.

Недолік способу – швидке загустіння флюсів унаслідок зникнення розчинника з піни та повільне заповнення ним отворів ДП на швидкості руху конвеєра більше 3 м/хв.

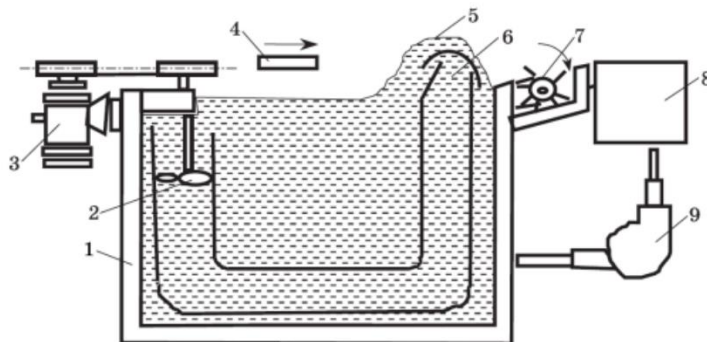


- 1 – внутрішній резервуар; 2 – зовнішній резервуар; 3 – флюс; 4 – сітка; 5 – ДП;
 6 – вертикальні щітки; 7 – піна флюсу;
 8 – бак; 9 – насос; 10 – спінювальний елемент;
 11 – магістраль стисненого повітря

Рисунок 1.9 – Схема устаткування для нанесення флюсів спінюванням [6]

Схему устаткування хвильового флюсування наведено на рис. 1.10.

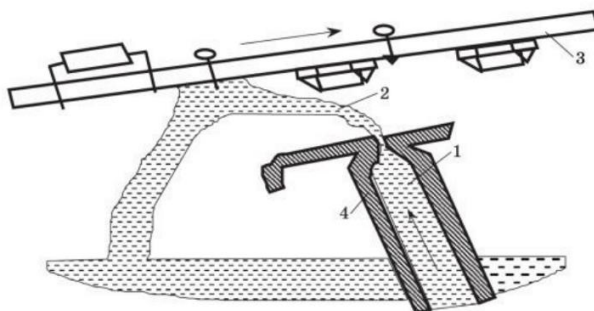
Ця установка забезпечує якісніше флюсування за рахунок тиску хвилі флюсу на ДП і сприяє кращому проникненню флюсу у монтажні отвори.



1 – ванна; 2 – крильчатка; 3 – електродвигун; 4 – ДП; 5 – хвиля флюсу; 6 – хвилеутворювач; 7 – щітки; 8 – резервуар; 9 – насос

Рисунок 1.10 – Схема устаткування хвильового флюсування [6]

На рис. 1.11 наведено схему устаткування струминної подачі флюсу до ДП. Устаткування забезпечує високу продуктивність, регулювання тиску та висоту підйому струменя, краще проникнення флюсу в отвори ДП і паяні зазори. Недолік – напливи та великі витрати флюсу.



1 – флюс; 2 – реактивний струмінь флюсу; 3 – ДП з ЕК; 4 – форсунка

Рисунок 1.11 – Схема устаткування струминного флюсування [6]

Підсушування флюсу перед паянням у сполученні з попереднім підігрівом багато в чому визначають якість паяних з'єднань.

До складу флюсу, крім активних речовин, входить який-небудь розчинник. Найчастіше це спирт або вода, температура кипіння відповідно 80 °С і 100 °С.

Якщо флюсувальний склад знаходиться на поверхні ДП у рідкому стані, то під час зіткнення з розплавленим припоєм за температури 230°С - 250°С відбувається його бурхливе кипіння з утворенням значної кількості газів і парів.

Останні відтискають рідкий припій від місць паяння або утворюють парові пухирі, які призводять до пористості з'єднань. Тому у процесі підсушування флюсу необхідно домагатися повного випарювання розчинника із флюсувального складу.

Таке завдання вирішується нагріванням нижньої поверхні плат до температури 85 °С, якщо розчинником є спирт, і до 100 °С, якщо розчинником слугує вода.

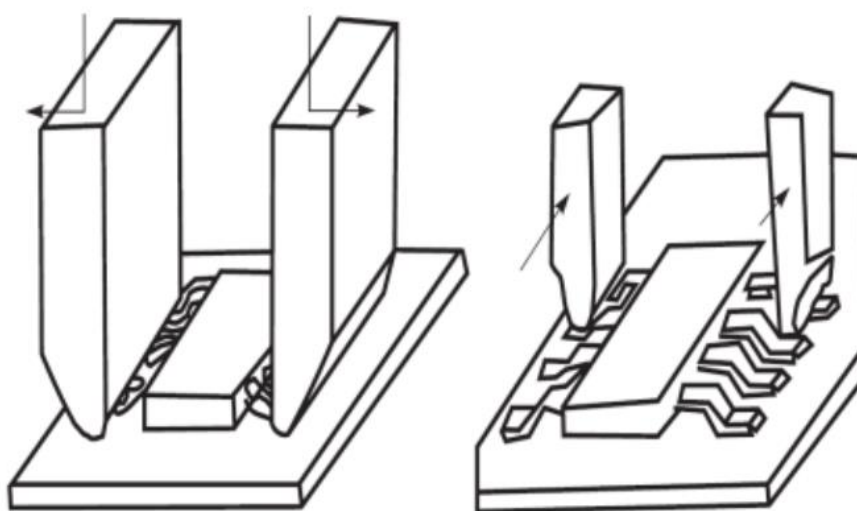
Крім того, у результаті попереднього нагрівання ДП перед паянням (до 90°С - 100 °С) зменшується тепловий удар у момент зіткнення з розплавленим припоєм.

Підігрів може здійснюватися різними способами, але найбільш ефективним є нагрівання ІЧ-випромінюванням.

1.3.2 Паяння груповим паяльником

Паяння груповим паяльником інтегральних схем із планарними виводами є найбільш ефективним способом, як за продуктивністю, так і за якістю паяних з'єднань.

При цьому способі один чи два паяльники паяють одночасно усі виводи мікросхеми (рис. 1.12).



а – одночасно усі виводи; б – послідовно групами виводів

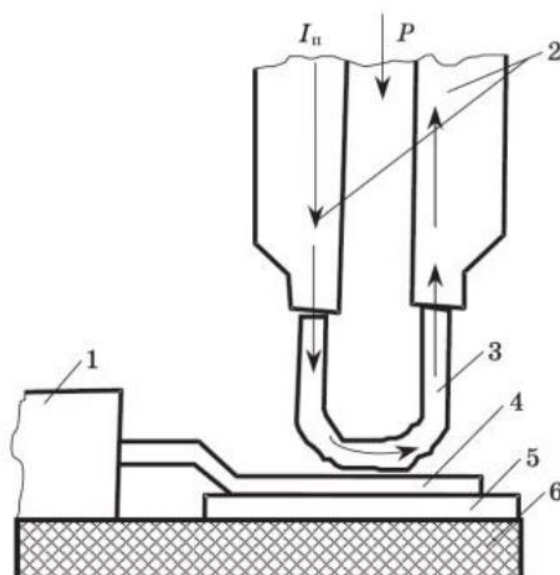
Рисунок 1.12 – Схема паяння планарних виводів ІС груповими паяльниками [6]

Подача припою під час паяння планарних виводів забезпечується якісним лудінням, як виводів, так і контактних площинок; автоматизованою подачею в зону паяння трубчастого припою чи напресовуванням смужок припою на виводи перед встановленням ІС на ДП.

За умови використання цього способу паяння потрібно мати на увазі, що збільшення кількості виводів, які одночасно паяються, до 16-20 призводить до зниження якості паяних з'єднань, через різну товщину планарних виводів.

Для монтажу ІС із планарними виводами застосовують також паяння імпульсними груповими паяльниками. Паяльники виготовляють з матеріалу, що не змочується, і нагрівають пропусканням через них імпульсів струму. Необхідна доза припою наноситься на контактні площинки заздалегідь. Основна перевага цього способу – це швидке нагрівання місця паяння. Час паяння – 0,1-0,4 с.

Схему імпульсного паяння наведено на рис. 1.13.



1 – мікросхема; 2 – утримувач електродів; 3 – U-образний електрод; 4 – вивід інтегральної мікросхеми; 5 – друкований провідник; 6 – матеріал основи.

$I_{\text{п}}$ – струм паяння, P – тиск електродів

Рисунок 1.13 – Схема паяння плавленням за допомогою U-подібного електрода [6]

1.3.3 Лазерне паяння

Паяння розплавлюванням дози припою (нанесеного заздалегідь) за допомогою лазерного променя має певні особливості. Так, усі місця з'єднань виводів ІС із ДП прогріваються послідовно. Перевагою лазерного паяння є те, що пучок лазерної енергії добре фокусується (діаметр плями 25 мкм), тому даний спосіб є особливо ефективним для паяння термочутливих елементів і елементів із малим кроком виводів (0,635 мм; 1,27 мм).

Безконтактність прикладання теплової енергії дозволяє підвищити швидкість монтажу до 10 з'єднань на секунду та наблизитися за продуктивністю до групового паяння, наприклад до паяння в паровій фазі та ІЧ-випромінюванням. Під час паяння ДП та корпуси ЕК практично не нагріваються. У зв'язку зі швидкоплинністю процесу паяння та локалізації теплової енергії

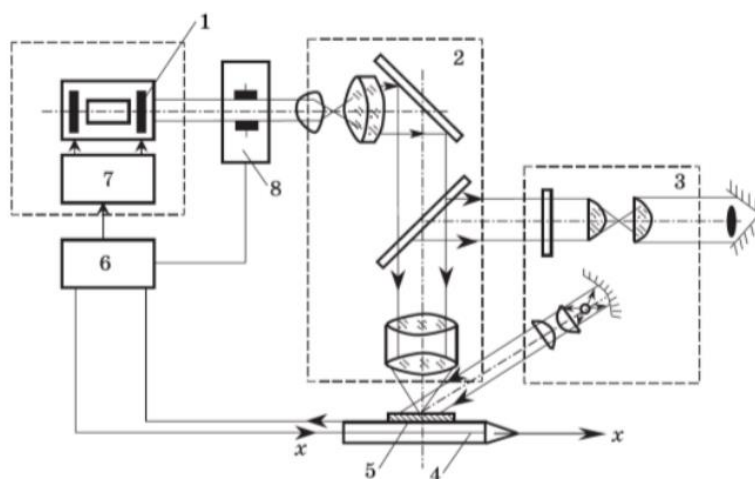
різко знижуються температурні впливи на основу ДП і виводи ЕК. Вибір матеріалу основи плати не є критичним.

За умови використання лазерного паяння відпадає необхідність у попередньому нагріванні ДП. Сучасне лазерне устаткування складається з випромінювальної голівки (ВГ), блоку живлення, системи охолодження, системи керування та пристроїв, що забезпечують безпеку роботи. Схему устаткування лазерного паяння наведено на рис. 1.14.

Паяння може виконуватися як із застосуванням флюсу, так і без нього, що важливо для ДП, оскільки виключається шкідливий вплив очисних рідин.

Устаткування для лазерного паяння має відповідати наступним вимогам:

- устаткування має забезпечувати монтаж компонентів різних видів, незалежно від їхніх розмірів, маси, форми та кута встановлення на ДП;
- паяння має вестися одночасно двома променями для запобігання зсуву ЕК відносно контактної площинки;
- кожен промінь має програмуватися незалежно один від одного, що забезпечує паяння асиметричних ЕК.



- 1 – ВГ; 2 – робочий канал; 3 – візуальний канал; 4 – пристрій для закріплення та переміщення об'єкта; 5 – оброблюваний об'єкт; 6 – пристрій керування;
7 – джерело живлення; 8 – система охолодження

Рисунок 1.14 – Схема лазерної технологічної установки паяння [6]

На рис. 1.15 наведено систему лазерного паяння FireFly B60 NEXT, яка призначена для селективного паяння компонентів, чутливих до температури, паяння КМО, КМП, планарних мікросхем виробництва, компонентів нестандартної форми, з'єднувачів на гнучких платах



Рисунок 1.15 – Лазерна технологічна установка паяння FireFly B60 NEXT [6]

В установці FireFly B60 NEXT процес паяння здійснюється за допомогою лазера. Нагрівання області паяного з'єднання здійснюється локально з регульованою інтенсивністю, що запобігає пошкодженню як паяного компонента, так і сусідніх чутливих до температури ЕК. Паяння відбувається з нижньої сторони плати.

Особливостями такої установки є:

- безперервний контроль температури у точці паяння на базі високошвидкісного пірометра зі зворотним зв'язком;
- точне відстеження температури в області паяного з'єднання забезпечує високу якість паяння та повторюваність процесу;
- відсутність потреби у маскуванні ЕК і застосуванні азотної атмосфери;
- програмно регульована орієнтація робочих органів забезпечує високу гнучкість для роботи з будь-якими додатками;

- конвеєрна система, може вбудовуватися в технологічну лінію;
- швидке технологічне перемикавання між свинцевою та безсвинцевою технологіями;
- контроль кривизни ДП;
- конвекційне попереднє нагрівання;
- середня швидкість переміщення паяльної головки: 500 см/с;
- роздільна здатність позиціонування: $\pm 3,5$ мкм;
- оптоволоконний лазер із діодним накачуванням, розмір плями: від 0,4 мм до 4,5 мм, максимальна потужність: 60 Вт;
- швидкість паяння: 0,8 с/точка - 1,2 с/точка;
- дротяний припій діаметром 0,5 мм, 0,75 мм, 1 мм [6].

2 РОЗРОБКА МАКЕТУ ПІДСИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ДОЗУВАННЯ РІДКИХ СКЛАДНИКІВ

2.1 Розробка загальної структурної схеми

При роботі над будь-яким проєктом, у першу чергу необхідно створити структурну схему. Це дозволить проаналізувати всі ланки об'єкту розробки та допоможе в розробці подальших схем. Побудовану структурну схему наведено на рисунку 2.1.

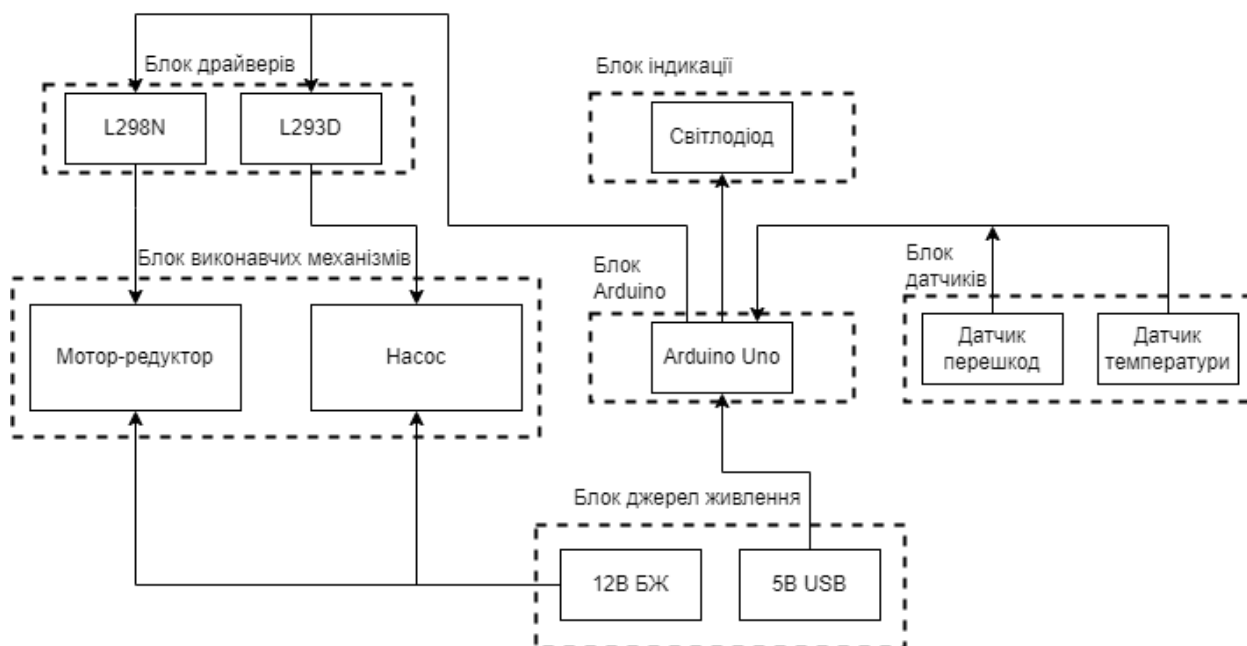


Рисунок 2.1 – Структурна схема підсистеми автоматичного дозування рідких складників

Основою даної структурної схеми є плата Arduino Uno – програмований мікроконтролер, що має аналогові та цифрові входи/виходи, та дозволяє зчитувати дані з них або ж, навпаки, надсилати їх. До неї підключені решта

функціональних блоків, наявних у схемі. Вона здійснює керування над ними згідно заданому в прошивці алгоритму.

У схемі наявні два датчики: датчик перешкод та датчик температури. Датчик перешкод необхідний для слідкування за роботою конвеєра, а датчик температури для слідкування за температурою рідкого складнику. Якщо хоча б один з датчиків показує значення поза діапазоном допустимих, то система зупиняється та повідомляє про помилку.

Блок індикації має сигнальний світлодіод, який горить при нормальній роботі системи та мерехтить за наявності проблем.

У блоці драйверів наявні дві мікросхеми: L298N – драйвер для мотор-редуктора та L293D – драйвер для насосу.

Блок виконавчих механізмів налічує в собі мотор-редуктор, що рухає конвеєр, та перистальтичний насос, що слугує дозатором.

Блок джерел живлення складається з 5В блоку живлення для основної плати Arduino та 12В блоку живлення для мотор-редуктору і насосу.

2.2 Розробка алгоритму роботи

Перед створенням скетчу необхідно створити алгоритм, опираючись від якого вже буде написано програмний код.

Програма працюватиме за наступними розпіновкою та алгоритмом:

Піни:

A0 – аналоговий датчик температури TMP36;

3 – інфрачервоний датчик перешкод Frienda-Obstacle-431S;

4 – світлодіод;

5 – драйвер L298N Input 1, до Output 1 підключений + мотор-редуктору;

6 – драйвер L298N Input 2, до Output 2 підключений - мотор-редуктору;

7 – драйвер L293D Input 3, до Output 3 підключений + перистальтичного насосу;

8 – драйвер L293D Input 4, до Output 4 підключений - перистальтичного насосу.

Алгоритм:

- 1) світлодіод (Пін 4) завжди горить;
- 2) мотор-редуктор (Пін 5) активується;
- 3) датчик температури TMP36 (Пін A0) передає значення температури, які мають бути в діапазоні від 0 до +100 градусів Цельсія;
- 4) якщо передаване значення виходить за область допустимих значень, то світлодіод (Пін 4) блимає кожну секунду, а мотор-редуктор (Піни 5-6) та насос (Піни 7-8) зупиняються;
- 5) інфрачервоний датчик перешкод Frienda-Obstacle-431S (Пін 3) фіксує перешкоду, після чого мотор-редуктор (Пін 5) зупиняється;
- 6) на 2 секунди активується перистальтичний насос (Пін 7);
- 7) навіть якщо перешкода все ще зафіксована, то насос (Пін 7) зупиняється, а конвеєр продовжує роботу;
- 8) якщо перешкоду все ще зафіксовано впродовж однієї секунди, то конвеєр зупиняється, а світлодіод блимає, як і при виході з діапазону допустимих температур.

Застосовуючи даний алгоритм можна бути впевненим, що система працюватиме належним чином, а за наявності проблем миттєво зупиниться задля запобігання подальшим пошкодженням та сигналізуватиме про помилку блиманням світлодіоду.

Водночас цей алгоритм є дуже примітивним, за рахунок чого майже повністю виключається шанс допускання помилки при написанні програмного коду навіть новачками.

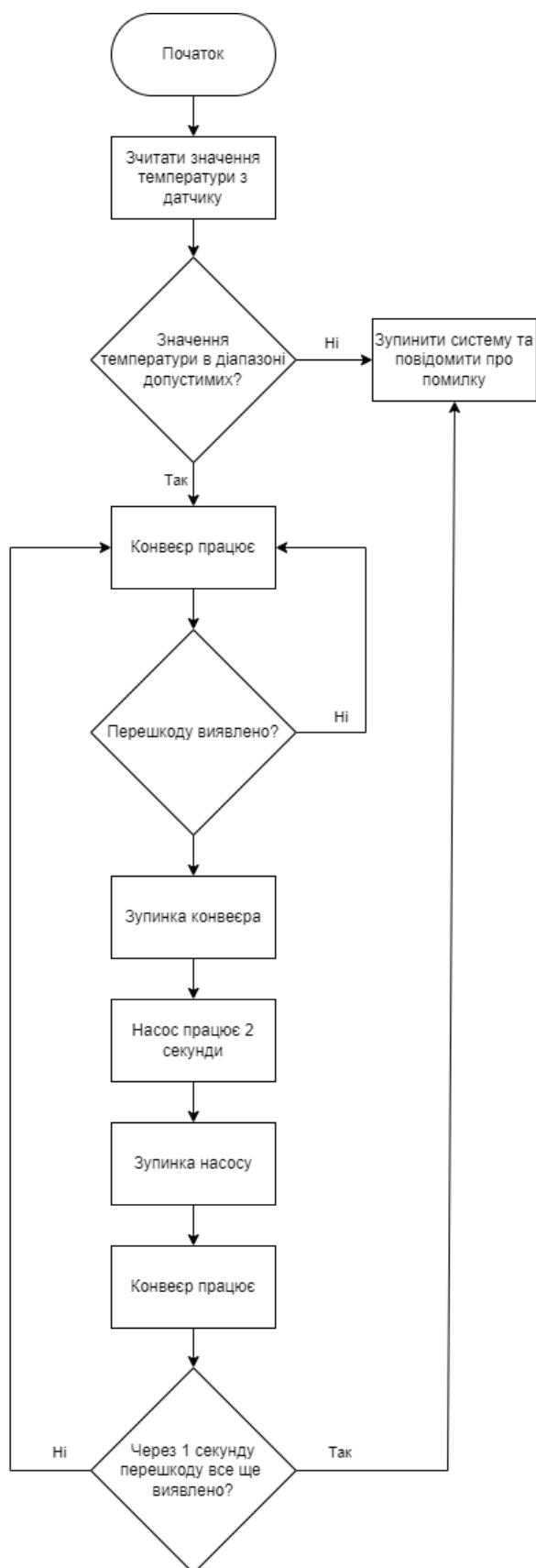
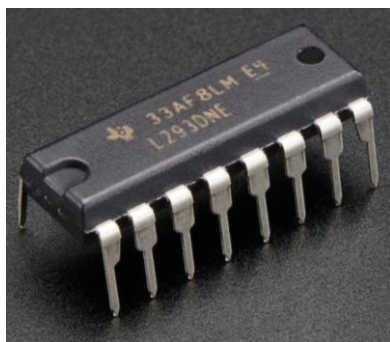


Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи підсистеми дозування рідких складників

2.3 Вибір апаратних модулів

Для створення підсистеми автоматичного дозування рідких складників, у першу чергу необхідно підібрати компоненти для кожного блоку схеми. Підібрані апаратні модулі мають поєднувати в собі технічні характеристики, надійність та ціну. Визначення правильної комбінації компонентів має вирішальне значення для досягнення максимальної ефективності та надійності. Також низька собівартість кінцевого продукту дозволить збільшити обсяг виробництва за рахунок зменшення витрат на нього.

Для приведення конвеєру до руху та насоса до накачування потрібні мотор-редуктор та перистальтичний насос, для яких, у свою чергу, потрібні драйвери. Драйвери призначені для керування виконавчими механізмами у випадках, коли напруги та/або струму живлення з плати Arduino недостатньо, і необхідне зовнішнє джерело. Було обрано L293D та L298N. Їхні зображення наведені на рисунку 2.3. Їх порівняння представлено в таблиці 2.2.



a)



б)

а) L293D; б) L298N;

Рисунок 2.3 – Драйвери моторів [14-15]

Таблиця 2.2 – Порівняння характеристик драйверів

№	Характеристика	L293D	L298N
1	Кількість каналів	2	2
2	Робоча напруга двигуна, В	4,5 – 36	5 – 36
3	Максимальний струм на канал, мА	600	2000
4	Наявність вбудованих захисних діодів	Так	Ні
5	Необхідність встановлення радіатора охолодження	Ні	Так
6	Ціна, грн	215	465

За підсумками порівняння характеристик було прийнято рішення обрати обидва драйвери: L293D має достатні характеристики робочих напруг та струму для живлення насосу, а L298N буде застосований для живлення мотор-редуктору, так як він вимагає більшої потужності.

Наступним кроком необхідно обрати мотор-редуктор, що відповідатиме вимогам проєкту та при цьому не виходитиме за рамки специфікацій обраного драйверу. Оберемо DEWIN DC 12V, що наведений на рисунку 2.4, та перелічимо його характеристики у таблиці 2.3.



Рисунок 2.4 – Мотор-редуктор DEWIN DC 12V [16]

Таблиця 2.3 – Характеристики DEWIN DC 12V

№	Характеристика	DEWIN DC 12V
1	Робоча напруга, В	12
2	Об/хв при холостому ході	15-200
3	Потужність, Вт	10
4	Ціна, грн	464

Основним компонентом проєкту є перистальтичний насос. В його якості було обрано модель Naroot DC 12V – він має достатню для проєкту продуктивність та точне дозування рідини, а також достатньо низьке енергоспоживання, за рахунок чого ним можна керувати з попередньо обраного драйверу. Вибраний компонент наведено на рисунку 2.5, а його характеристики наведено в таблиці 2.4.



Рисунок 2.5 – Перистальтичний насос Naroot DC 12V [17]

Таблиця 2.4 – Характеристики Naroot DC 12V

№	Характеристика	Naroot DC 12V
1	Робоча напруга, В	12
2	Швидкість потоку, мл/хв	39
3	Вага, г	90
4	Ціна, грн	301

Тепер оберемо блок живлення для мотору та насосу. Серед наявних в асортименті ідеальним варіантом є Lepro 12V 2A – він має достатню для схеми потужність, а також перехідник на дроти, що йде в комплекті. Це допоможе легко підключити його до макетної дошки без використання «самопальних» рішень. Характеристики блоку живлення перелічені в таблиці 2.5, а його зображення наведено на рисунку 2.6.

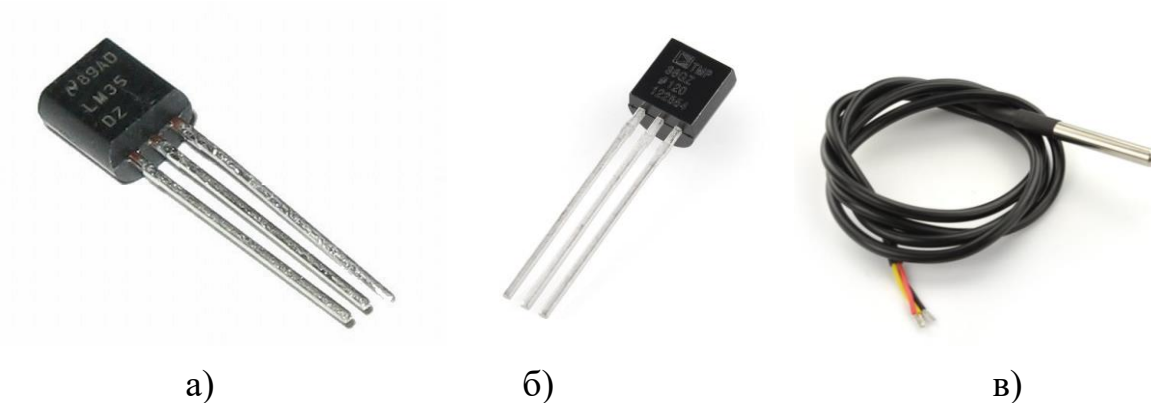
Таблиця 2.5 – Характеристики Lepro 12V 2A

№	Характеристика	Lepro 12V 2A
1	Вхідна напруга, В	~ 100-240
2	Вихідна напруга, В	12
3	Максимальна вихідна сила струму, мА	2000
4	Наявність перехідника	Так
5	Ціна, грн	494



Рисунок 2.6 – Lepro 12V 2A [18]

І останнім кроком з підбору компонентів буде вибір датчику для зчитування температури рідини в дозаторі. Моделі LM35, TMP36 та DS18B20 наведені на рисунку 2.7, а їх порівняння наведено в таблиці 2.6.



а) LM35; б) TMP36; в) DS18B20;

Рисунок 2.7 – Датчики температури [19]

Таблиця 2.6 – Порівняння характеристик датчиків температури

№	Характеристика	LM35	TMP36	DS18B20
1	Тип	Аналоговий	Аналоговий	Цифровий
2	Діапазон температур, °C	Від -55 до +150	Від -40 до +125	Від -55 до +150
3	Точність, °C	±0,5	±1	±0,5
4	Робоча наруга, В	4,0 – 30	2,7 – 5,5	3,0 – 5,5
5	Ціна, грн	137	136	153

Було вибрано датчик TMP36, так як він має найнижчу ціну та може житися від 3,3 В лінії.

2.4 Розробка схеми підключення

Наступним етапом роботи необхідно підсумувати попередній розділ та розробити схему підключення обраних компонентів. Схема має визначати спосіб взаємодії між різними компонентами та забезпечувати їх правильну роботу.

Ще за побудови структурної схеми, в ході аналізу компонентів було виділено такі основні групи: плата Arduino, джерела живлення, датчики, індикація, драйвери, виконавчі механізми.

Перша група становить основу проєкту – плату Arduino. Вона виконує зчитування з датчиків та керування над виконавчими механізмами.

Друга група складається з 5 В блоку живлення для Arduino та 12 В блоку живлення для виконавчих механізмів, тобто насосу та мотор-редуктору.

Третя група налічує в собі два датчики: датчик перешкод для перевірки роботи конвеєру та датчик температури для перевірки стану дозованої рідини.

Четверта група має в собі сигнальний світлодіод, що повідомляє про загальний стан системи: світиться, коли система працює нормально та блимає при виникненні проблем.

У п'ятій групі знаходяться драйвери, що керують роботою мотор-редуктора та насосу відповідно до команд, що надходять з плати Arduino.

Шоста група складається з виконавчих механізмів, а саме: мотор-редуктору, та перистальтичним насосом, що керуються з Arduino через драйвер, так як мають необхідність у зовнішньому джерелі живлення.

Через відсутність деяких необхідних компонентів в обраному середовищі, L298N було замінено на L293D, перистальтичний насос було замінено на звичайний мотор-редуктор, а 12 В блок живлення на батарейки, з'єднані послідовно.

Розроблена схема підключення враховує всі наявні апаратні модулі та способи їх підключення, що дозволяє системі функціонувати належним чином. Схему наведено на рисунку 2.8.

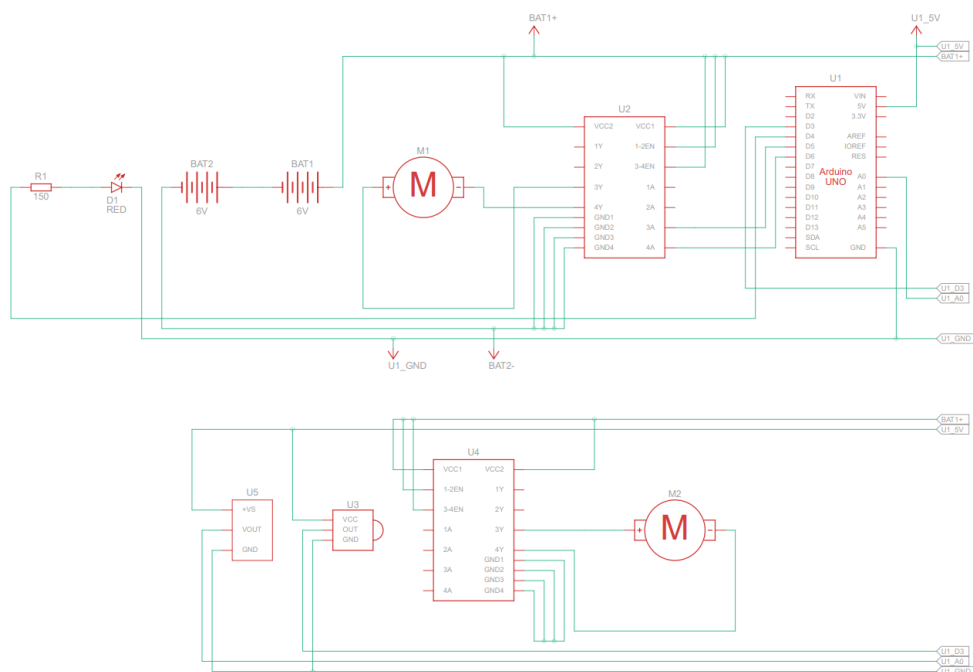


Рисунок 2.8 – Схема підключення апаратних модулів [20]

2.5 Моделювання підсистеми автоматичного дозування рідких складників у середовищі Tinkercad

Для створення віртуального макету підсистеми автоматичного дозування рідких складників було використано середовище Tinkercad. Воно було вибране як середовище розробки з кількох причин.

По-перше, це онлайн платформа, що дозволяє працювати над проектами з будь-якого пристрою, що має підключення до мережі Інтернет та браузер із підтримкою необхідного набору технологій. Завдяки цьому можна продовжувати роботу над однією схемою з різних пристроїв, так як усі проекти зберігаються в хмарі.

По-друге, середовище Tinkercad має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, і не потребує від користувача довгого навчання.

По-третє, Tinkercad має широку базу апаратних модулів, що дозволяє створювати безліч схем для безлічі різних проєктів. Також середовище має вбудовану довідку з усіх наявних компонентів та гайд до кожного з них.

По-четверте, Tinkercad дозволяє симулювати різні сценарії роботи, включаючи зміну зчитувань з датчиків, що дозволяє створити умови, максимально близькі до реального використання.

Також у середовищі є можливість програмування блоками замість текстового коду, що може дуже допомогти новачкам опанувати Arduino, не занурюючись у написання коду.

Отже, Tinkercad було вибрано як середовище розробки, тому що він поєднує в собі мобільність, простоту для новачків та, водночас, широкий вибір компонентів для професіоналів.

У побудованій схемі задуманий ті самі розпіновка та алгоритм роботи, що був зазначені раніше.

Побудовану схему наведено на рисунку 2.9.

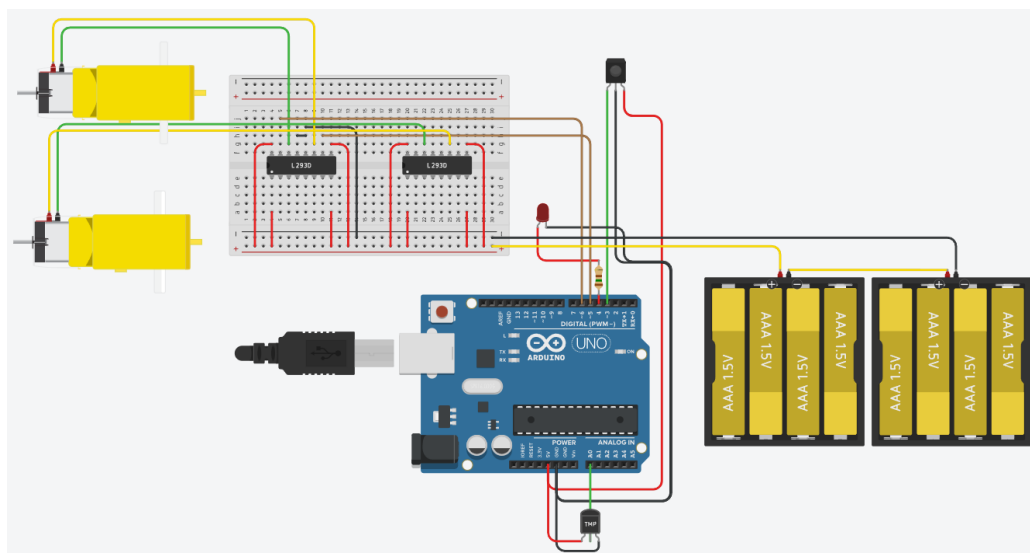


Рисунок 2.9 – Побудована схема в Tinkercad [20]

Змодельована схема демонструє зв'язок між усіма наявними в системі електронними компонентами та керування ними за допомогою Arduino Uno.

3 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ ПЕРИСТАЛЬТИЧНОГО НАСОСУ

Для визначення стійкості та стабільності роботи перистальтичного насосу Naroot DC 12V в першу чергу необхідно створити його передавальну функцію. Її основними параметрами є інерційність (затримка), швидкість потоку рідини на вольт напруги живлення та наявність/відсутність ПД-регулятора.

Для визначення затримки було покадрово проаналізовано відео роботи системи, у підсумку чого було отримано висновок, що інерційність відсутня, або настільки мала ($< 16,6$ мс), що виявити її наявними апаратними засобами (камера із частотою записування 60 кадрів на секунду) було неможливо, тож було прийнято рішення взяти 10 мс в якості затримки. Передатна функція обчислюється за формулою [21]:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}, \quad (3.1)$$

де K – швидкість потоку на 1В;

τ – стала часу;

s – комплексна змінна Лапласа.

Для визначення параметрів насосу обчислимо його передатну функцію, підставивши відомі характеристики:

$$G(s) = \frac{39 \div 12}{0,01s + 1} = \frac{3,25}{1,01} \approx 3,22.$$

Тепер наведемо замкнену передатну функцію з одиничним зворотнім зв'язком:

$$T(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} = \frac{3,22}{1+3,22} = \frac{3,22}{4,22} \approx 0,763. \quad (3.2)$$

З цього випливає, що замкнена система є стабільно, але має статичну помилку – при заявленому значенні 100 мл/хв насос насправді видає $\approx 76,3$ мл.

Використовуючи програмне забезпечення Simulink побудуємо структурну схему функції. Результат наведено на рисунку 3.1.

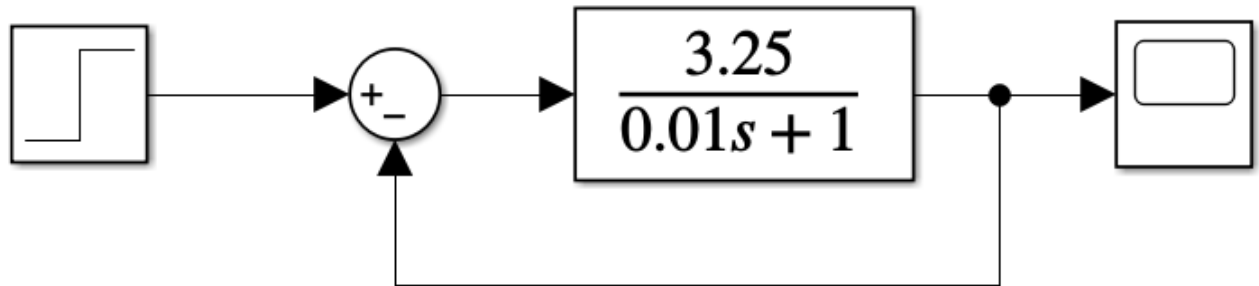


Рисунок 3.1 – Структурна схема замкненої системи з одиничним зворотнім зв'язком

Наступним кроком необхідно обчислити та побудувати графіки амплітудно-частотних та фазово-частотних характеристик (АЧХ та ФЧХ). Побудову можна здійснити за допомогою функції Bode Plot.

Амплітудно-частотна характеристика є модулем передавальної функції при $s = j\omega$:

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{K}{j\omega\tau + 1} \right| = \frac{K}{\sqrt{\omega^2\tau^2 + 1}}. \quad (3.3)$$

Фазово-частотна характеристика є аргументом передавальної функції при $s = j\omega$:

$$\arg(H(j\omega)) = \arctan\left(-\frac{\omega\tau}{1}\right) = -\arctan(\omega\tau). \quad (3.4)$$

Побудовані графіки наведені на рисунку 3.2.

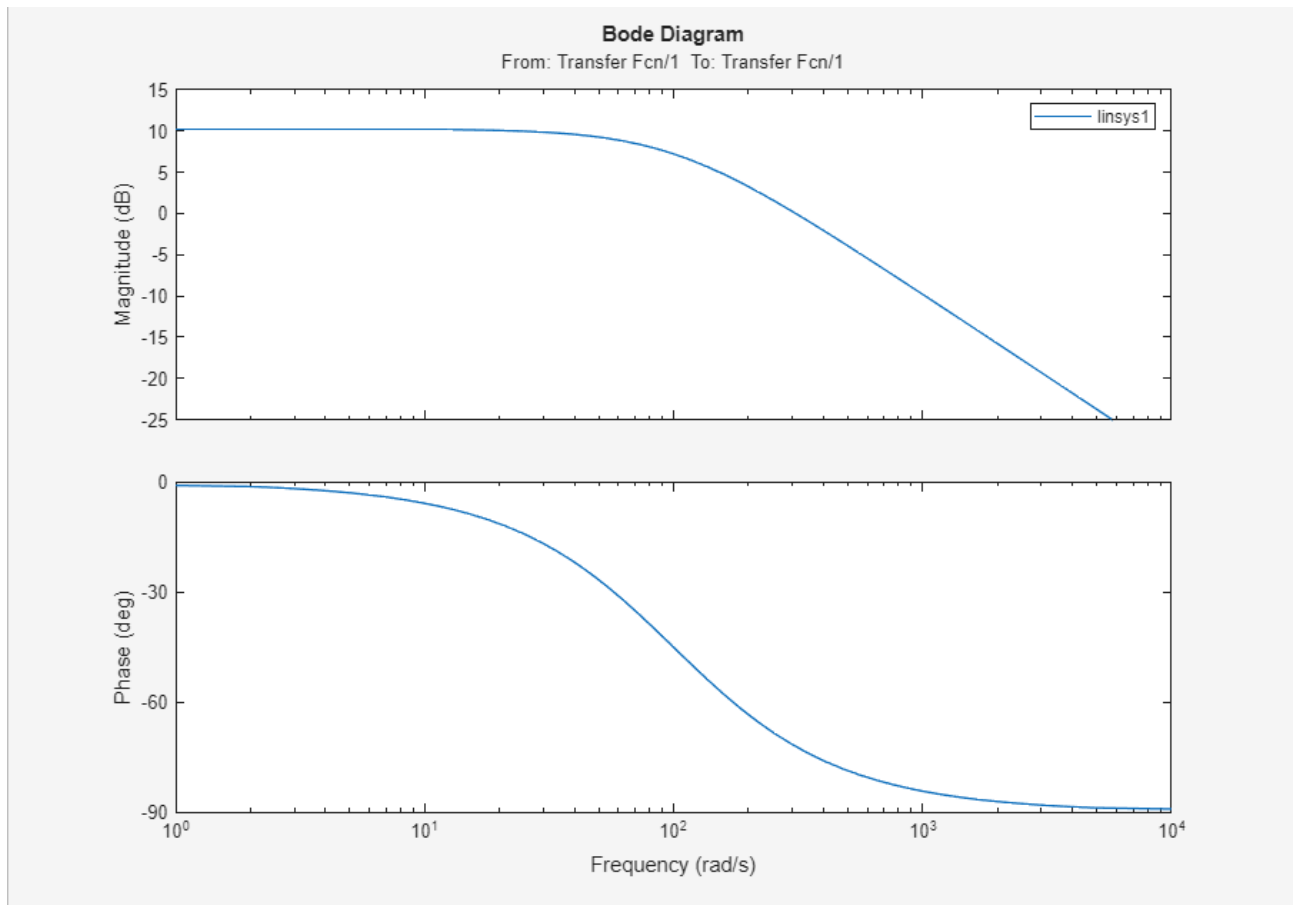


Рисунок 3.2 – АЧХ та ФЧХ перистальтичного насосу

З аналізу графіків АЧХ та ФЧХ, побудованих у середовищі Simulink за допомогою інструменту Bode Plot в Model Linearizer, можна зазначити, що амплітуда сигналу починає спадати із підвищенням частоти, а фаза є близькою до 0° , тобто майже не має зсуву, та при зростанні частоти поступово переходить до 90° , що є нормою для подібної інерційної ланки.

Отримані графіки підтверджують, що система є лінійною, інерційною та стійкою.

Проаналізуємо систему на стійкість за допомогою критерію Найквіста [21], створивши відповідну діаграму. Графік поведінки системи наведено на рисунку 3.3.

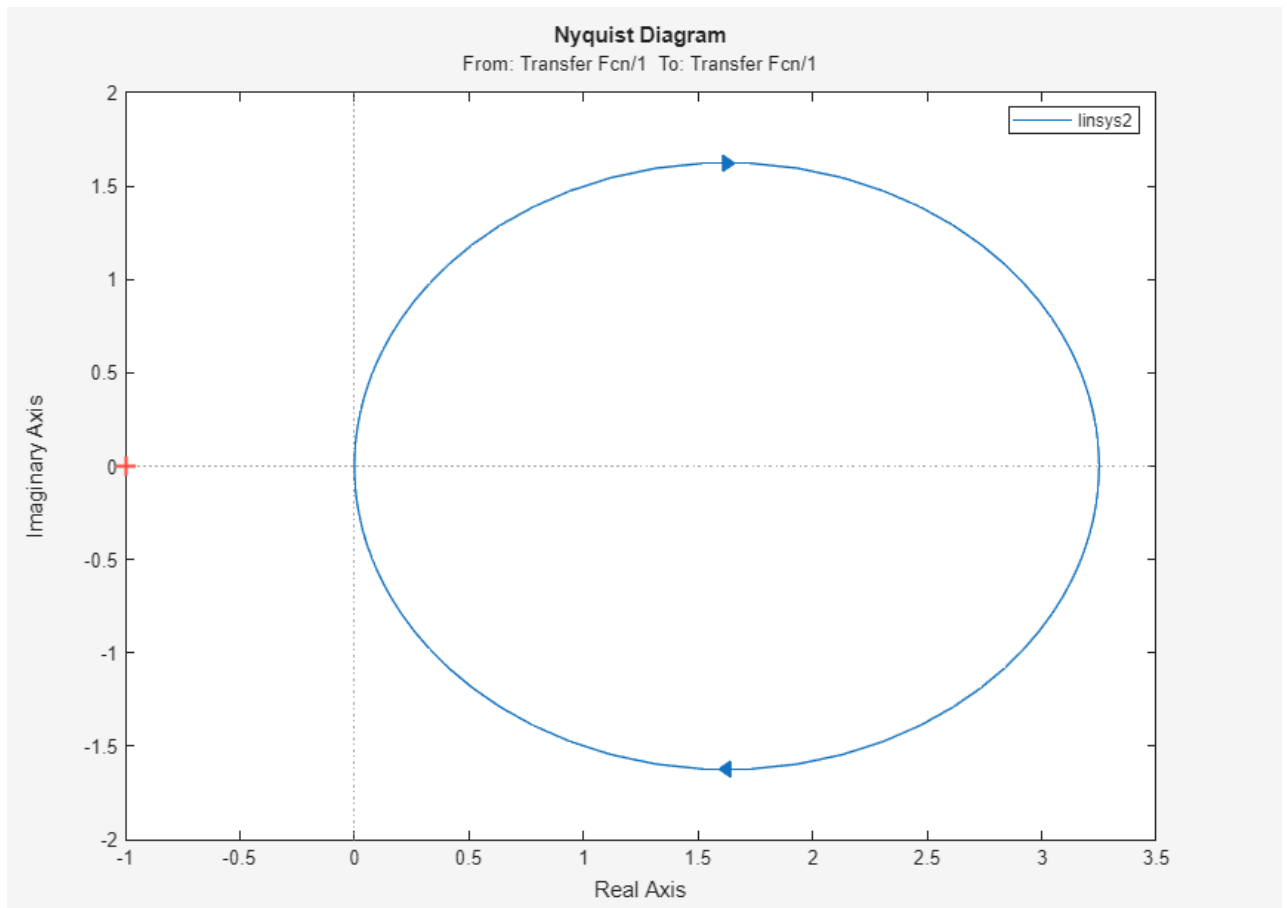


Рисунок 3.3 – Діаграма Найквіста перистальтичного насосу

Проаналізувавши графік Найквіста, було з'яснено, що крива не охоплює та не огинає точку -1 , і точка не входить до петлі побудованої кривої на комплексній площині та орієнтація з напрямом обходу є правильними.

З проведених обчислень та досліджень можна зробити висновок, що система є стійкою. Її АЧХ, ФЧХ та діаграма Найквіста показують, що при збуреннях або зміні вхідного сигналу функція повертається до стану рівноваги без нарощування коливань.

4 СКЛАДАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ФІЗИЧНОГО МАКЕТУ

4.1 Тестування створеного віртуального макету

Результатом проєктування віртуального макету є схема, зображена на рисунку 4.1.

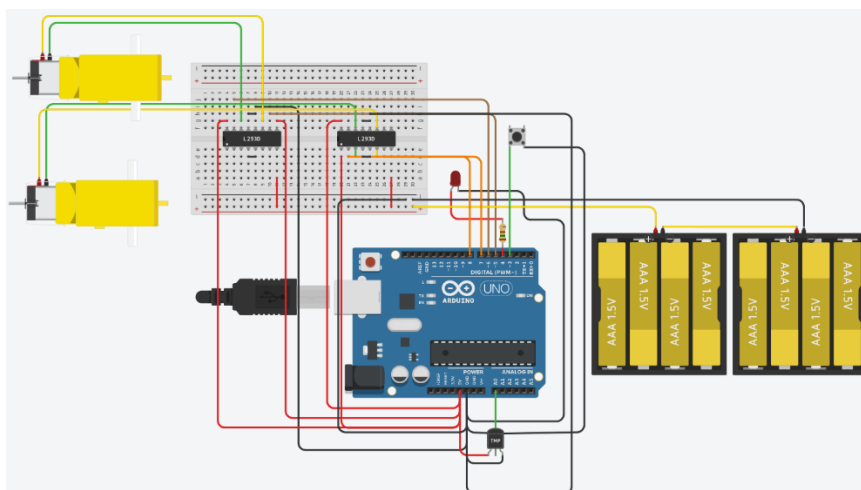


Рисунок 4.1 – Схема підключення компонентів віртуального макету в Tinkercad

Повний код скетчу наведено в Додатку Б.

Через відсутність деяких елементів керування та електронних компонентів у віртуальному середовищі для тестування скетчу було зроблено наступні заміни:

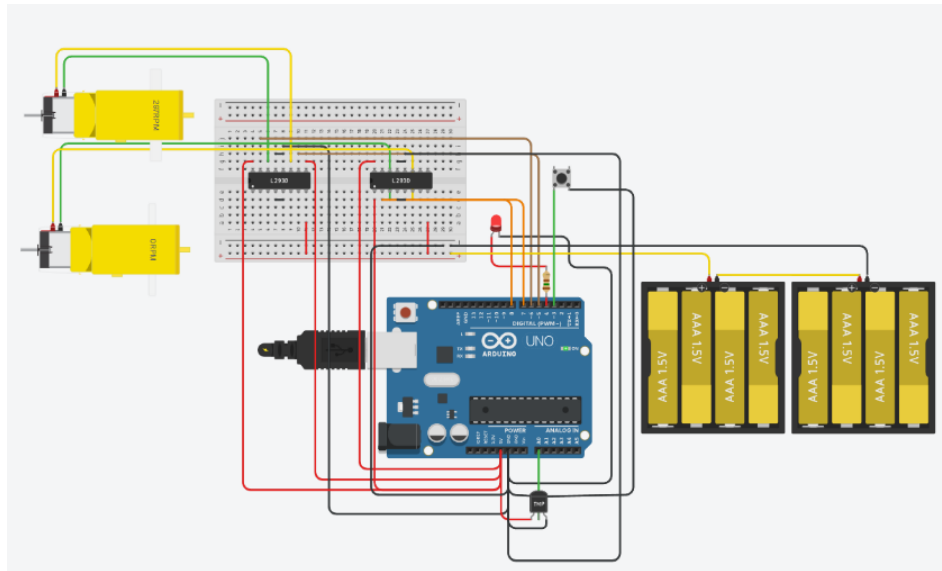
- 1) перистальтичний насос Naroote DC 12V – мотор-редуктор (Hobby Gearmotor);
- 2) драйвер L298N – L293D H-bridge Motor Driver;
- 3) ІЧ датчик перешкод – кнопка (Pushbutton);
- 4) блок живлення Lepro 12V 2A – 2 блоки по чотири 1.5V Battery.

Для тестування запустимо симуляцію зібраної схеми та проведемо наступні досліді:

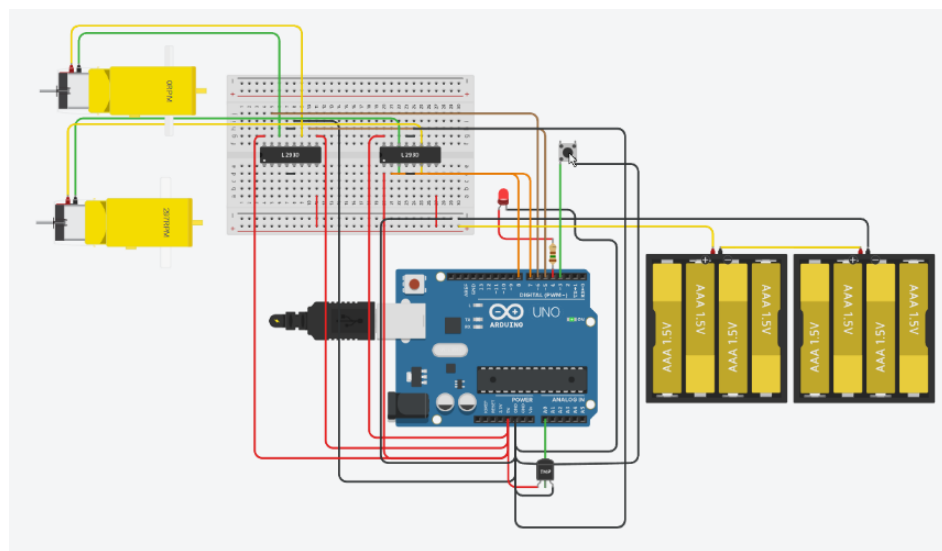
- робота в нормальному режимі;

- вихід за область допустимих значень температур;
- навмисне підставлення перешкоди на довший термін.

Запустимо емуляцію, виставивши допустиме значення температури. Результат представлено на рисунку 4.2.



а)



б)

а) робота конвеєра; б) робота насосу;

Рисунок 4.2 – Робота підсистеми дозування рідких складників за відсутності помилок

Наступним кроком у тестуванні змінимо значення на датчику температури на те, що не входить до діапазону допустимих. Налаштування показників датчику показано на рисунку 4.3, результат експерименту показано на рисунку 4.4.

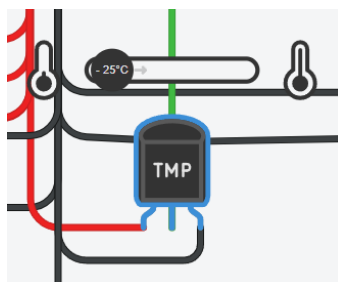


Рисунок 4.3 – Налаштування показників датчику в симуляції

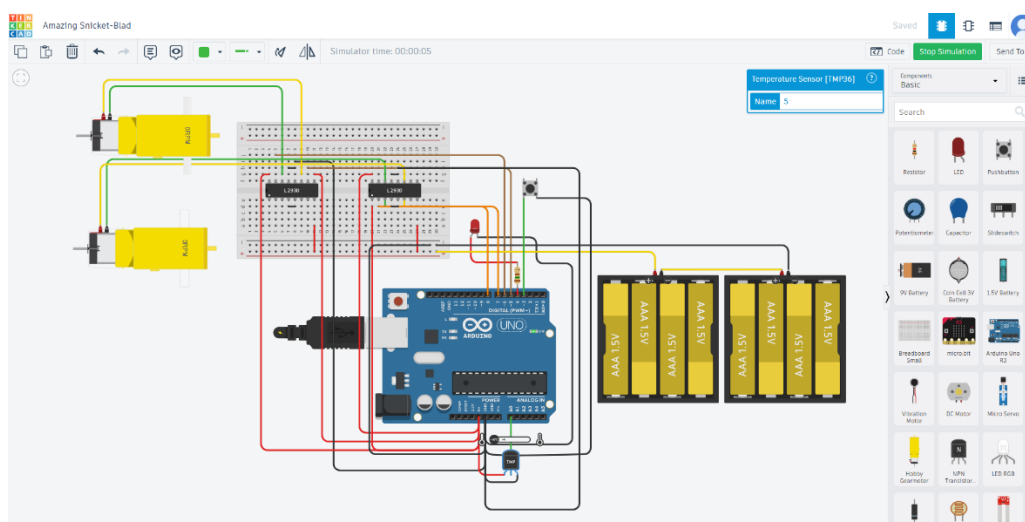


Рисунок 4.4 – Результат роботи симуляції при виході значення температури з області допустимих

Як бачимо, при заданні заниженого або завищеного значення температури конвеєр та насос зупиняються, а світлодіод починає блимати, сповіщаючи про помилку.

Тепер навмисно затиснемо кнопку (ІЧ датчик перешкод), щоб система «думала», що з конвеєром виникла проблема.

Результат наведено на рисунку 4.5.

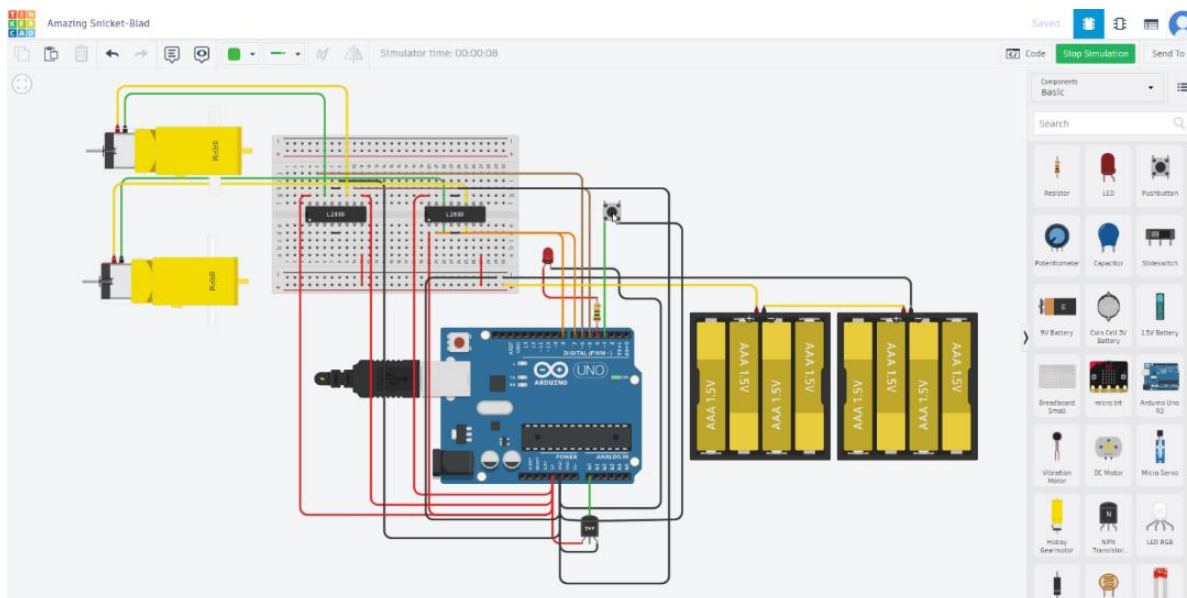


Рисунок 4.5 – Результат роботи системи при «пошкодженні» конвеєру

Як бачимо, так само, як і при виході значення температури із області допустимих, за проблем з конвеєром система також зупиняється та сповіщає про помилку.

4.2 Макетування проєкту

В якості основи фізичного макету було обрано програмовану плату Arduino UNO R4. Серед наявних пропозицій вона мала ту ж ціну, що й Arduino UNO R3, але має більший функціонал, включаючи можливість використання бездротових інтерфейсів підключення, таких як Wi-Fi і Bluetooth, що може стати в нагоді під час роботи над іншими проєктами. У фізичному макеті було втілено зазначені раніше в структурній схемі блоки:

– блок Arduino;

- блок джерел живлення;
- блок датчиків;
- блок драйверів;
- блок виконавчих механізмів;
- блок індикації.

Збірка макету та підключення компонентів відбуватиметься за допомогою макетної плати DST Half-size Breadboard. Вона невеликого розміру, та кількості розміщених на ній роз'ємів для підключення більш, ніж достатньо для виконання проєкту. Макетну плату наведено на рисунку 4.6.

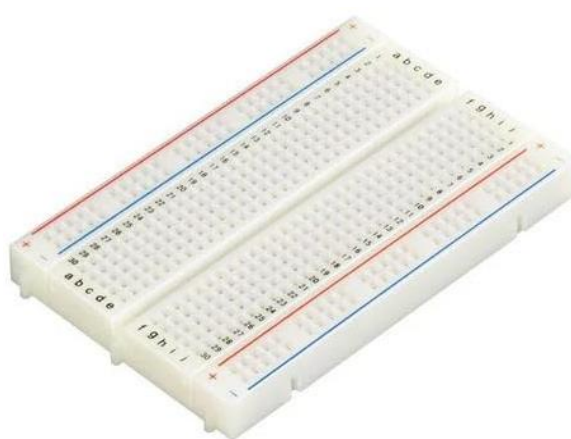


Рисунок 4.6 – Макетна плата DST Half-size Breadboard [19]

4.2.1 Блок Arduino

У першу чергу необхідно з'єднати Arduino із макетною платою, а саме основне живлення (5V) для датчику температури та логіки драйверів, а також землю (GND). Підключення зображене на рисунку 4.7.

На всіх фото для наочності відповідні підключення виділені жовтими прямокутниками.

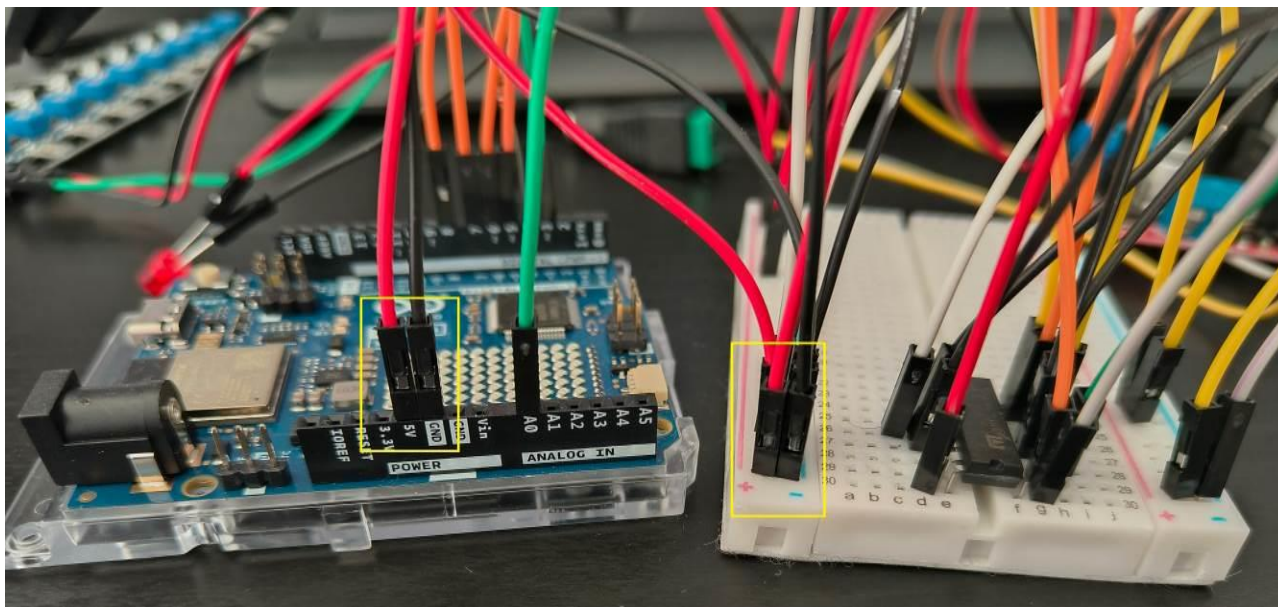


Рисунок 4.7 – Підключення живлення з плати Arduino до макетної дошки

4.2.2 Блок джерел живлення

Макет містить два основних джерела живлення: 5 В USB для Arduino і 12 В блок живлення для мотор-редуктору та насосу. 5 В USB підключається безпосередньо до Arduino через наявний на ній USB Type-C порт, у той час, як блок живлення підключається до виконавчих механізмів через драйвери та макетну дошку.

Підключення Arduino до USB та блоку живлення до макетної плати і драйверів показані на рисунках 4.8 і 4.9 відповідно.



Рисунок 4.8 – Підключення живлення до Arduino



Рисунок 4.9 – Підключення блоку живлення до макету

4.2.3 Блок датчиків

Блок датчиків налічує в собі аналоговий датчик температури TMP36 та цифровий інфрачервоний датчик перешкод Frienda. Датчик температури підключається до аналогового піну вводу Arduino, а датчик перешкод до цифрового. Для живлення обидва датчики потребують підключення до 5В та землі. Підключення TMP36 наведено на рисунку 4.10, підключення Frienda наведено на рисунку 4.11.

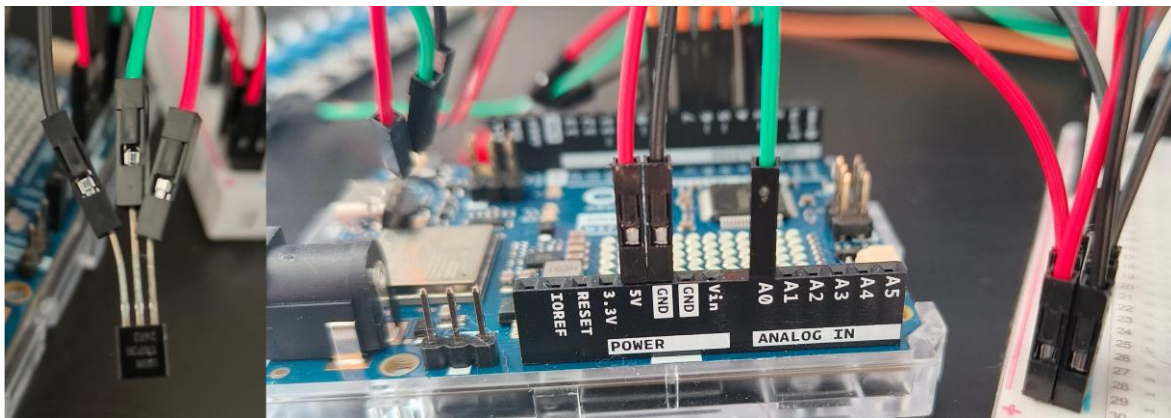


Рисунок 4.10 – Підключення датчику температури

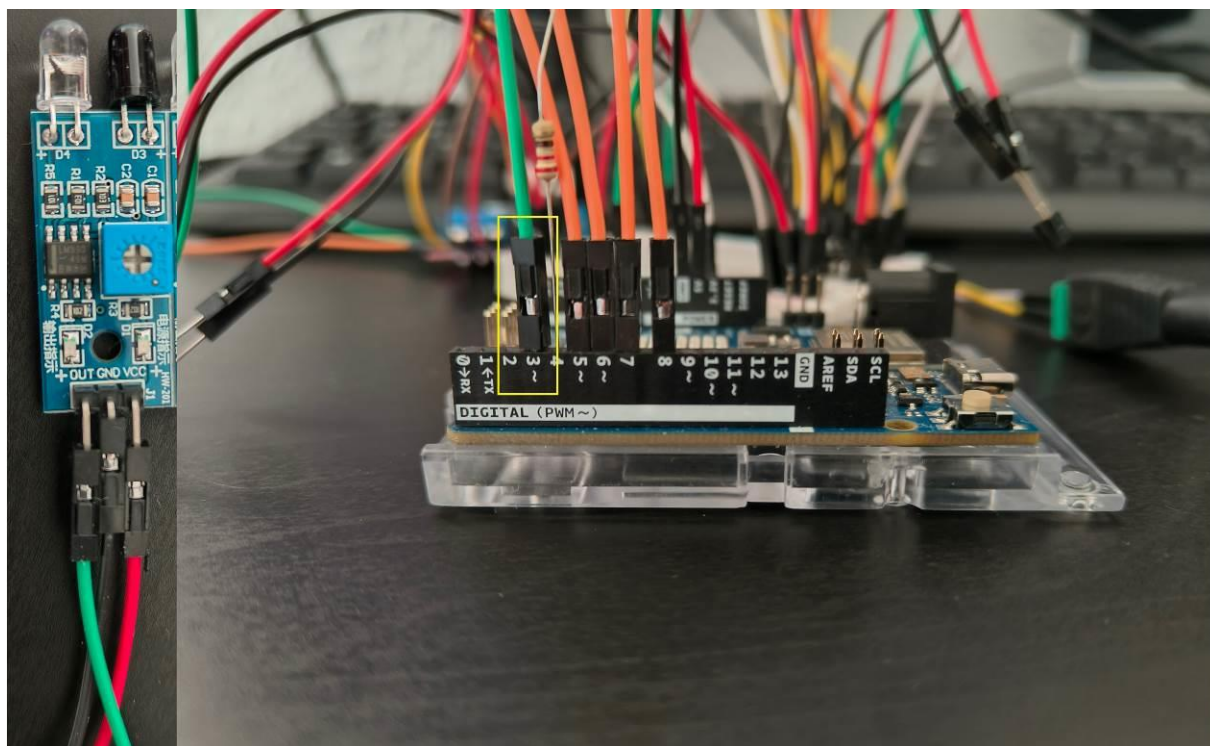


Рисунок 4.11 – Підключення ІЧ датчику перешкод

4.2.4 Блок драйверів

Блок драйверів містить два драйвери для двигунів: L293D для перистальтичного насосу та L298N для мотор-редуктору, так як споживання мотору знаходиться на межі специфікацій L293D. Enable піни драйверів підключаються безпосередньо до 5V лінії для активації пінів Input і Output, а Input піни підключаються до цифрових виводів Arduino, з яких посилається сигнал керування двигунами. 12 В пін підключається напряму до блоку живлення. Підключення драйверів L293D та L298N наведено на рисунках 4.12 та 4.13 відповідно.

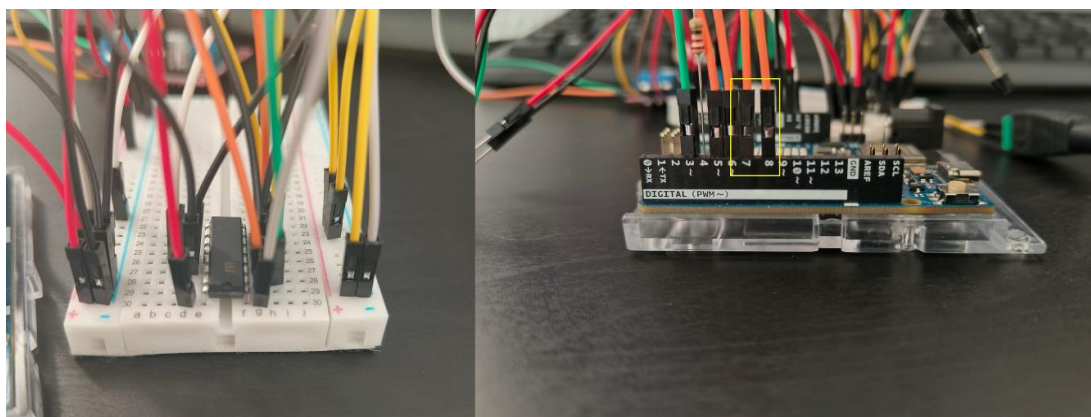


Рисунок 4.12 – Підключення драйверу L293D

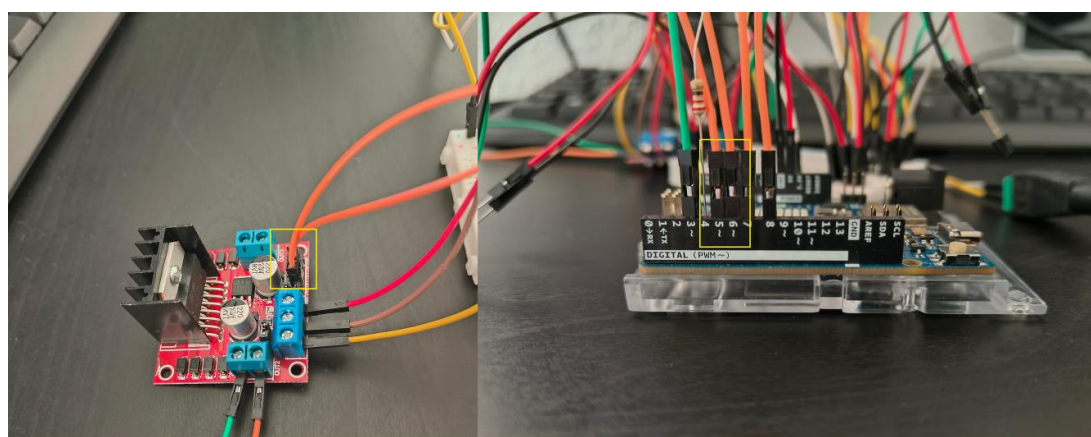


Рисунок 4.13 – Підключення драйверу L298N

4.2.5 Блок виконавчих механізмів

У проєкті наявні два виконавчі механізми: мотор-редуктор DEWIN DC 12V для імітації конвеєру та перистальтичний насос Naroote DC 12V для дозування рідкого складнику. Мотор підключається до пінів Output 1 та Output 2 драйверу L298N, а насос до Output 1 та Output 2 драйверу L293D. Драйвери здійснюють керування над ними відповідно до сигналів з Arduino, що поступають до них. Підключення мотор-редуктору до L298N наведено на рисунку 4.14, підключення перистальтичного насосу до L293D наведено на рисунку 4.15.

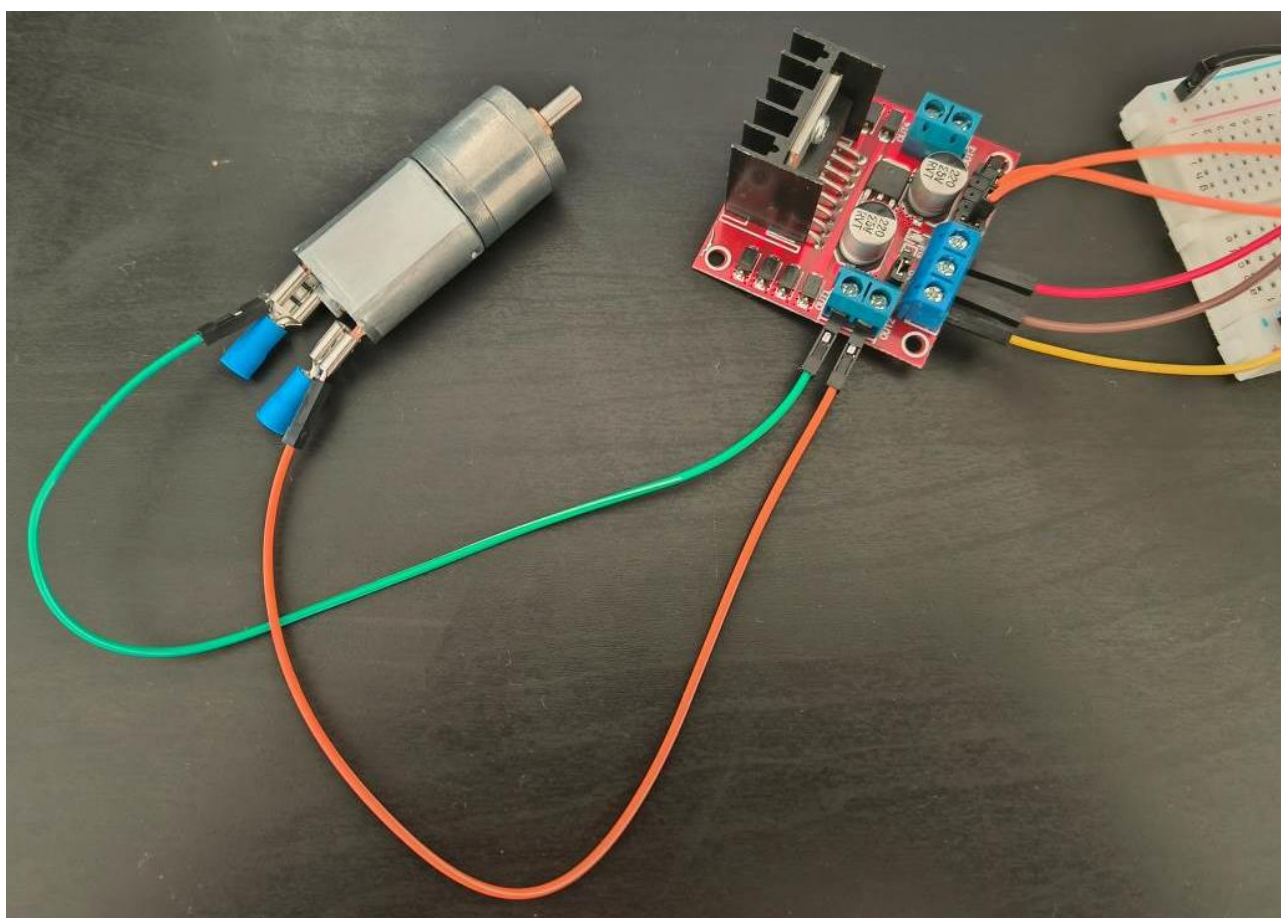


Рисунок 4.14 – Підключення мотор-редуктору до L298N

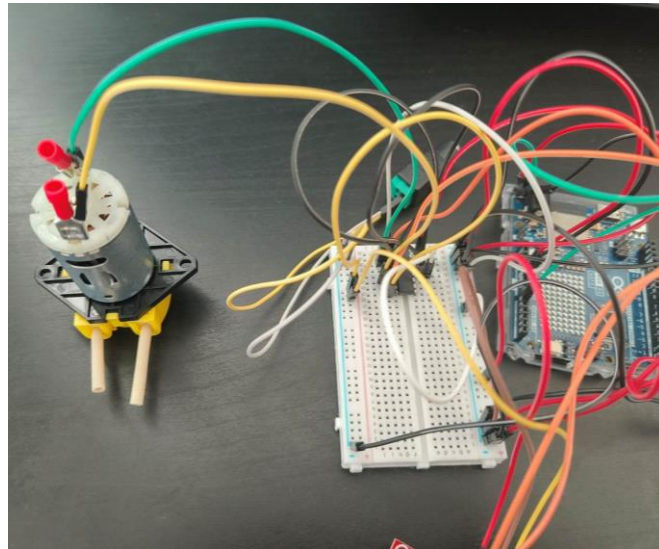


Рисунок 4.15 – Підключення перистальтичного насосу до L293D

4.2.6 Блок індикації

Для індикації стану роботи або сповіщення про проблеми використовується світлодіод, що горить при нормальній роботі та блимає при виявленні помилок.

Він підключений до цифрового піна Arduino через резистор для зниження напруги, що подається на нього.

Підключення світлодіоду до Arduino наведено на рисунку 4.16.

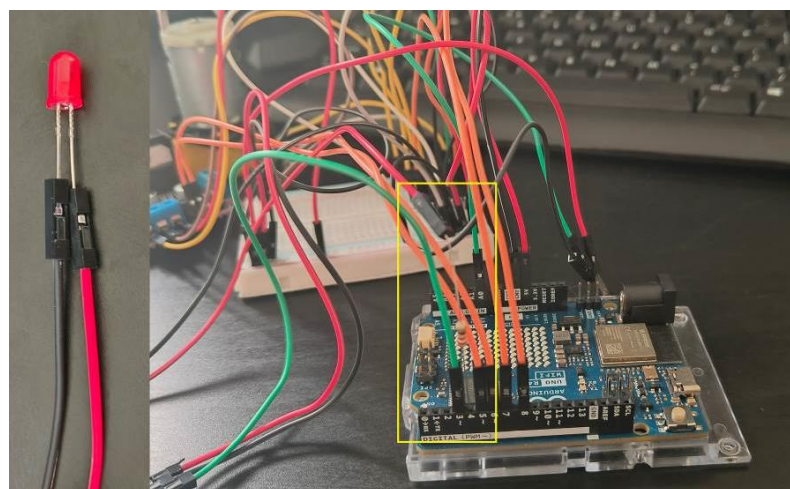


Рисунок 4.16 – Підключення світлодіоду до Arduino

4.3 Фінальна збірка, програмування та тестування

В результаті роботи було зібрано макет, наведений на рисунку 4.17.

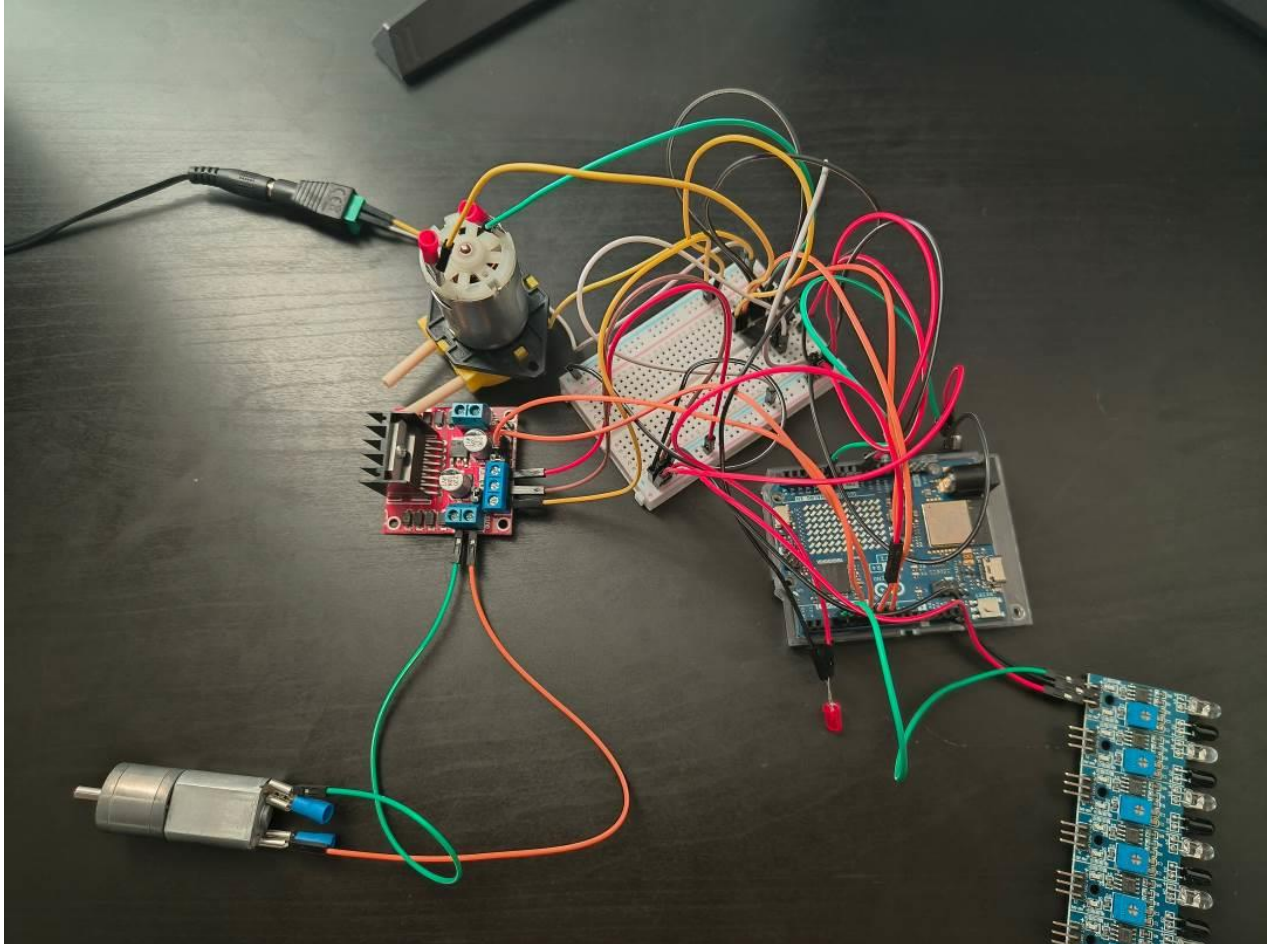


Рисунок 4.17 – Готовий макет

Програмування основної плати макету здійснюється за допомогою Arduino IDE. Вписуємо код з Додатку А, проводимо його компіляцію та завантажуюмо на плату. Результат наведено на рисунку 4.18. Результат роботи запрограмованої плати наведено на рисунку 4.19. Виведення даних у послідовному порті наведено на рисунку 4.20.

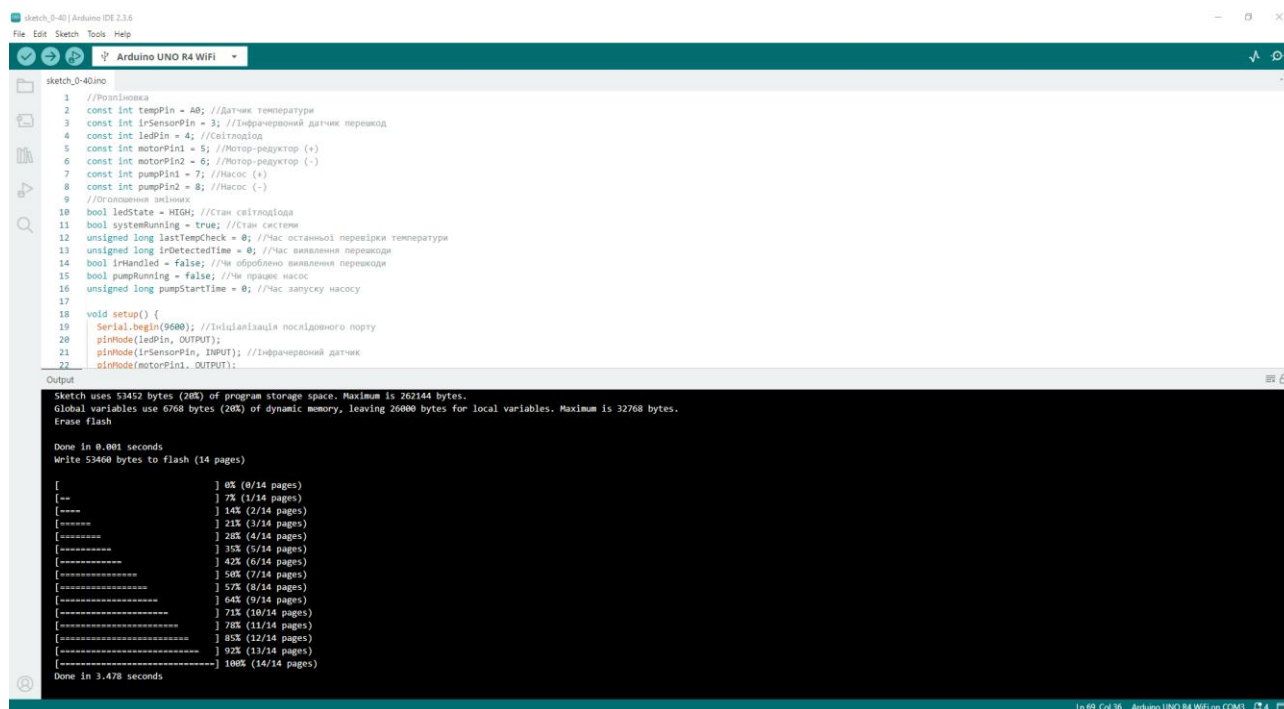


Рисунок 4.18 – Вікно середовища розробки із написаним та завантаженим на плату кодом скетчу

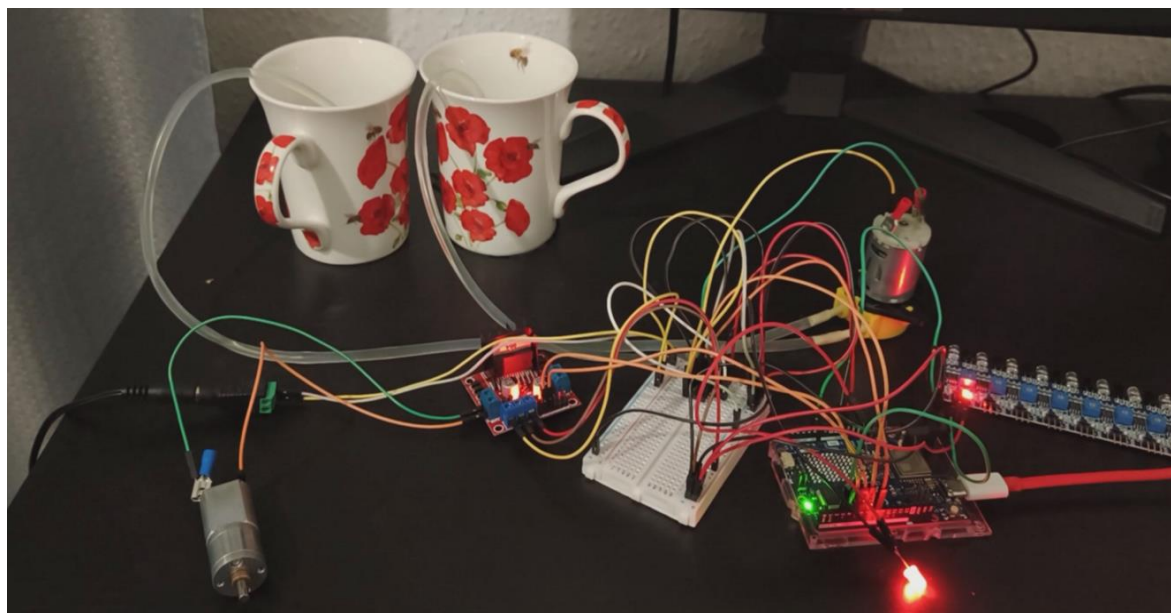


Рисунок 4.19 – Робота підсистеми дозування рідких складників

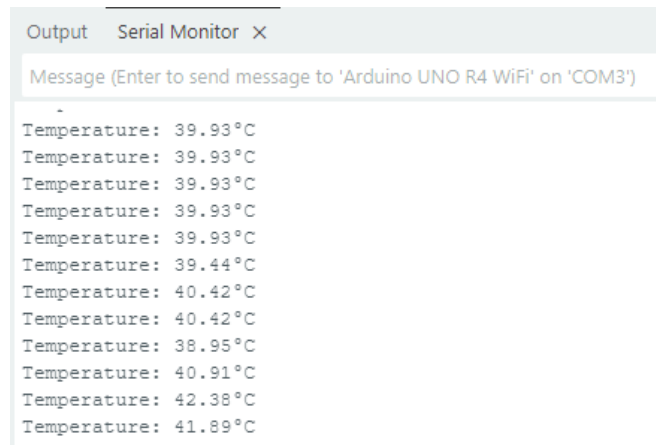


Рисунок 4.20 – Вивід даних у послідовному порті

Проведемо дослід, як і при тестуванні віртуального макету: навмисно нагріємо датчик для виходу за межі діапазону допустимих значень та підставимо перешкоду на задовгий час. Результати експериментів наведено на рисунках 4.21 та 4.22 відповідно.

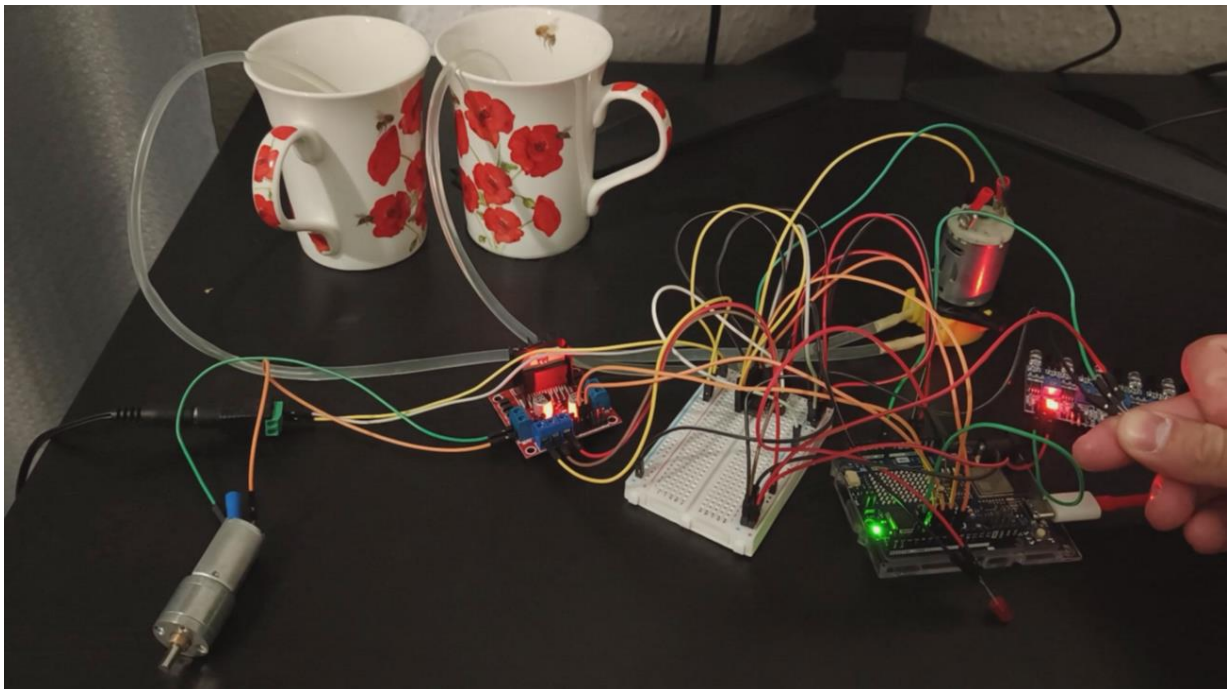


Рисунок 4.21 – Поведінка системи при виході з області допустимих значень температур

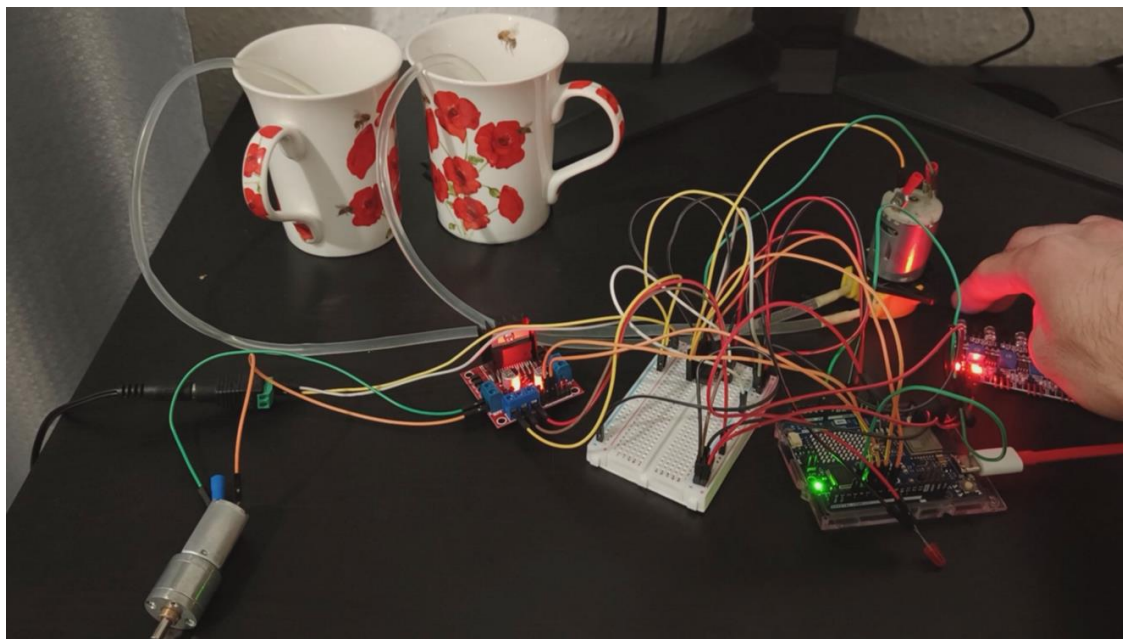


Рисунок 4.22 – Поведінка системи при «застряглому» конвеєрі

Як можна побачити на рисунках, при виявленні проблем конвеєр зупиняється, а світлодіод починає блимати, сповіщаючи про помилку.

Підбиваючи підсумки, було спроектовано та зібрано макет підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат, що поєднує в собі виконавчі механізми у вигляді мотор-редуктору та перистальтичного насосу, драйвери L298N та L293D для керування ними, датчик перешкод та датчик температури для слідкування за станом системи, світлодіод для індикації стану системи, джерела живлення із різною вихідною напругою для різних компонентів та плату Arduino UNO R4, яка здійснює керування над всіма перерахованими компонентами [19].

4.4 Охорона праці при експлуатації підсистем дозування рідких складників

Забезпечення охорони праці під час експлуатації підсистем дозування рідких складників є одною з найважливіших складових технологічного процесу. Вона спрямована на створення безпечних умов праці та запобігання можливим

нещасним випадкам. Згідно зі статтею 13 Закону України «Про охорону праці» [22], роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні та нешкідливі умови праці, а також впровадити відповідні заходи безпеки, які відповідають характеру технологічного процесу.

При експлуатації підсистем дозування рідких речовин важливо дотримуватись наступних загальних правил:

- персонал, допущений до роботи з обладнанням, повинен пройти інструктаж з охорони праці та мати відповідну кваліфікацію;
- технологічне обладнання має бути у справному стані та перевірене перед запуском;
- робоче місце повинно бути оснащено засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): рукавицями, захисними окулярами, спецодягом;
- приміщення повинно мати ефективну систему вентиляції, особливо при роботі з леткими або токсичними речовинами;
- зони потенційної небезпеки повинні бути промарковані та обладнані відповідними попереджувальними знаками.

Відповідно до статті 18 Закону України «Про охорону праці» [23], працівники зобов'язані знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила безпечної експлуатації машин, механізмів та іншого обладнання.

Більшість підсистем дозування рідин та деяких інших видів обладнання включають використання електроприводів, насосів, сенсорних датчиків та інших електронних пристроїв. У зв'язку з цим необхідно:

- перевіряти цілісність електроізоляції та відсутність механічних пошкоджень;
- забезпечити заземлення всього обладнання згідно з вимогами правил улаштування електроустановок;
- уникати експлуатації електрообладнання у вологих умовах без відповідного захисту від проникнення;

- регулярно здійснювати технічне обслуговування електричної частини підготовленим персоналом.

Також, згідно з Наказом Міністерства Надзвичайних Ситуацій України № 671 «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електроустановок споживачів» [24], роботи в електроустановках напругою понад 1000 В мають виконуватись не менше, ніж двома працівниками.

Під час експлуатації насосів або інших дозаторів, які контактують із рідинами, необхідно враховувати:

- небезпеку витоку агресивних або токсичних речовин, що потребує герметизації з'єднань та наявності піддонів для збору проливів;

- перевірку клапанів, трубопроводів та сенсорів на відсутність засмічень або збоїв; обов'язкову наявність інструкцій щодо дій у разі аварійних ситуацій (розлив, витік, зупинка системи);

- виведення системи з експлуатації після завершення зміни або технічного обслуговування згідно з регламентом.

Особливу увагу слід приділяти ситуаціям, коли рідина має властивості підвищеної небезпеки — токсична, горюча або хімічно активна. У такому випадку, згідно з вимогами санітарних норм, необхідно контролювати допустимі концентрації в повітрі та забезпечувати примусову витяжну вентиляцію.

ВИСНОВКИ

Системи дозування є невід'ємною частиною сучасних підприємств з виробництва будь-якого виду продукції. Вони забезпечують точність дозування, зменшення обсягу роботи, виконаної людиною, внаслідок чого зменшуються вплив людського фактору, витрати на виробництво та собівартість кінцевого продукту.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було поставлено мету розробити програмний модуль для підсистеми дозування рідких складників шляхом виконання наступних завдань: аналіз предметної області, розробка схеми підключення підсистеми автоматичного дозування рідких складників, розрахунки стійкості системи, розробка програмного забезпечення для підсистеми автоматичного дозування рідких складників, макетування підсистеми автоматичного дозування рідких складників.

Було проаналізовано сучасний стан предметної області, оглянуто технологічний процес виготовлення друкованих плат, роль дозування в ньому, запропоновано методи його покращення. Було проаналізовано конструкції різних видів дозаторів та способи автоматизованого паяння друкованих плат.

Було закріплено теоретичні знання, отримані при вивченні дисциплін циклу професійної підготовки на практиці, отримано практичні навички та вміння самостійно вирішувати актуальні професійні задачі в сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Було створено, запрограмовано та протестовано віртуальну схему підсистеми дозування рідких складників у середовищі Tinkercad. Після цього було проведено вибір електронних компонентів для макетування. Усі напрацювання було успішно втілено у фізичний макет, який також пройшов усі необхідні тестування та показав повну працездатність.

У кінцевому результаті було досягнуто підвищення якості технологічно процесу виготовлення друкованих плат за рахунок розробленого програмного модуля для підсистеми автоматичного дозування рідких складників в технологічному процесі паяння друкованих плат.

Упровадження розробленого макету стане в нагоді для тестування та налагодження програм для модулів підсистем дозування рідин, а також у проведенні лабораторних робіт та практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та подібних.

Матеріали за тематикою роботи були апробовані у вигляді усної доповіді на міжнародній науковій конференції та тези доповіді опубліковано у збірнику наукових праць «Період трансформаційних процесів в світовій науці: задачі та виклики», у червні 2025 року, місто Кропивницький, Україна.

Проведені дослідження відповідають цілям сталого розвитку (ЦСР), а саме: ЦСР 4, ЦСР 9.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.В. Токарєва, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2023. – 64 с.
3. Положення про протидію плагіату в ХНУРЕ. URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-hnure-290-vid-28.04.2017.pdf (Дата звернення: 21.04.2025).
4. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 151 с.
5. Development of a structural scheme for automatic dosing of liquid components / Shrubkovskyi Y., Sotnik S., Кропивницький: UKRLOGOS Group. 2025, – 10 с.
6. Цілі сталого розвитку. URL: https://business.diia.gov.ua/entrepreneur-handbook/item/cili_stalogo_rozvitku (Дата звернення: 21.04.2025).
7. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації Частина 2/ Невлюдов І.Ш., Харків: ХНУРЕ, 2022, – 425 с.

8. Важлива інформація про технологію точного дозування та інкапсуляції.
URL: <https://ua.neodenpnp.com/news/important-information-about-precision-dispensi-73107916.html> (Дата звернення: 21.04.2025).

9. Які існують методи покращення якості у виробництві друкованих плат?
URL: <https://ua.neodenpnp.com/news/methods-of-quality-improvement-in-pcba-73485551.html> (Дата звернення: 21.04.2025).

10. Що таке дозатор: принцип роботи обладнання. URL: <https://flexmash.com/shho-take-dozator/> (Дата звернення: 20.04.2025).

11. Jet Dispensing. URL: <https://www.amadaweldtech.eu/knowledge-base/jet-dispensing> (Дата звернення: 22.04.2025).

12. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: Підручник Харків: ФОП Панов А. М., 2021, – 604 с.

13. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 2: Підручник Кривий Ріг: видавець Чернявський Д. О., 2022, – 424 с.

14. DAOKAI 10 Pcs L293D Stepper Motor Drivers. URL: <https://www.amazon.co.uk/dp/B09TK1RPSX> (Дата звернення: 23.05.2025).

15. zalati Motor Drive Controller Board L298N. URL: <https://www.amazon.co.uk/dp/B0CNT6KKZ6> (Дата звернення: 23.05.2025).

16. DEWIN DC 12V Gear Motor. URL: <https://www.amazon.co.uk/dp/B086N42D72> (Дата звернення: 23.05.2025).

17. Naroot Peristaltic Liquid Pump. URL: <https://www.amazon.co.uk/dp/B09SY8DSHH> (Дата звернення: 23.05.2025).

18. Lepro 12V 2A Power Supply. URL: <https://www.amazon.co.uk/dp/B019RO949C> (Дата звернення: 23.05.2025).

19. Amazon.co.uk: temperature sensor Arduino. URL: <https://www.amazon.co.uk/s?k=temperature+sensor+arduino> (Дата звернення: 23.05.2025).

20. Tinkercad. URL: [Tinkercad.com](https://tinkercad.com) (Дата звернення: 25.05.2025).
21. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева. Харків: ХНУРЕ, 2020. 240 с.
22. Закон України «Про охорону праці». Офіційний вебпортал. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 05.06.2025).
23. Наказ «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електроустаткування та електромереж на відкритих гірничих роботах». Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0641-12#Text> (дата звернення: 05.06.2025).
24. ДСТУ 10218-2:2018 Роботи та роботизовані пристрої. Вимоги щодо безпеки промислових роботів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81746 (дата звернення: 05.06.2025).