

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

05.01.2024р

A square image containing a handwritten signature in blue ink. The signature is stylized and appears to be 'Кулак'.

Кулак Єлизавета Віталіївна

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

«03» 11 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Кулак Єлизаветі Віталіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві»

Затверджена наказом по університету від 03.11.2023р. №1288 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Мікроконтролер Arduino nano;

3.2 Модуль розширення Ethernet;

3.3 Програмне середовище для проектування схем та друкованих плат – Diptrace;

3.4 Програмне середовище для програмування мікроконтролерів Arduino – Arduibo IDE

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз технічного завдання та предметної області;

4.3 Аналіз готових інженерних рішень та моделей;

4.4 Розробка та підбір апаратної частини системи;

4.5 Розробка схеми електричної принципової;

4.6 Підбір корпусу для модулю керування;

4.7 Експериментальні дослідження та налаштування;

4.8 Створення віртуального інтерфейсу для роботи з системою;

4.9 Розробка заходів з охорони праці під час роботи з комп'ютером;

4.10 Висновки;

4.11 Додатки.

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

Кресленики:

Графічний демонстраційний матеріал у форматі Power Point (*.ppt) – 15 сторінок

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз вхідної інформації та вимог ТЗ	04. 11. 23 р.	Виконано
2	Аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи	07. 11. 23 р.	Виконано
3	Розробка СЕП та підбір компонентів	15. 11. 23 р.	Виконано
4	Розробка ПЗ ситеми	20. 11. 23 р.	Виконано
5	Експериментальні дослідження	28. 11. 23 р.	Виконано
6	Налаштування системи	02. 12. 23 р.	Виконано
7	Розрахунки надійності системи	05. 12. 23 р.	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	15. 12. 23 р.	Виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichек		
10	Подання роботи на рецензію		
11	Подання роботи на підпис зав. кафедри		
12	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання _____ 03.11.2023 р. _____

Студент _____ Кулак Є. В.
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Євсєєв В. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 63 с., 10 табл., 30 рис., 2 дод., 18 джерел.

СИСТЕМА, КОНТРОЛЬ, ДАТЧИК, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ,
ПРОЕКТУВАННЯ, ЗВ'ЯЗОК.

Об'єкт дослідження – процес контролю за параметрами технологічних процесів на виробництві.

Предмет дослідження – методи, алгоритмічне та програмне забезпечення контролю параметрів технологічного виробництва.

Метою роботи – розробка модуля моніторингу параметрів температури для підвищення точності виконання теплових режимів.

Методи розробки та апаратне забезпечення: 3D-моделювання складових компонентів системи, дослідження параметрів апаратних компонентів системи, налагодження та калібрування датчиків температури, вологості, освітлення, наявності газів та ін., створення веб-інтерфейсу для зручного управління системою та відстеження параметрів; середовище проектування схеми електричної принципової та друкованих плат – DipTrace.

Області застосування – розроблений макет системи може бути використаний як готова система контролю параметрів на виробництві, завдяки універсальності можливе використання у побутових та аграрних цілях.

Також альтернативний варіант використання в якості навчального макету для відображення функціональних можливостей електроніки та інтернету речей.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 63 p., 10 tabl., 30 fig., 2 app., 18 sources.

SYSTEM, CONTROL, SENSOR, INTERNET OF THINGS, DESIGN, COMMUNICATION.

The object of research – the process of controlling the parameters of technological processes in production.

The subject of research – methods, algorithmic and software control of technological production parameters.

The purpose of the work – develop a module for monitoring temperature parameters to increase the accuracy of performing thermal regimes.

Development methods and hardware: 3D modeling of system components, research of parameters of system hardware components, debugging and calibration of sensors for temperature, humidity, lighting, presence of gases, etc., creation of a web interface for convenient system management and parameter tracking; the environment for designing electrical schematics and printed circuit boards – DipTrace.

Areas of application - the developed system layout can be used as a ready-made parameter control system in production, thanks to its versatility, it can be used for domestic and agricultural purposes.

It is also an alternative option for use as an educational model for displaying the functionality of electronics and the Internet of Things.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	8
Вступ.....	9
1 Аналіз сучасних систем моніторингу для кіберфізичних виробничих систем	12
1.1 Аналіз використання систем моніторингу	12
1.2 Аналіз концепція систем моніторингу	13
1.3 Сфери застосування кіберфізичних систем	15
1.4 Аналіз аналогічних інженерних рішень	17
1.5 Постановка задачі дослідження	19
1.6 Висновки до 1 розділу	19
2 Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві.....	20
2.1 Описання основних вимог та процесів контролю	20
2.2 Розробка структурної схеми кіберфізичної системи контролю ..	21
2.3 Підбір компонентів системи	22
2.4 Розробка джерела живлення модулів та мікроконтролера	28
2.5 Розробка схеми електричної принципової	29
2.6 Вибір середовища проектування друкованої плати	32
2.7 Визначення масогабаритних параметрів компонування плати ...	33
2.8 Висновки до розділу 2	40
3 Розробка програмного забезпечення та дослідна експлуатація кіберфізичної системи	41
3.1 Розробка алгоритму роботи кіберфізичної системи контролю ...	41
3.2 Розробка програмного коду керування системою	45
3.3 Описання роботи системи	49
3.4 Налаштування кіберфізичної системи контролю	51
3.5 Висновки до розділу 3	59
4 Конструкційні розрахунки для кіберфізичної системи контролю	60

4.1 Розрахунок показників надійності модуля	60
4.2 Вимоги до обладнання робочого місця розробника	64
4.3 Висновки до розділу 4	64
Висновки.....	65
Перелік джерел посилання.....	66
Додаток А Апробація результатів наукових досліджень.....	69
Додаток Б Демонстраційний матеріал.....	80

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КФС – кіберфізична система;

МК – мікроконтролер;

ПЗ – програмне забезпечення;

САПР – система автоматичного проектування;

СЕП – схема електрична принципова;

ІоТ – internet of things.

ВСТУП

Сучасне виробництво складається з багатьох маленьких виробничих процесів. В свою чергу, кожен процес включає велику кількість факторів та показників, за якими потрібно слідкувати та відстежувати. Окрім виробничих параметрів існують і мають важливе значення параметри навколишнього середовища робочого місця або робочої зони. Також додатковими параметрами які взаємодіють між собою є протипожежна система або сигналізація з дистанційним оповіщенням.

Системи моніторингу є сучасним інструментом підвищення рівня якості та виробничої спроможності. Так як частина процесів відбувається автоматично, а решту можна керувати віддалено, що робить її актуальною для вивчення і вдосконалення. Характерною рисою кіберфізичних систем моніторингу, на відміну від інших методів формування виробничого простору, в більшій мірі є авангардний шлях комунікації людини і виробничого процесу або приміщення, що відрізняється можливістю завдання бажаної ситуації за допомогою передачі інструкції автоматичній системі, яка, відповідно до визначеного заздалегідь алгоритму, зумовлює і перевіряє режими функціонування всіх електричних і інженерних систем.

Також головним критерієм під час розробки систем моніторингу є те, що потрібно враховувати типи виробництва, типи приміщень, а також мати дистанційне керування з можливістю автономної роботи та втілення у інші системи.

Метою роботи є розробка модуля моніторингу параметрів температури для підвищення точності виконання теплових режимів. Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати різновиди готових інженерних рішень;
- проаналізувати необхідні вимоги для правильної роботи системи;
- проаналізувати різновиди систем моніторингу в цілому;
- провести розробку схеми електричної принципової;

- виконати підбір необхідних компонентів з детальним обґрунтуванням вибору;
- провести підбір корпусних елементів системи;
- провести макетну збірку та налаштування системи;
- розробити веб-інтерфейс для зручного віддаленого керування;
- розглянути питання ергономіки для забезпечення більшої зручності та універсальності користування та управління;
- провести експериментальні дослідження;
- згідно результатів експерименту провести калібрування датчиків;
- розглянути питання охорони праці;
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1] та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2];
- за результатами роботи опублікувати статтю в збірнику студентських робіт [3].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ДЛІ КІБЕРФІЗИЧНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

1.1 Аналіз використання систем моніторингу

Будь-яке приміщення, адміністративне, виробниче або житлове приміщення складається з набору підсистем, що відповідають за виконання певних функцій, які вирішують різні завдання в процесі функціонування цього приміщення або процесу (технологічного процесу на виробництві). В міру ускладнення цих підсистем і збільшення кількості, виконуваних ними функцій, процес управління стає все більш складним. Також стрімко зростають витрати на утримання обслуговуючого персоналу, ремонт і обслуговування цих підсистем. Вперше ці проблеми постали при експлуатації великих адміністративних і виробничих комплексів.

Сучасна будівля такого типу – це велика сукупність систем які об'єднані між собою і керують одна одною. На таких виробництвах зазвичай існує адміністративна служба, яка використовує та обслуговує усі системи контролю практично цілодобово. Однак є багато засобів автоматики, які керують деякими видами систем, такими, як освітлення, пожежна сигналізація, контроль входу/виходу, але управління і обслуговування всіх цих систем вимагає наявність відповідного персоналу [4].

Головним обов'язком персоналу обслуговування є контроль роботи цих систем і вжиття заходів у разі виходу їх з ладу або при виникненні позаштатної ситуації. Однак, на жаль, існують ситуації, коли навіть дії кваліфікованого персоналу можуть виявитися неефективними або просто персонал не буде знати що робити. Це випадки виникнення загрози будівлі в цілому і людям, що знаходяться в ній, наприклад: пожежа, землетрус і інші стихійні лиха, терористичні атаки та ін. Тут потрібно вживати екстраординарних заходів в дуже короткий проміжок часу і реакція та правильність дій людей в такій ситуації може виявитися недостатньою

Типові системи моніторингу за технологічними процесами проектувалися як автономні. Такі системи створювалися окремо для кожної ділянки виробництва і були об'єднані у межах одного корпусу підприємства в цілому. У таких виробництвах встановлювалися системи тільки з тими можливостями і з тим ступенем складності, які були необхідні на поточний момент проектування та виробничих можливостей. Подальше розширення і модернізація була дуже складною і коштовною проблемою, через безліч різних чинників та факторів впливу. Витрати на експлуатацію таких систем складаються з витрат на експлуатацію кожної окремої системи, а також вартості навчання обслуговуючого персоналу. Виходячи з цього, вартість експлуатації цих систем висока, і тим самим вартість навчання персоналу має високий поріг вартості, так як оператори повинні бути ознайомлені з експлуатацією кожної автономної системи для вміння керувати будь-якою з них.

Виробництво із кіберфізичною системою моніторингу виробничих процесів – це виробництво нового типу. В якому виробничий процес організований для комфорту та безпеки персоналу за допомогою сучасних інженерних рішень та технологій.

Принцип кіберфізичної системи моніторингу передбачає абсолютно новий підхід в організації робочих місць та безпеки виробничого комплексу, в якому за рахунок поєднання програмно-апаратних засобів зростає ефективність функціонування і надійність управління всіх систем і виконавчих пристроїв виробництва [4].

1.2 Аналіз концепція систем моніторингу

Основні положення концепції кіберфізичної системи моніторингу.

Кіберфізична система (КФС) – це механізм, що контролюється або відстежується комп'ютерними алгоритмами і тісно пов'язаний з Інтернетом та його користувачами [6]. Компоненти КФС взаємодіють на різних часових та просторових рівнях та можуть мати різні, відмінні одна від одної, моделі поведінки та взаємодіяти одна з одною різними шляхами, які можуть

змінюватися в залежності від контексту, на рисунку 1.1 наведено приклад структури кіберфізичної системи. У КФС використовується міждисциплінарний підхід, який поєднує теорію кібернетики, мехатроніку, промисловий дизайн та науковий метод. Контроль процесів часто пов'язують з вбудованими системами, в яких більше уваги приділяють обчислювальним складовим, і менше – інтенсивному прив'язуванню обчислень до фізичних об'єктів. КФС дещо схожі за архітектурою на Інтернет речей (IoT), проте вони мають більш високий рівень взаємозв'язку між фізичними та комп'ютерними компонентами.

Виходячи із визначення можна зробити висновок, що система повинна бути спроектована так, щоб всі сервіси могли інтегруватися один з одним з мінімальними витратами (з точки зору фінансів, часу і трудомісткості), а їх обслуговування було б організовано оптимальним чином.



Рисунок 1.1 – Приклад архітектури кіберфізичної системи

На відміну від вже існуючих вбудованих систем, повноцінні КФС розробляються у вигляді мережі з декількома складовими частинами, які займаються збіркою та обробкою даних та інформації. Головна ідея кіберфізичних систем тісно пов'язана з роботизованими та сенсорними системами, які обладнані «розумними» механізмами з необхідними обчислювальними можливостями для достатнього керування. Завдяки постійному науковому прогресу, КФС зазнають періодичних змін, які покращують зв'язок між фізичними та обчислювальними компонентами за допомогою «розумних» механізмів, покращуючи таким чином здатність до

адаптації, підвищуючи автономність, ефективність, надійність та безпечність, окрім цього ще розширюється функціональність кіберфізичних систем. Завдяки цьому потенціал їх використання розширюється, наприклад: втручання у процес керування транспортним засобом – уникнення зіткнень, точність при проведенні операцій – роботохірургія, рятувальні або дослідницькі операції (використання роботизованої техніки у небезпечних або важкодоступних місцях), координація перевезень – координація маршрутів повітряних суден [5].

1.3 Сфери застосування кіберфізичних систем

Кіберфізичні системи моніторингу або контролю використовуються у багатьох сферах життя. Починаючи від простих систем контролю температури у приміщенні і закінчуючи складними та багато-компонентними системами. Наведемо перелік основних галузей використання кіберфізичних систем:

– у виробничому середовищі: кіберфізичні системи можуть поліпшити виробничі процеси, забезпечуючи обмін інформацією реального часу між промисловим обладнанням, виробничими ланками постачання та самими постачальниками, системами управління бізнесом та клієнтами. Крім того, кіберфізичні системи підвищують ефективність цих процесів завдяки автоматичному моніторингу та контролю всього виробничого процесу, адаптації виробництва для задоволення вимог та побажань клієнтів. КФС підвищують прозорість та керованість ланок постачання, покращуючи відстеження та безпеку товарів;

– в інтелектуальних будівлях: спільна робота інтелектуальних пристроїв та кіберфізичних систем дозволяє зменшити енергоспоживання, підвищити безпеку та захищеність, а також створити більш комфортні умови для людей що проживають. В якості прикладу, кіберфізичні системи можуть підтримувати моніторинг енергоспоживання та використання систем альтернативної енергії для реалізації концепції будинку з безкоштовним споживанням електроенергії;

– в обчислювальних середовищах: кіберфізичні системи дозволяють краще розуміти поведінку систем та користувачів для підвищення продуктивності,

більш ефективного управління ресурсами. Наприклад, можна оптимізувати роботу додатків з урахуванням контексту та дій користувачів або відслідковувати доступність ресурсів. Крім того, популярні соціальні мережі та сайти електронної комерції зберігають інформацію про дії користувачів та контент яким користувач користується, аналізують цю інформацію, щоб передбачати, що може бути цікаво користувачам, та пропонувати рекомендації щодо друзів, публікацій, посилань, сторінок, подій або продуктів;

– в охороні здоров'я: кіберфізичні системи використовуються для дистанційного моніторингу фізичних показників пацієнтів в реальному часі з метою зменшення потреб у госпіталізації (наприклад, пацієнтів з хворобою Альцгеймера) або для догляду за інвалідами та людьми похилого віку. Крім того, кіберфізичні системи застосовуються в нейробиологічних дослідженнях для вивчення функцій організму людини з використанням інтерфейсів між мозком та обладнанням, а також для терапевтичної робототехніки;

– у транспорті: транспортні засоби та комп'ютерна інфраструктура можуть взаємодіяти між собою, обмінюючись в реальному часі інформацію про дорожній рух, місцезнаходження та проблеми, запобігаючи утворенню транспортних інцидентів та заторів, підвищуючи безпеку та економлячи час та гроші водіїв та користувачів;

– у сільському господарстві: кіберфізичні системи можуть використовуватися для створення сучасного та ефективного сільського господарства. Такі системи можуть збирати важливу інформацію про клімат, ґрунти, наявність газів в повітрі та інші дані для точного управління сільськогосподарськими роботами. Датчики кіберфізичних систем можуть вести постійний моніторинг різних показників, таких як зрошення ґрунту, вологість повітря та здоров'я рослин, для підтримання оптимальних навколишніх умов [5].

Ще один напрям використання кіберфізичних систем моніторингу – це відновлювальна енергетика. У цьому напрямку кіберфізичні системи включають в себе датчики та інші пристрої, що забезпечують моніторинг мережі для контролю та підвищення надійності й енергоефективності [6].

1.4 Аналіз аналогічних інженерних рішень

На сьогоднішній день існує велика кількість готових інженерних рішень стосовно кіберфізичних систем. В основному такі системи використовують при побудові «розумних будинків», керування автономним транспортом та ін.

Одним із найкращих прикладів використання кіберфізичних систем моніторингу на виробництві є японська компанія Toshiba. Ця компанія використовує принцип кіберфізичних систем у своєму проекті віртуальної електростанції (рис. 1.2), яка застосовує технології інтернету речей, щоб координувати роботу розподілених джерел енергії (сонячної, водної та вітрової енергії), яку споживають електротранспортні засоби та системи зберігання чи накопичення енергії. За допомогою даних від пристроїв інтернету речей і технологій в даному випадку вдається оптимізувати енергоспоживання системи, передбачити його масштаби і в результаті досягти максимальної економії електроенергії [7].

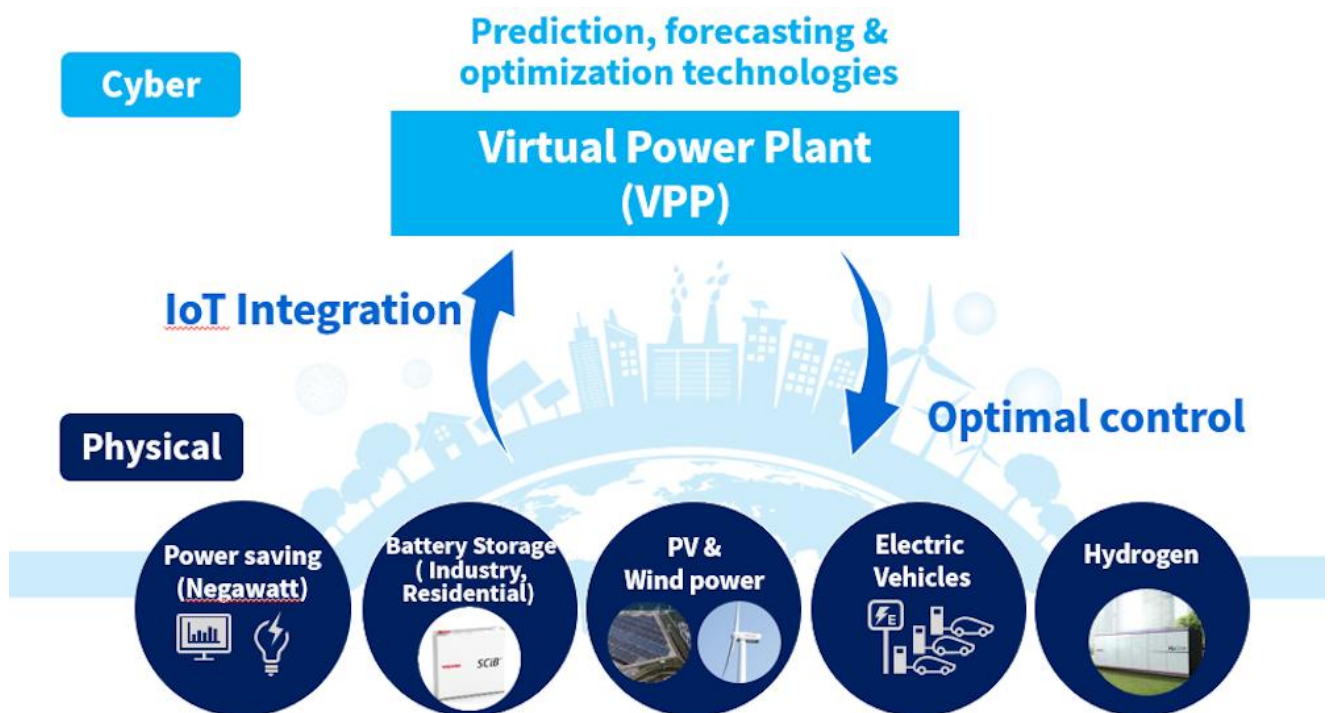


Рисунок 1.2 – Віртуальна електростанція від Toshiba [6]

Ще одним із прикладів використання кіберфізичних систем моніторингу є системи управління автономним транспортом, які в реальному часі отримують інформацію від учасників дорожнього руху та дорожньої інфраструктури, щоб уникнути ДТП та підібрати оптимальний маршрут до місця призначення з урахуванням ситуації на дорозі.

Ще одним із прикладів є медичне обладнання, яке дистанційно відстежує стан хворих та застосовується для дослідження людського організму. Існує ще безліч прикладів використання кіберфізичних систем моніторингу, від житлових будинків з нульовим електроспоживанням, до сільського господарства.

Спільним у всіх цих системах буде те, що кіберфізичні системи здатні зробити життя людей простіше і підвищити його рівень, тому багато великих компаній зараз беруть курс розвитку на їхню розробку.

Можливість зробити життя людей краще і простіше за допомогою цих систем добре можна проілюструвати на прикладі "розумних" міст. Сінгапур вже неодноразово визнавався найрозумнішим та найтехнологічним із «розумних» міст в світі, причому його уряд йде ще далі і вважає, що працює над проектом «розумної нації» (Smart Nation – назва програми міського розвитку Сінгапуру). Ціла низка стартапів спільно створює рішення для Сінгапуру, які стосуються практично всіх сфер життя городян – від охорони правопорядку та автоматичної фіксації порушень до управління транспортною системою та енергоресурсами, водопостачання та охорони здоров'я. І це дає свої результати, наприклад, тільки система управління транспортними потоками здатна заощадити сінгапурським водіям десятки тисяч годин на рік.

Ще одним великим прикладом використання кіберфізичних систем можна вважати місто Масдар ОАЄ. Це місто має стати «екомістом», яке повністю забезпечує свої потреби за допомогою відновлюваних джерел енергії, повністю переробляє всі відходи та повністю відмовився від традиційних видів транспорту на користь громадського та персонального автономного транспорту. Звичайно, для ефективного управління ресурсами та транспортними потоками в Масдарі будуть застосовуватися новітні технології та складні кіберфізичні системи.

Загалом кіберфізичні системи моніторингу починають все більше використовуватись у повсякденному житті та являють собою четверту промислову революцію

1.5 Постановки задачі дослідження

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що кіберфізичні системи моніторингу є актуальними на сьогоднішній день. Актуальність систем обумовлена підвищенням інтелектуальності виробництва, а також перехід до індустрії 4.0.

Метою роботи є розробка одного із багатьох видів систем моніторингу за технологічними процесами на виробництві. Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести розробку схеми електричної принципової;
- виконати підбір необхідних компонентів з обґрунтуванням вибору;
- провести підбір корпусних елементів системи;
- провести експериментальні дослідження;
- згідно результатів експерименту провести калібрування датчиків.

1.6 Висновки до 1 розділу

У першому розділу було проаналізовано технічне завдання на кваліфікаційну роботу, а також принципи функціонування кіберфізичних систем. Окрім цього описано сфери використання кіберфізичних систем та їх переваги у кожному напрямку. Проведено аналіз готових інженерних рішень на базі систем розумних будинків. Описано основні переваги та недоліки готових виробів.

2 РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ВИРОБНИЦТВІ

2.1 Описання основних вимог та процесів контролю

Проаналізувавши готові варіанти інженерних рішень можна зробити висновок, що потрібно розробити систему яка б включала у себе переваги всіх розглянутих систем, і при цьому мала мінімум недоліків.

На сучасному виробництві існує безліч факторів які потрібно контролювати та керувати. Через те, що в залежності від різновиду виробничої діяльності фактори, що необхідно контролювати будуть суттєво відрізнятися, доцільно розробити систему, яка буде контролювати основні фактори та показники які використовуються у будь-якому виробництві. Це такі показники як:

- температура повітря ззовні;
- температура повітря всередині приміщення;
- вологість повітря у приміщенні;
- освітленість робочих місць;
- наявність шкідливих газів.

Окрім кліматичних параметрів необхідно контролювати процес виробництва. Для цього потрібно розробити алгоритм та процес фіксації завершення виробничого процесу працівником. Наприклад: використовуючи спеціальні штрих-коди, сканери та облікові записи кожного робітника можна створити систему контролю за процесом виробництва; або при прийнятті на роботу видавати працівникам спеціальні електронні ключі, за допомогою яких буде відбуватись фіксація стадії виготовлення на виробництві [8-9].

2.2 Розробка структурної схеми кіберфізичної системи контролю

Провівши аналіз сучасних інженерних рішень та їх структури було розроблено структурну схему кіберфізичної системи моніторингу на виробництві (рис. 2.1).

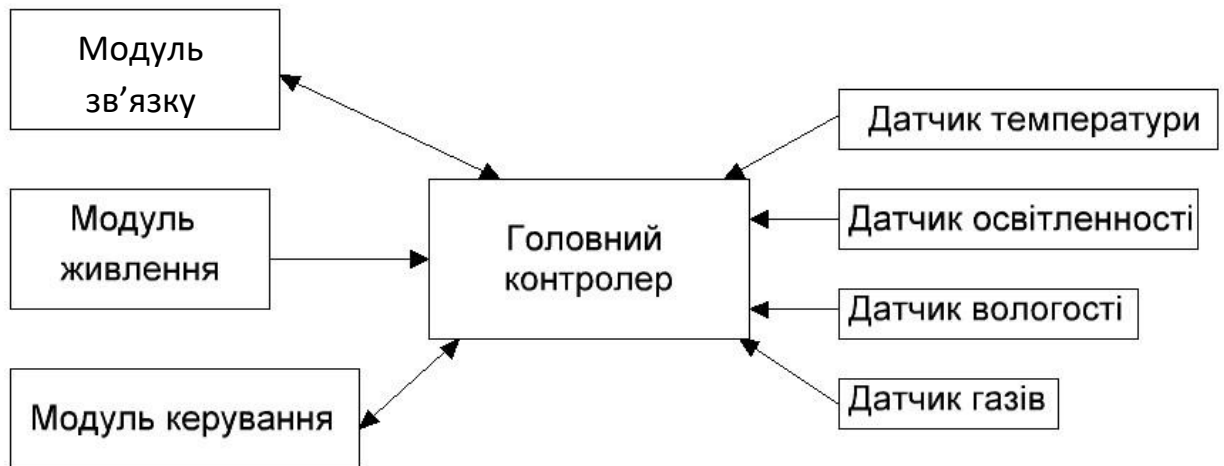


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи моніторингу

Система, що розробляється представляє собою пристрій, в яку будуть встановлені наступні частини та компоненти:

- модуль живлення (МЖ);
- модуль зв'язку Ethernet;
- модуль керування;
- набір необхідних датчиків (згідно вимог використання).

Кожен елемент є складовою частиною системи, на його основі основні властиві функціональні можливості та особливості конструкції в цілому.

Модуль зв'язку необхідний для зв'язку системи з мережею інтернет. У мережі буде відбуватись керування за допомогою веб-сторінки.

Модуль живлення необхідний для перетворення вхідної мережної напруги рівня 220 В у постійну напругу рівня 5 В для живлення усіх датчиків та елементів системи.

Модуль керування в системі що розроблюється буде мати роль допоміжного елемента. Основне керування відбувається за допомогою веб-інтерфейсу, але бувають випадки, коли доступу до мережі немає, тому потрібен модуль керування, який зможе надати можливість керування системою без доступності до веб-інтерфейсу.

Набір датчиків може відрізнятись в залежності від типу виробництва та необхідності. В даному випадку буде використано датчик температури, датчик вологості, датчик освітленості та датчик наявності шкідливих газів.

2.3 Підбір компонентів системи

Проаналізувавши пропозиції готових рішень, було вибрано в якості головного керуючого контролера мікроконтролер – Arduino nano (рис. 2.2).

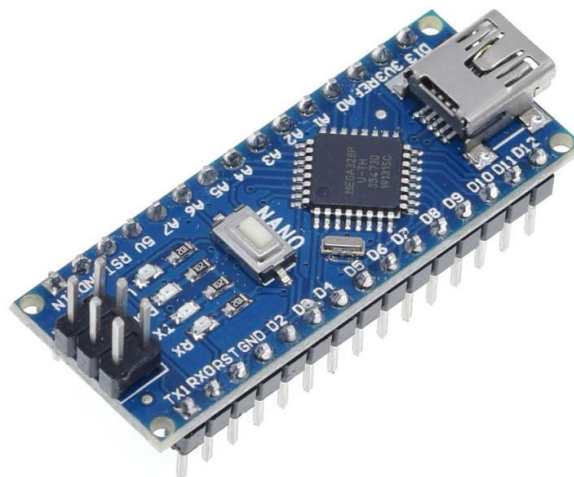


Рисунок 2.2 – МК Arduino nano [10]

Платформа Arduino nano – відкрита і компактна платформа з сімейства Arduino, побудована на мікроконтролері ATmega328. Великою перевагою даної моделі є те, що у порівнянні із іншими моделями, на цій платформі можливо демонтувати головний контролер ATmega328 після програмування та спроектувати пристрій без використання самої плати Arduino.

Платформа Arduino nano має контакти у вигляді гнізд для штирів, тому до неї легко під'єднати різноманітні модулі та пристрої.

Основні технічні характеристики Arduino nano представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики Arduino nano [10]

№	Параметр	Значення
1	Мікроконтролер	ATmega328P
2	Діапазон напруги живлення	7 В – 12 В
3	Кількість аналогових входів	6
4	Кількість цифрових входів/виходів	14 (6 із них ШІМ)
5	Постійний струм через вхід/вихід	40 мА
6	Flash-пам'ять	32 кБ
7	Розміри	68 мм x 53 мм
8	Вага	25 г

Для програмування використовується спрощена версія C++. Розробку ПЗ можна вести як з використанням безкоштовного середовища Arduino IDE, так і за допомогою довільного C/C++ інструментарію. Для програмування та передачі даних на ПК потрібен USB-кабель, а для автономної роботи можна використовувати блок живлення, батарейки чи акумулятор з напругою від 7 В до 12 В.

Для під'єднання МК до мережі інтернет обрано модуль розширення на базі мікросхеми ENC28J60 з вбудованим Ethernet портом (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Модуль розширення на мікросхемі ENC28J60 [11]

Основні технічні характеристики модуля ENC28J60 наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики модуля ENC28J60 [11]

№	Параметр	Значення
1	Мікросхема	ENC28J60
2	Напруга живлення	3,3 В
3	Робоча частота	25 МГц
4	Інтерфейс з'єднання з МК	SPI
5	Стандарт роз'єму	RJ45
6	Розміри	50 мм x 15 мм

Вибраний модуль розширення має декілька недоліків, саме:

- відсутність трансформаторної розв'язки Ethernet роз'єму та цифрової частини;
- високі вимоги до рівня напруги та потужності джерела живлення.

Відсутність розв'язки може мати ключову роль у виборі компоненту, згідно умов використання. Якщо кіберфізична система контролю буде використовуватись у приміщенні, а Ethernet кабель буде під'єднано до маршрутизатору або точки доступу в середині приміщення, то обраний модуль можливо використовувати. Однак, якщо система буде під'єднана до мережі кабелем що проходить ззовні приміщення, на електричних стовпах або в інших місцях де є атмосферний вплив, то такий модуль використовувати не можна, через відсутність трансформатора розв'язки.

Ще одним суттєвим недоліком такого модуля, є високі вимоги до джерела живлення. Мікросхема ENC28J60, на базі якою побудовано модуль, потребує напругу живлення 3,3 В зі струмом до 10 мА. Плата Arduino nano має вбудований перетворювач напруги, який понижує 5 В до 3,3 В. Однак провівши експериментальні дослідження було визначено, що в момент передачі інформації модуль ENC28J60 може споживати значно більший струм ніж номінальний, тому виникають просадки напруги при яких мікросхема модулю перестає працювати.

Через це необхідно підібрати компоненти та розробити окреме джерело живлення для модулю ENC28J60.

Кіберфізична система що розробляється буде мати обмежену загальну функціональність, через це було обрано наступні типи датчиків.

В якості датчику температури повітря обрано модуль на базі мікросхеми SHT20 (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Модуль датчика на мікросхемі SHT20 [12]

Модуль цифрового датчика температури SHT20 відкриває новий рівень в технології вимірювань. Датчик SHT20 відрізняється великою довговічністю і стабільністю результатів вимірювань, при відмінному співвідношенні ціни і якості. У функціонал датчика входить схема обробки і посилення сигналу, блок пам'яті калібрування, АЦП, енергозберігаюча схема живлення. Окрім вимірювання температури цей датчик має можливість вимірювати вологість повітря. Тому немає необхідності встановлювати окремий датчик вологості. Основні характеристики датчику наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики датчику SHT20 [12]

№	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання температури	Від -40 °C до +120 °C
2	Точність вимірювання температури	± 0,4 °C
3	Діапазон вимірювання вологості	0 – 100 %
4	Точність вимірювання вологості	± 5 %
5	Діапазон робочої напруги	від 2,1 В до 3,6 В
6	Інтерфейс зв'язку	I2C

Для вимірювання рівню освітленості було обрано цифровий датчик моделі GY-302 (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Датчик вимірювання освітленості GY-302 [13]

Обраний модуль датчика освітленості побудований на мікросхемі BH1750, він призначений для вимірювання фонового освітлення як і потрібно для системи контролю. Цей датчик має досить високу чутливість та інтерфейс зв'язку I2C. Спектр чутливості збігається із кривою чутливості людського зору, що найкраще підходить для кіберфізичних систем моніторингу. Основні технічні характеристики наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики датчику GY-302 [13]

№	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання	Від 0 до 65535 Лк
2	Точність вимірювання	1 Лк
3	Діапазон вимірювання вологості	0 – 100%
4	Діапазон робочої напруги	від 3 В до 5 В
5	Інтерфейс зв'язку	I2C

Для вимірювання наявності шкідливих газів обрано модуль датчика AGS02MA (рис. 2.6).

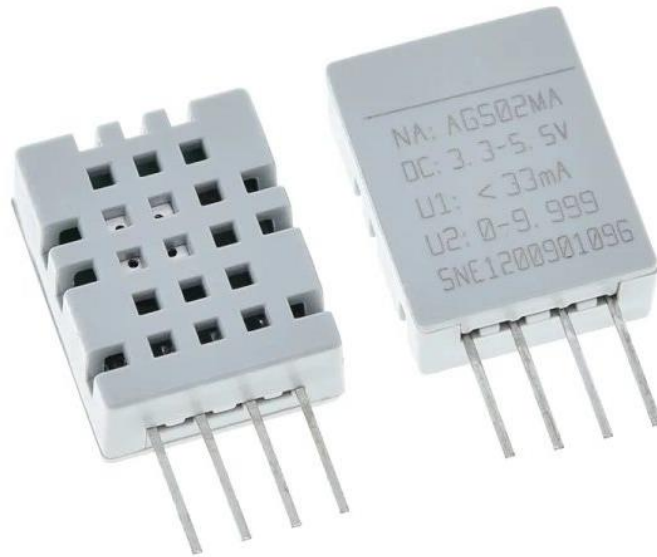


Рисунок 2.6 – Датчик якості повітря AGS02MA [14]

AGS02MA – високопродуктивний датчик TVOC, оснащений спеціалізованим чіпом ASIC, в якому використовується спеціальна технологія виявлення та аналізу газу. Датчик має гарну продуктивність, високу надійність, довготривалу стабільність, низьке енергоспоживання та високу чутливість. Кожен датчик повністю калібрується та тестується під час виробництва. AGS02MA розроблений для виявлення та моніторингу різних летких органічних газів, таких як етанол, аміак, сульфід, пари бензолу, дим. Його можна застосовувати в очисниках повітря, побутовій техніці, системах подачі свіжого повітря та іншому обладнанні. Основні характеристики наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні характеристики датчику AGS02MA [14]

№	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання	Від 0 до 999999 частин
2	Період вимірювання	2 с
3	Діапазон вимірювання вологості	0 – 100%
4	Діапазон робочої напруги	від 3,3 В до 5,5 В
5	Інтерфейс зв'язку	I2C
6	Час виходу на режим	120 с

2.4 Розробка джерела живлення модулів та мікроконтролера

Після того як усі компоненти було обрано необхідно розробити джерело живлення для окремих модулів та мікроконтролера. Головними критеріями розробки є забезпечення живлення усіх модулів та захист від перепадів напруги під час запуску виконавчих механізмів та роботи при підвищеному навантаженні. Для вирішення цієї задачі потрібно використовувати імпульсні перетворювачі напруги. В системі що розроблюється потрібно бути два рівня напруги, а саме 3,3 В, 5 В. Також необхідно брати до уваги той момент, що мережа де буде використовувано систему може бути різноманітна, а також може мати перебої з енергопостачанням. Виходячи з цього потрібно розробити джерело живлення, яке буде працювати при великому діапазоні вхідної напруги, а також буде мати можливість автономної роботи.

Проаналізувавши пропозиції виробників імпульсних перетворювачів напруги було обрано мікросхему ST1S14 (рис. 2.7). Обраний перетворювач має назву DC/DC перетворювач і досить розповсюджений у електронних пристроях.

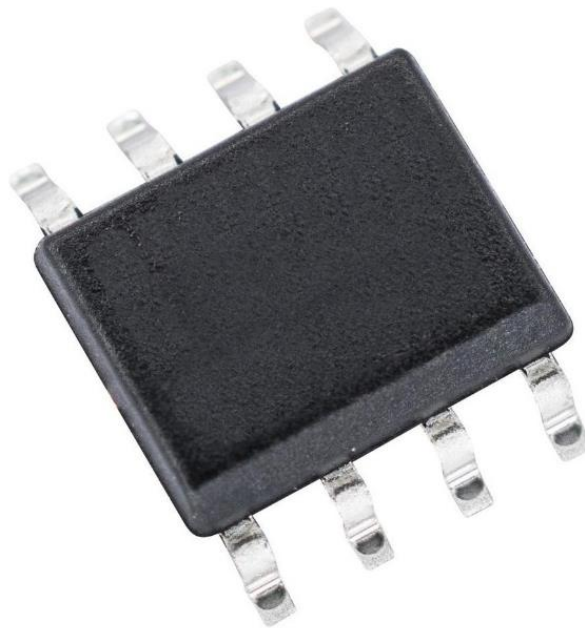


Рисунок 2.7 – DC/DC перетворювач ST1S14 [15]

Основні характеристики перетворювача наведені у таблиці 2.6 [15].

Таблиця 2.6 – Основні технічні характеристики DC/DC перетворювача

№	Параметр	Значення
1	Діапазон вхідної напруги	5,5 В – 48 В
2	Діапазон вихідної напруги	від 1,22 В
3	Максимальний вихідний струм	3 А
4	Робоча температура	від -40 °С до 125 °С
5	Кількість виходів	1

Після вибору основи перетворювача потрібно розробити схему електричну принципову згідно документації. На рис. 2.9 наведена схема електрична принципова модуля перетворювача напруги.

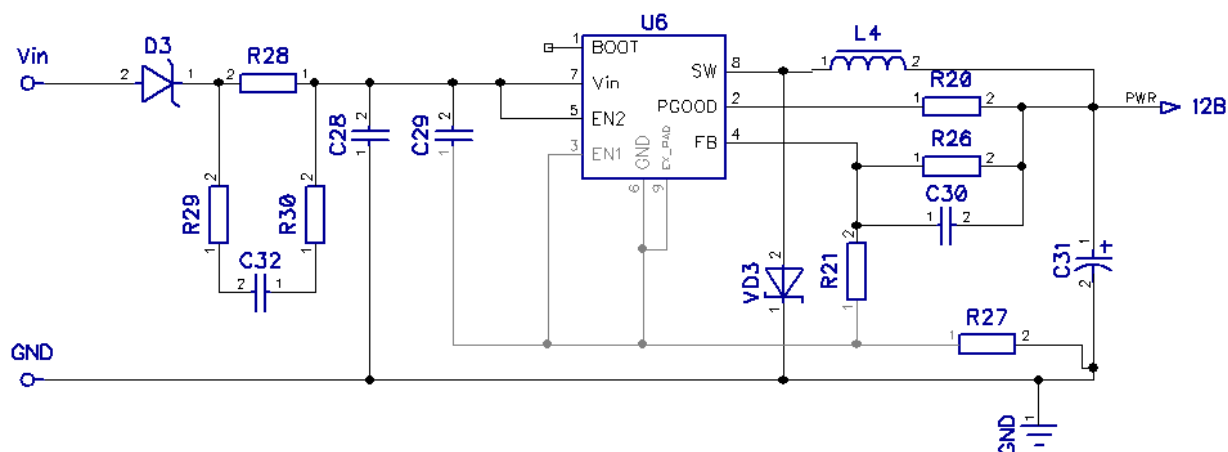


Рисунок 2.9 – Схема електрична принципова модуля перетворювача напруги

Таких моделей у готовому проекті буде два штуки на три різні напруги, а саме 3,3 В, 5 В. Головні відмінності будуть в номіналах деяких компонентів, через це вихідна напруга буде змінюватись.

2.5 Розробка схеми електричної принципової

Для злагодженої роботи системи потрібно розробити загальну схему електричну принципову (СЕП), та врахувати усі вимоги. Виходячи із параметрів датчиків СЕП буде мати дві лінії живлення кожна зі своїм перетворювачем напруги.

Для проектування схеми електричної принципової системи контролю мікроклімату було обрано програмне середовище Fritzing (рис. 2.10). Це програма з відкритим кодом, розроблена для того, щоб полегшити процес прототипування та розробки проектів на базах популярних платформ таких як: Arduino, Raspberry Pi, ESP32 та багатьох інших. Для зручного відображення створені мініатюрні зображення реальних компонентів їх можливістю підключення дротів до їх виводів. Усі ці компоненти знаходяться у спеціалізованих бібліотеках. Базова версія програма має досить малий об'єм моделей у бібліотеці, тому необхідно завантажувати розширені з інтернет-ресурсів.

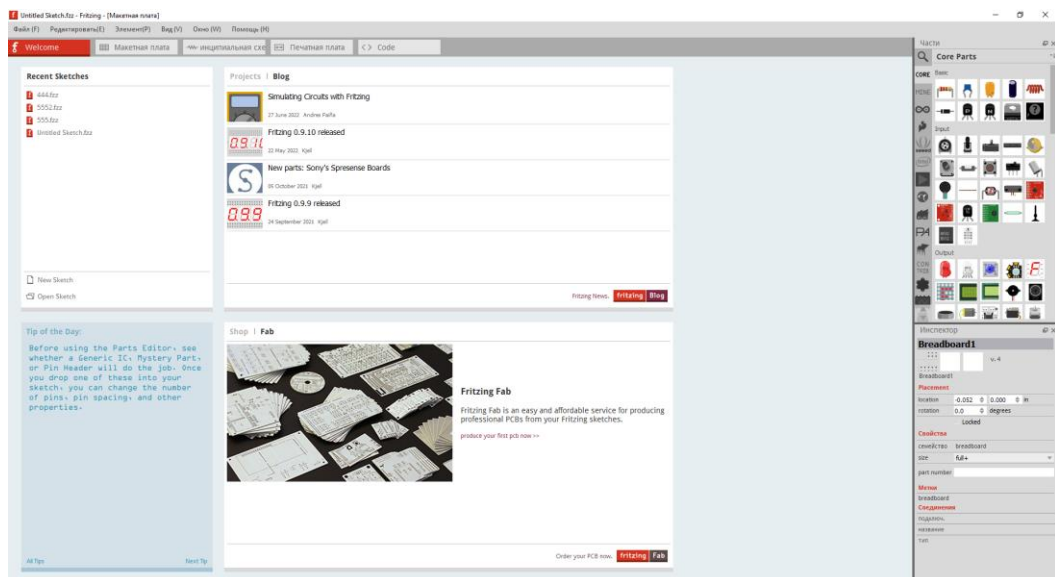


Рисунок 2.10 – Головне вікно Fritzing

Обравши усі необхідні компоненти, потрібно розробити схему електричну принципову макету системи клімат контролю. На рис. 2.11 наведено СЕП кіберфізичної системи моніторингу.

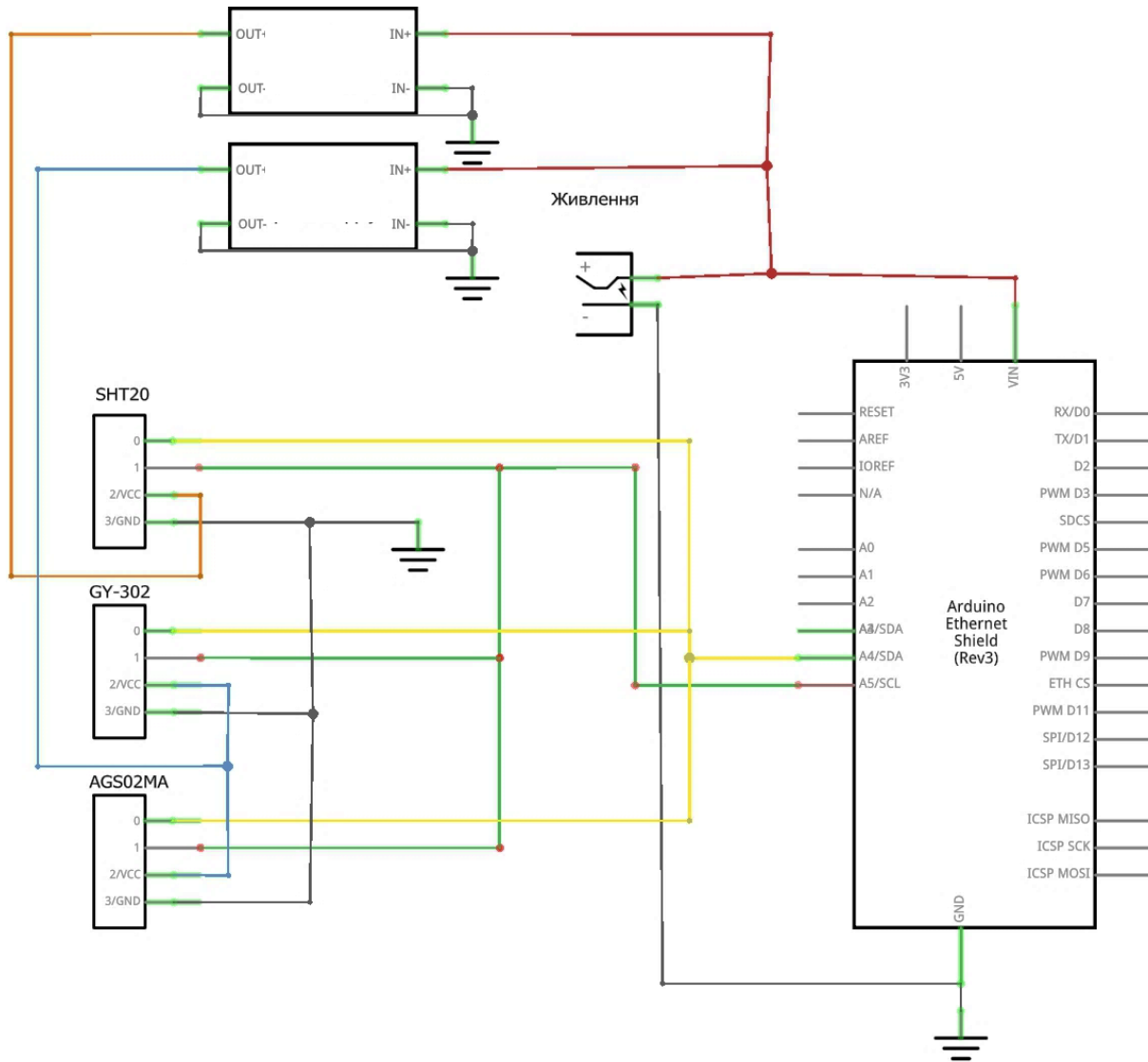


Рисунок 2.11 – Схема електрична принципова

Згідно розробленої схеми можна зробити висновок, що система вийде досить складною як з електричної точки зору так і з програмної.

На схемі два джерела живлення які під'єднані до датчиків через те, що напруга що споживають датчики відрізняється.

На розробленій схемі не наведено виконавчі елементи системи через те, що їх може бути велика різноманітність. Одним із прикладів це може бути модуль електромагнітного реле яке своїми контактами буде комутувати навантаження великої потужності, такі як нагрівачі, вентилятори та охолоджувачі. Також можливе під'єднання сервоприводів або крокових двигунів для керування заслінками подачі повітря або води до системи. Однак при використанні таких потужних механізмів як сервоприводи та крокові двигуни потрібно ретельно

проробити питання живлення системи, аби уникнути падіння напруги під час роботи механізмів.

Через те, що модулі живлення мають досить велику кількість малих компонентів, «навісний» монтаж буде дуже складним. Через це необхідно розробити друковану плату для модулів живлення.

2.6 Вибір середовища проектування друкованої плати

Для розробки та трасування друкованої плати модулів живлення використано пакет програмного забезпечення Diptrace.

DipTrace – багатофункціональна система автоматичного проектування з розробки електронних друкованих плат та схемотехнічної документації для проектів будь-якої складності, від ідеї до готового пристрою.

Дана програма дозволяє автоматично проектує друковану і монтажну плату виробу за її електричною схемою, має великий вибір елементів близько 40 тисяч, можливість редагування елементів і корпусів; зручність і простота при її використанні значно економить час і кошти.

Програмний засіб включає в себе чотири програми:

- PCB Layout – засіб проектування плат зі зручним інтерактивним і автоматичним трасуванням;
- Schematic – програма створення принципівих схем з подальшою можливістю переведення їх в плати;
- ComEdit – редактор корпусів для друкованої плати;
- SchemEdit – редактор компонентів. Проектування символів схемотехніки і зв'язку їх з корпусами.

Робота супроводжується підсвічуванням редагованих об'єктів і пов'язаних з ними (в залежності від ситуації) для поліпшення наочного сприйняття плати або принципової схеми. Редагування одного об'єкта веде за собою відповідні зміни пов'язаних з ним: система не допускає висячих в повітрі зв'язків або мереж, оскільки при побудові відразу створюється логічна структура принципової схеми

або плати, змінювати яку можна як в наочному режимі (малювання), так і вказуючи зв'язку в табличному вигляді.

Головною відмінністю цього ПЗ є простота та легкість у використанні, а також моделювання на рівні з професіональним ПЗ для розробки електроніки. Трасування друкованої плати виконано у розширені DipTrace PCB Layout. В результаті розробки отримано друковану плату з змішаним монтажем, а саме SMD.

2.7 Визначення масогабаритних параметрів компонування плати

Так як усі модулі будуть заводського виконання то проводити розрахунки для них немає сенсу, адже змінити трасування неможливо. А для модулів живлення що розроблюються вихідними даними будуть:

- схема електрична принципова;
- умови експлуатації;
- геометричні розміри друкованої плати.

Усі вхідні дані елементів занесемо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Установлювальні характеристики компонентів модуля живлення

Види елементів	Кількість елементів даного типу	Установлювальна площа елемента, мм ²	Установлювальна площа всіх елементів, мм ²	Маса одного елемента, г	Маса всіх елементів, г
Конденсатори C1-C4 (SMD)	4	15	60	2	8
Діоди VD1-VD2	2	24,5	49	10	20
Індуктивність L1	1	90	90	15	15
Резистори R2, R3	2	15	30	2	4
Резистор R1	1	22,2	22,2	5	5
Мікросхема U1	1	37	37	5	5
Конденсатор C5	1	26,6	26,6	8	8
Загалом	12	–	314,8	–	65

Розміщення усіх елементів виконано спираючись на те, що майже всі компоненти виконані в SMD корпусах типорозміру 0805, також розміщення велося таким чином, щоб розділити вхідний та вихідний контур. Плата розроблена двостороння, задля кращого відводу тепла від мікросхеми зроблено ряд перехідних отворів під нею.

Елементи розміщуються із застосуванням системи автоматичного проектування таким чином, щоб забезпечити мінімальну довжину струмопровідних доріжок.

Площу плати S_n ми можемо визначити за формулою

$$S_n = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{K_n}, \quad (2.1)$$

де S_i – установлювальна площа елементу;

K_n – коефіцієнт заповнення площі плати;

n – кількість елементів і-го типу.

Коефіцієнт заповнення плати вибирається з таблиці 2.8, для нашого випадку він буде дорівнює 0,6 так як цей коефіцієнт вибирається з умов ТЗ, і в залежності від складу елементної бази, проаналізувавши яку, вибираємо дане значення. Вибір ще ґрунтується на мінімізації витраченого місця в модулі.

Таблиця 2.8 – Значення коефіцієнта заповнення площини друкованої плати

Характеристика елементної бази	3-го покоління	4-го покоління	5-го покоління	6-го покоління
Коефіцієнт заповнення	0,4...0,6	0,5...0,75	0,6...0,85	0,65...0,9

Підставимо відомі значення та обчислимо площину необхідну для модуля друкованої плати:

$$S_n = \frac{314,8}{0,6} = 524 \text{ мм}^2.$$

За результатом розрахунку формули (2.1) вибираємо розміри сторін плати, виходячи з рекомендацій нормативних документів, згідно з якими відношення розмірів сторін необхідне бути не більше 3:1, величина кожної сторони має бути кратною:

- 2,5 мм при довжині сторони до 100 мм;
- 5,0 мм при довжині сторони до 350 мм;
- 10 мм при довжині сторони понад 350 мм.

Товщину друкованого модуля вибираємо 1,5 мм. Вибір товщини ґрунтується на мінімізації та зміцнення друкованого модуля.

Розроблюваний друкований модуль буде мати наступні розміри: 60 мм × 22 мм × 1,5 мм.

В якості матеріалу для друкованого модуля було обрано склотекстоліт марки СФ-2-35Г-1,5.

Наступним кроком необхідно визначити вагу друкованої плати, за наступною формулою:

$$m_n = a \cdot b \cdot \Delta \cdot p, \quad (2.2)$$

де a, b, Δ – довжина, ширина та товщина плати відповідно, м;

p – густина матеріалу плати (для склотекстоліту $p = 1,8 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$).

Підставимо значення:

$$m_n = 0,06 \cdot 0,022 \cdot 0,0015 \cdot 1,8 \cdot 10^3 = 0,003564 \text{ кг} = 3,5 \text{ г}.$$

Знаходимо масу модуля за формулою:

$$M_M = \sum_{i=1}^n m_{ie} + m_n, \quad (2.3)$$

де m_{ie} – загальна вага елементів встановлених на модулі;

m_n – вага друкованої плати.

Підставляємо дані у формулу (2.3):

$$M_M = 65 + 3,5 = 68,5 \text{ г.}$$

Таким чином було визначено масогабаритні розміри друкованого модуля.

Установлювальний об'єм друкованого модуля обчислюється за формулою:

$$V_{ni} = S_{ni} \cdot (h_{0i} + h_i), \quad (2.4)$$

де S_{ni} – площа друкованої плати, мм^2 ;

h_i – найбільша висота елемента, встановленого на платі, мм ;

h_{0i} – найбільший розмір обрізки елемента, встановленого на платі, мм .

Найбільшим елементом із-за своїх конструктивних особливостей є конденсатор С5.

Підставив данні отримаємо:

$$V_{ni} = 524 \cdot (0 + 18) = 9432 \text{ мм}^3.$$

Після отриманих розрахунків маємо характеристики розроблювального модуля, які представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Характеристики розроблювального модуля

Найменування вузла	Габаритні розміри, мм	Установлювальний об'єм, мм ³	Маса, г
Друкований модуль	60 × 22 × 1,5	9432	68,5

У результаті проектування та розрахунків було розроблену друковану плату, яка наведена на рис. 2.12.

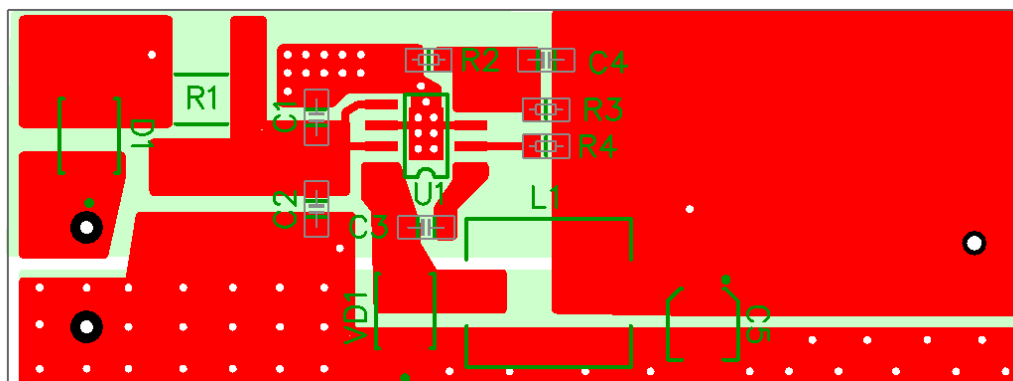


Рисунок 2.12 – Трасування друкованої плати джерела живлення

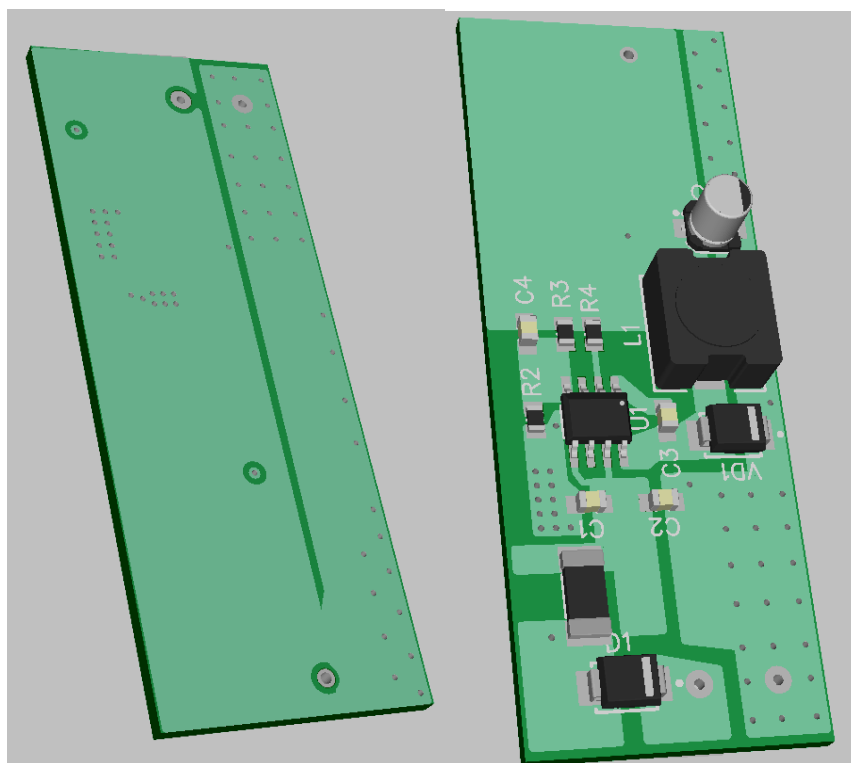


Рисунок 2.13 – 3D вигляд друкованого модулю

Друкована плата модулю виконана із склотекстоліту з двостороннім шаром провідника (міді).

Плата виготовляється з фольгованого склотекстоліту марки СФ-2-35Г-1. Даний матеріал має наступні характеристики:

- питомий поверхневий опір;
- міцність відділення смужки 3 мм фольги від діелектричної основи $\sigma = 4,01 \text{ Н}$;
- діапазон робочих температур $t = -60 \text{ }^\circ\text{C} - 120 \text{ }^\circ\text{C}$;
- коефіцієнт теплопровідності $0,25 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$;
- температурний коефіцієнт лінійного розширення $1/\text{К}$.

Для виготовлення друкованої плати використовується хімічний метод за субтрактивною технологією. Сутність цього методу полягає у виборчому травленні незахищених ділянок фольги.

Перевагою цього методу є доступність механізації і автоматизації виробництва і високу якість отримуваної друкованої плати [24]. Параметри провідного рисунку друкованої плати:

- ширина провідника – $0,45 \text{ мм}$;
- відстань між провідниками – $0,2 \text{ мм}$.

З огляду на середню щільність рисунка друкована плата виготовляється за 2 класом точності і характеризується наступними параметрами рисунка:

- мінімальна ширина провідника $0,45 \text{ мм}$;
- мінімальна відстань між провідниками $0,2 \text{ мм}$.

Внаслідок середньої щільності малюнка друкованої плати і виготовлення її по 2 класу точності, крок координатної сітки вибираємо рівним $2,5 \text{ мм}$.

В якості корпусу для кіберфізичної системи контролю може бути будь-який електротехнічний бокс. На рис. 2.14 наведено приклад боксу для корпусу системи [16].



Рисунок 2.14 – Електротехнічний бокс [16]

У такому боксі можна розмістити модулі живлення та саму плату керування Arduino з Ethernet-модулем. А основні датчики встановити там де необхідний контроль. Це дозволить розширити площу контролю системи та зменшить її габаритні розміри.

2.8 Висновки до розділу 2

У другому розділі проведено вибір електронних компонентів та розраховано вартість компонентної частини. Проведено розробку схеми електричної принципової всієї системи, а також модулів живлення.

Розроблено друковану плату модулів живлення та розраховано основні параметри.

Підібрано корпус для основних елементів системи, з урахуванням ергономіки та зручності використання готової системи.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ДОСЛІДНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка алгоритму роботи кіберфізичної системи контролю

Перед початком розробки програми керування необхідно розробити алгоритм роботи усієї системи.

У даній системі буде всього два алгоритми, а саме автоматичний та за заданими показниками з веб-сторінки.

Перший алгоритм описує роботу системи в автоматичному режимі, а саме завантаження мікроконтролера, ініціалізація датчиків, отримання поточної інформації, керування виконавчими приладами. Мікроконтролер порівнює зчитані показники з датчиків з запрограмованими, та виконує певну дію.

На рис. 3.1 наведена схема алгоритму ініціалізації системи та вибору роботи відповідно до наявності з'єднання з мережею інтернет.

Цей алгоритм має декілька розгалужень, які дозволяє виконувати різні функції відповідно до стану та інформації з датчиків.

Другий алгоритм описує режим роботи системи з управління за допомогою веб-інтерфейсу, а саме отримання даних с датчиків, порівняння інформації із запрограмованими уставками, відображення реальної інформації для користувача та керування виконавчими пристроями вручну або за алгоритмом. Цей алгоритм циклічний та бере за основу перший алгоритм.

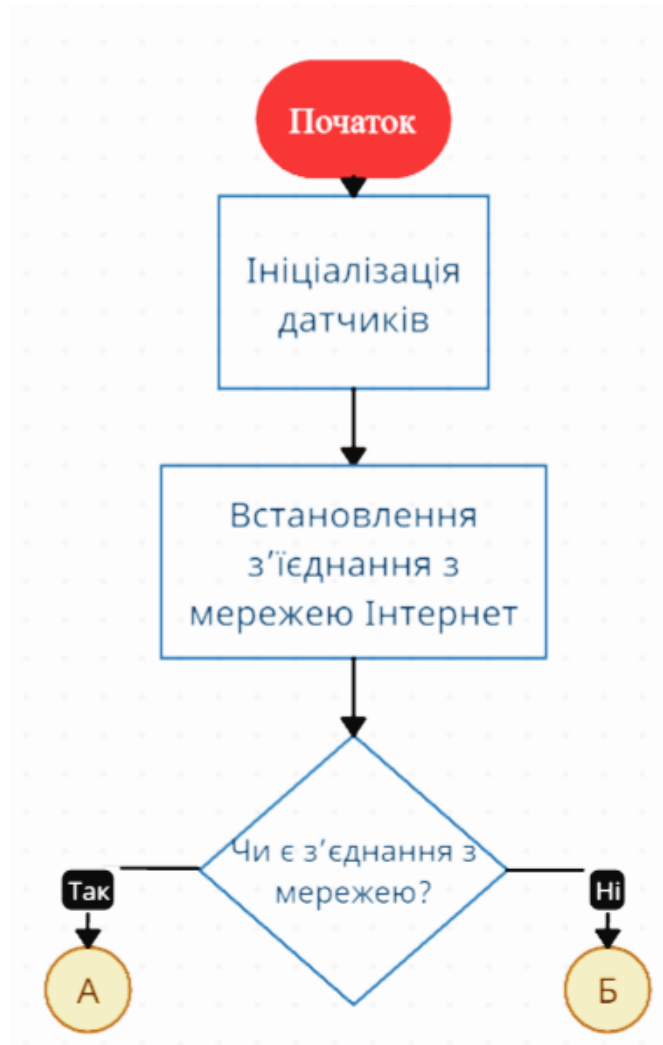


Рисунок 3.1 – Головний алгоритм роботи системи

На рис. 3.2 наведено алгоритм роботи системи з використанням веб-інтерфейсу.

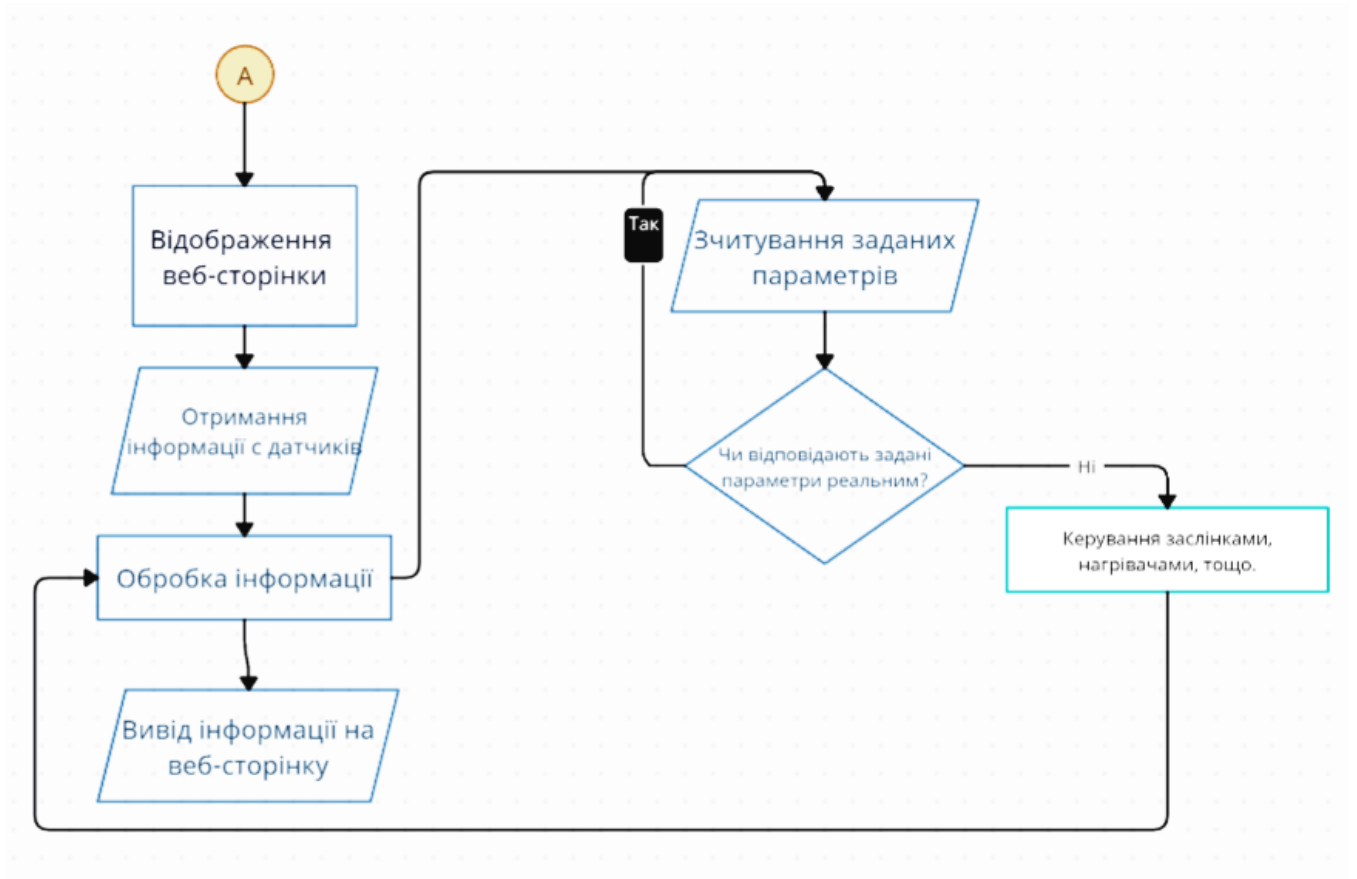


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи системи з використанням веб-інтерфейсу

На рис. 3.3 наведено алгоритм роботи системи при відсутності з'єднання з мережею інтернет або автономною роботою.

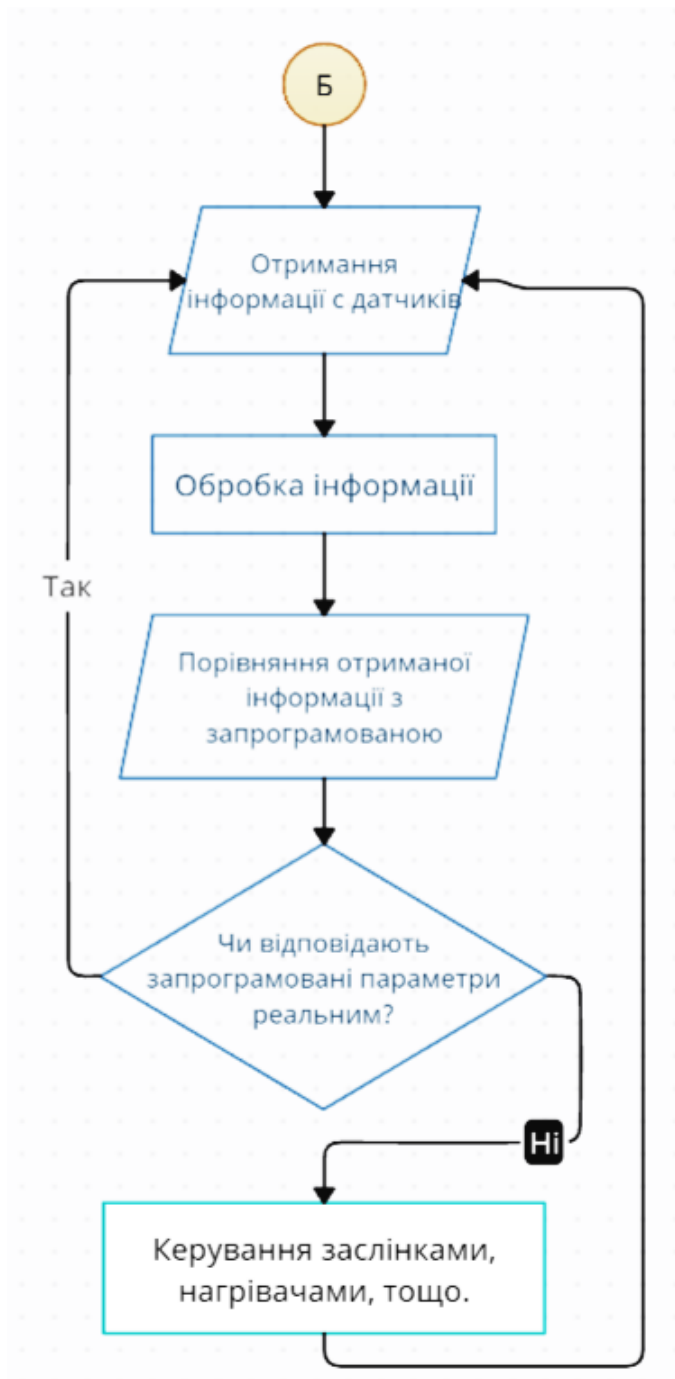


Рисунок 3.3 – Алгоритм автономної роботи системи

Загальний принцип роботи кіберфізичної системи контролю що розроблюється полягає в тому, що описані дві ситуації керування, а саме коли є підключення до мережі інтернет і коли його немає. Описання роботи системи буде описано у розділі 3.3.

3.2 Розробка програмного коду керування системою

Мікроконтролер Arduino nano є частиною сімейства плат Arduino, тому для спрощення задачі написання програми керування було обрано середовище розробки Arduino IDE (рис. 3.4). Середовище розробки Arduino складається з вбудованого текстового редактора програмного коду, області повідомлень, вікна виведення потокової (консолі), панелі інструментів з кнопками часто використовуваних команд і декількох меню.

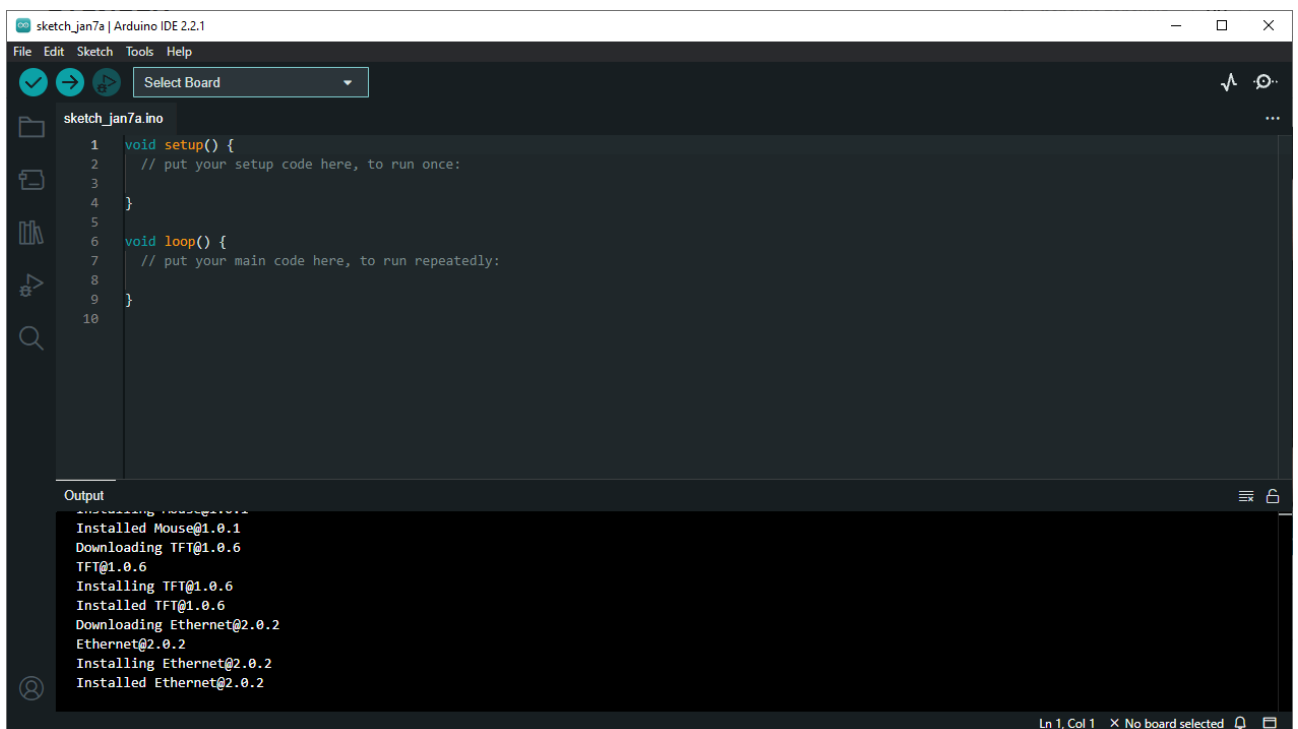


Рисунок 3.4 – Головне вікно середовища програмування Arduino IDE

Програма, яка є написана в середовищі програмування Arduino IDE, називається скетчем. Скетч пишеться в текстовому редакторі, що має інструменти стандартні інструменти навігації по тексту. Мова програмування дещо нагадує мову C++, але зі своїми додатковими функціями та спеціальними виразами. Детальніше з мовою програмування для плат сімейства Arduino можна дізнатись на офіційному сайті компанії.

Кнопки панелі інструментів дозволяють перевірити і записати програму, створити, відкрити або зберегти скетч, відкрити моніторинг послідовної шини:

- Verify/Compile – перевірка програмного коду на помилки, проведення компіляції;
- Stop – зупинка моніторингу послідовної шини;
- Open – відкриття меню доступу до всіх скетчей в записнику;
- Upload to I/O Board – компіляція програмного коду, завантаження його в пристрій МК.

Середовище програмування дозволяє працювати з декількома файлами скетчів (кожен відкривається в окремій вкладці). Файли коду можуть бути стандартними Arduino (без розширення), файлами C (розширення *.c), файлами c++ (*.cpp) або головними файлами (.h).

Для того, щоб завантажити написаний програмний код до мікроконтролера необхідно під'єднати плату до комп'ютера за допомогою USB-шнура, вибрати необхідну модель та конфігурацію плати (рис. 3.5), обрати активний СОМ-порт та натиснути кнопку завантаження.

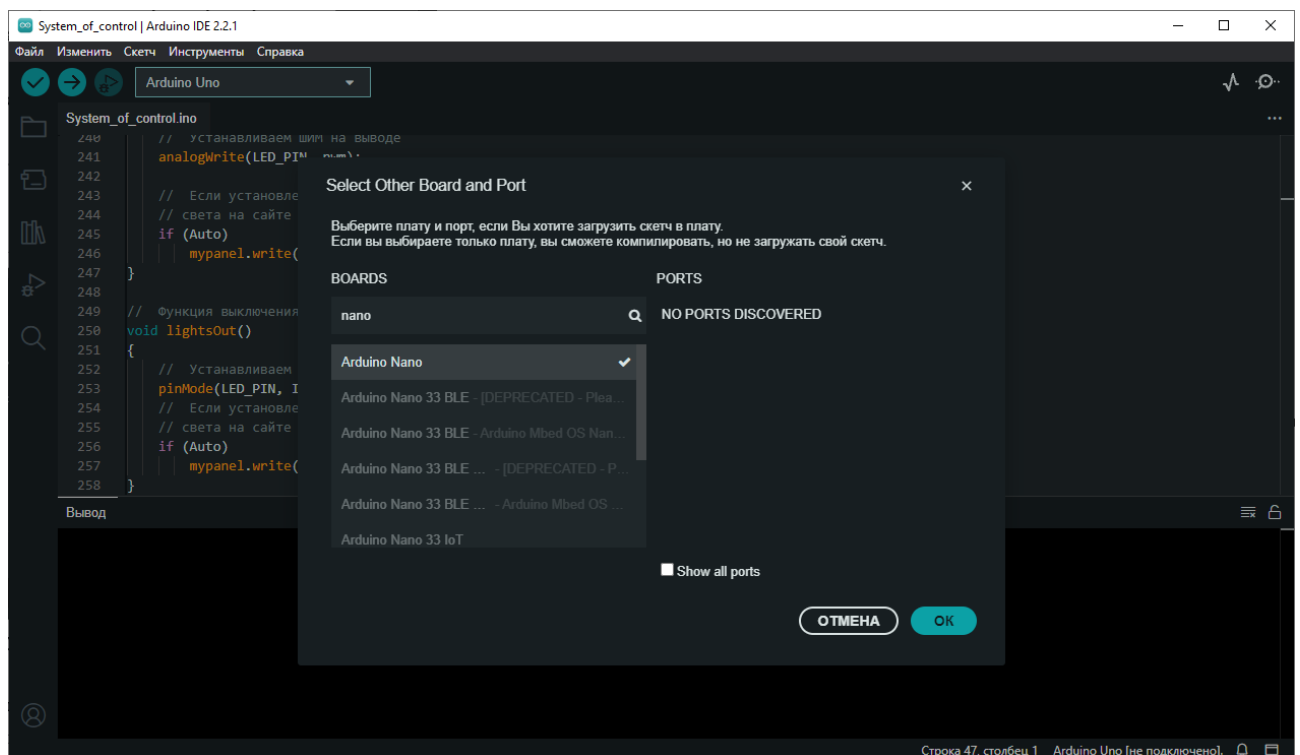


Рисунок 3.5 – Вибір плати та порту для програмування

Сучасні платформи Arduino перезавантажуються автоматично після завантаження. При завантаженні скетчу використовується завантажувач

(Bootloader) Arduino, невелика програма, що завантажується в мікроконтролер на платі. Вона дозволяє завантажувати програмний код без використання додаткових апаратних засобів. Саме завдяки цьому завантажувачу мова програмування Arduino відрізняється від мови C++ та має більш спрощений вигляд. Завантажувач (Bootloader) активний протягом декількох секунд при перезавантаженні платформи і при завантаженні будь-якого з скетчів в мікроконтролер. Робота завантажувача (Bootloader) розпізнається по миготінню вбудованого світлодіоду. Через використання завантажувача плати Arduino мають один суттєвий недолік – основна програма запускається після завантажувача, що робить використання Arduino не дуже популярним у промислових проектах.

Однак існує спосіб використання Arduino без завантажувача. Одним із доступних способів це написання програми на чистому C++ та завантаження її напряму в контролер за допомогою стороннього програматора, наприклад AVR ISP. Цей програматор дозволяє використовувати мікроконтролер Arduino без вбудованого завантажувача, а також з програмою написаною на мові C++.

Окрім цього способу є ще один. Для цього також потрібно мати програматор. В середовищі ArduinoIDE можна отримати машинний код написаної програми, в такому випадку середовище буде відігравати роль компілятора та перетворювати зрозумілий людині програмний код на послідовність нулів та одиниць. Такий спосіб дозволяє використовувати програму написану на мові Arduino без завантажувача.

Після написання коду необхідно провести його перевірку, а потім натиснути кнопку «Експорт бінарного файлу» (рис. 3.6) і в результаті отримаємо два файли один із них містить завантажувач, а другий – «чистий» машинний код.

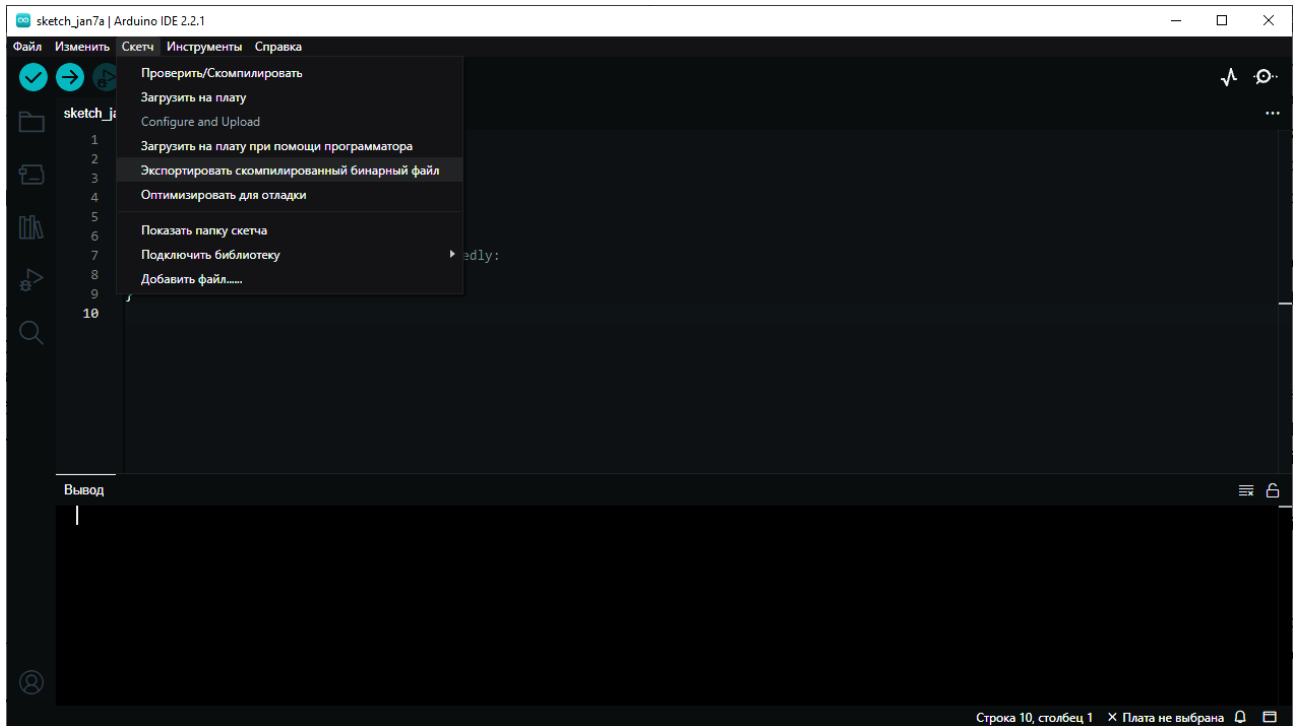


Рисунок 3.6 – Контекстне меню програми

Спроектувавши алгоритм роботи кіберфізичної системи маємо уявлення про роботу усього пристрою. Так як було розроблено три алгоритми, можна зробити висновок, що програма буде складатися як мінімум із трьох частин, але в нашому випадку частин буде значно більше, через те що потрібно правильно описати процес регулювання температури, вологості та освітленості, а також зробити гарний зовнішній вигляд веб-інтерфейсу.

На початку програми необхідно підключити спеціальні бібліотеки для злагодженої роботи окремих компонентів та протоколів.

```
#include <iocontrol.h>
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <iarduino_I2C_DSL.h>
#include <iarduino_I2C_SHT.h>
```

У цих бібліотеках описані основні методи роботи та обміну даними з датчиками та Ethernet модулем.

Наступним кроком за допомогою директиви `#define` створюємо змінні яким будуть присвоєні вихідні піни плати Arduino.

```
#define FAN_PIN 2
```

```
#define LED_PIN 3
```

В даному випадку це два піна які можуть видавати цифровий сигнал. У наступних модифікаціях та залежно від використання системи ці піни може бути змінено або добавлено нові.

Наступним кроком необхідно створити два об'єкти для датчиків, щоб отримані дані мали ідентифікатор.

```
iarduino_I2C_DSL lumSensor;
iarduino_I2C_SHT humSensor;
iarduino_I2C_THT tempSensor;
```

Наступним кроком необхідно реалізувати з'єднання системи з мережею. Необхідно створити об'єкт а також задати статичну IP-адресу і адресу DNS-серверу, а також MAC-адресу.

```
iocontrol mypanel(myPanelName, client);
IPAddress ip(192, 168, 1, 177);
IPAddress myDns(192, 168, 1, 1);
byte mac[] = {0xFE, 0xED, 0xDE, 0xAD, 0xFA, 0xCC};
```

Наступним кроком можна реалізовувати алгоритми роботи системи та критерії контролю.

3.3 Описання роботи системи

Після подачі живлення мікроконтролер запускається та проводить ініціалізацію датчиків та намагається встановити з'єднання з мережею інтернет. Після початку встановлення з'єднання починається відлік часу та очікування відповіді від серверу. Якщо відповіді не було, то починається друга спроба встановити з'єднання. Таких спроб мікроконтролер робить чотири, після чого переходить у автономний режим, якщо з'єднання не вдалось встановити. Для того, аби заново почати спроби встановлювати з'єднання потрібно перезапустити мікроконтролер будь-яким чином: зняти та подати живлення або кнопкою сбросу на платі Arduino. Якщо після мікроконтролеру вдається

встановити з'єднання з мережею інтернет. То на веб-сторінці буде надпис «під'єднано» і система перейде у ручний режим.

Автономний режим системи включає в себе:

- контроль температури;
- контроль освітленості;
- контроль вологості.

В цілому у цьому режимі система контролює усі датчики. Інформація, яка отримана, фільтрується та порівнюється із заданою. В якості заданої інформації використано параметри температури, вологості та освітлення у нормальних умовах. За допомогою спеціальних регуляторних функцій відбувається отримання результату порівняння двох величин: заданої та отриманої. Спеціальні функції використані для запровадження та урахування похибок вимірювань, щоб система плавно регулювала параметри. Якщо в результаті порівняння задане значення значно більше ніж отримане то виконується запрограмована функція і навпаки. Такі самі алгоритми і для усіх інших датчиків.

Ручний режим роботи системи включає в себе такий самий контроль усіх параметрів, але задані значення задає користувач через веб-сторінку. Таким чином можна створити комфортне середовище у приміщенні де використовується система. Окрім задання параметрів користувачу доступне ручне управління усіма виконавчими механізмами системи. Така функція буде корисною коли необхідно швидко провітрити приміщення або підняти температуру.

Одним із недоліків такого керування є затримка в передачі інформації. Це відбувається, в першу чергу, через швидкість інтернет з'єднання, а також швидкість роботи апаратної частини системи. Задля усунення таких проблем можна використовувати модуль ESP-WROOM-32. Такий модуль спеціально розроблений під роботу з веб-сторінками та інтернетом речей, однак маже велику вартість у порівнянні з мікроконтролером Arduino nano.

3.4 Налаштування кіберфізичної системи контролю

Після того, як було проведено розробку програмного забезпечення необхідно зробити калібрування датчика температури, а також датчику вологості.

Обраний тип датчику температури та вологості має заводське калібрування, але через низьку якість збірки досить часто виходить так що інформація про температуру може бути не вірною. Для того щоб перевірити правильність вимірюваних даних необхідно зібрати наступний макет рис. 3.7.

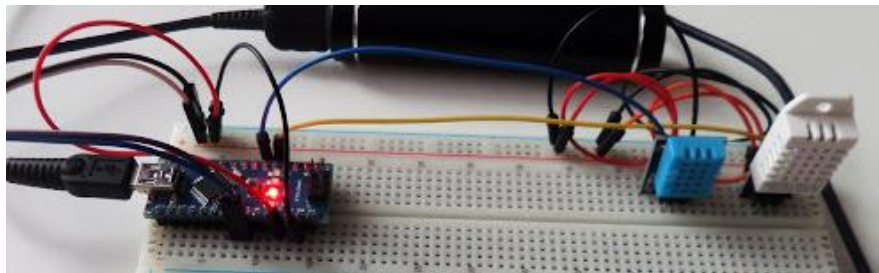


Рисунок 3.7 – Макет для тестування датчику вологості і температури

На рисунку два датчики, це дуже схожі за конструкцією датчики, але мають різні вимірювальні елементи у своїй будові. Ці датчики конструктивно дещо відрізняються від обраних, але мікросхема та елемент контролю в них однаковий. Для перевірки та калібрування було написано простий програмний код який наведено нижче.

```
#include "DHT.h"
#define DHT1PIN 2
#define DHT2PIN 4
#define DHT1TYPE DHT11
#define DHT2TYPE DHT22
DHT1 dht(DHT1PIN, DHT1TYPE);
DHT2 dht(DHT2PIN, DHT2TYPE);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DHTxx test!");
```

```

dht.begin();}

void loop() {
  delay(2000);

  float h = dht.readHumidity();

  float t = dht.readTemperature();

  float f = dht.readTemperature(true);

  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    return;}

  Serial.print("Humidity: ");

  Serial.print(h);

  Serial.print(" %\t");

  Serial.print("Temperature: ");

  Serial.print(t);

  Serial.print(" *C ");

  Serial.print(f);

  Serial.print(" *F\t");}

```

Цей програмний код дозволяє отримувати інформацію з датчиків та виводити її у монітор порту. На рис. 3.8 наведено результат роботи програмного коду та отримані дані.

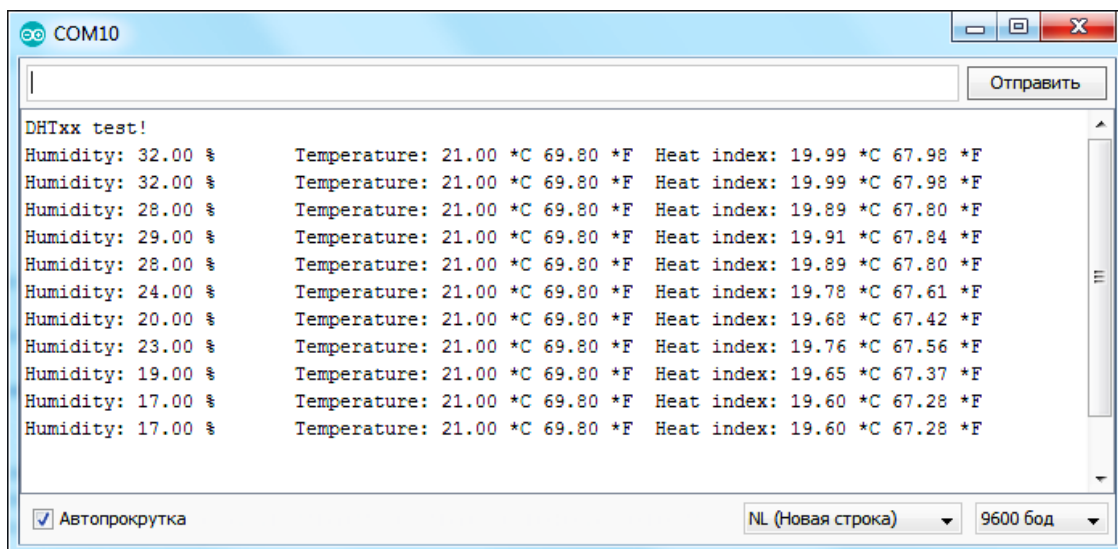


Рисунок 3.8 – Вікно порту

Такий спосіб дозволяє отримувати інформацію у реальному часі, але зчитування її не дуже зручне. Додаємо дисплей для зручного виводу інформації. На рис. 3.9 наведено результат роботи.

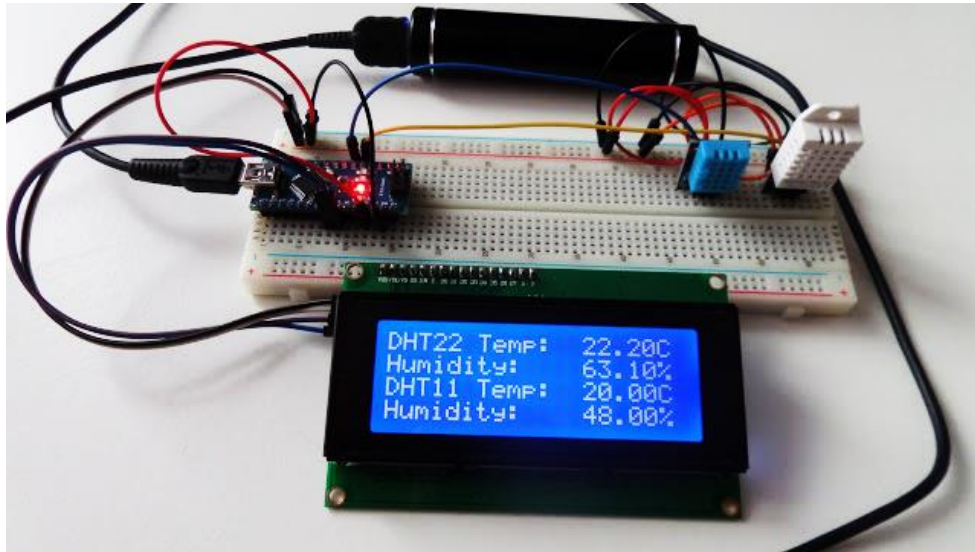


Рисунок 3.9 – Результат роботи стенда тестування датчиків

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що температура та вологість відрізняються у обох датчиків. Порівнявши із портативним гігрометром стало зрозуміло, що більш правильним буде датчик DHT 22, але його данні мають деяку не точність. Через це необхідно враховувати це при остаточному програмуванні системи, необхідно додати коригувальний коефіцієнт до значень, які надходять із датчика[17].

Під час проведення експериментів із датчиком температури також було проведення налаштування коефіцієнтів ПІД-регулятора, а саме коефіцієнтів P, I та D. Кожен з коефіцієнтів має своє походження:

– P-коефіцієнт, це пропорційна складова регулятора. Коефіцієнт P відіграє роль посилення помилки та налаштовується вручну. Але в той же час, якщо система дійшла заданої величини, помилка стане рівною нулю, і керуючий сигнал теж. Іншими словами, регулятор ніколи не зможе привести до заданого значення, завжди буде якась помилка. P складова є основною в ПІД регуляторі і має найбільшу важливість, регулятор може непогано працювати тільки на ній одній;

– І-коефіцієнт, це інтегральна складова регулятора. В цій складовій накопичується помилка, що дозволяє регулятору з часом повністю її усунути, тобто привести систему до заданого значення з максимальною точністю. І-коефіцієнт виправляє минулі помилки, що накопичилися;

– D-коефіцієнт, це диференціальна складова регулятора. Фактично D складова реагує зміну сигналу з датчика, чим сильніше відбувається це зміна, тим більше значення додається до загальної сумі. Іншими словами, D-коефіцієнт дозволяє компенсувати різкі зміни в системі і при правильному налаштуванні запобігти сильному перерегулюванню та зменшити розгойдування.

На рис. 3.10 наведено графік температури при не налаштованому регуляторі. В якості експерименту було взято джерело гарячого повітря та заслінку з сервопривідом.

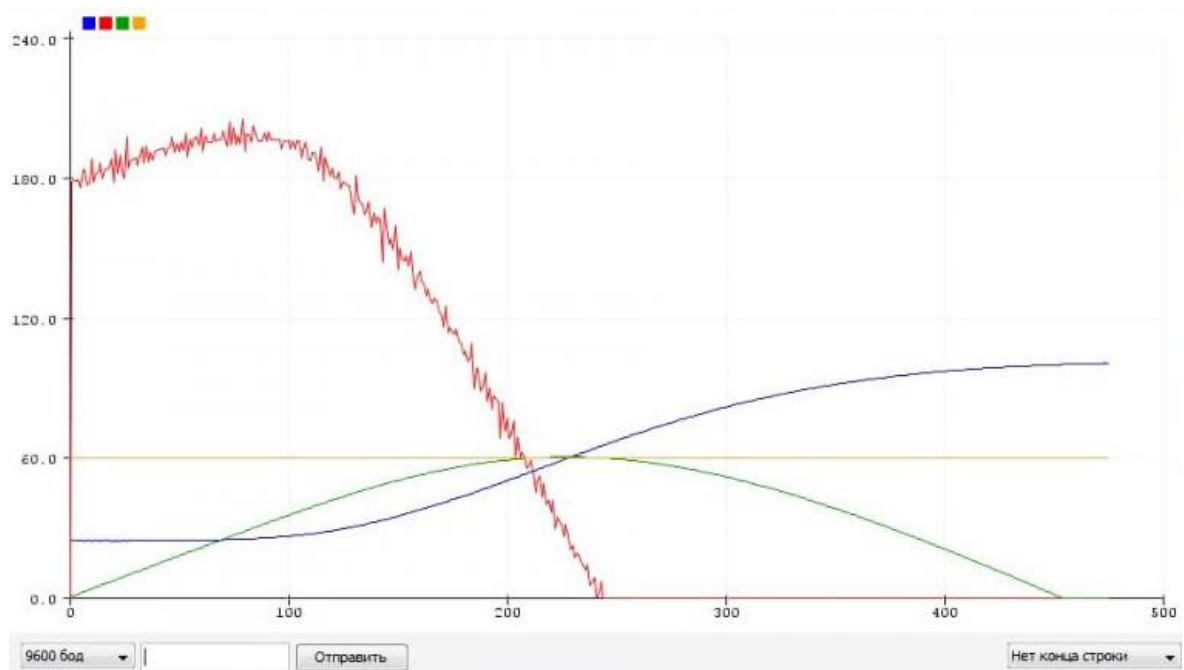


Рисунок 3.10 – Графік роботи не налаштованого ПІД-регулятора

На цьому графіку: червона лінія – це величина відкриття заслінки гарячого повітря, графік не рівномірний через те, що на привід відкриття подається ШІМ-сигнал; жовта лінія – температура яка задана; синя лінія – реальна температура, зелена лінія – показання датчику у вигляді терморезистора. Як видно з графіку такий процес регулювання буде нагрівати повітря в приміщенні, але через

інерційність датчику та конструкційні особливості макету – заслінка швидко відкрилась і швидко закрилась, а температура нерівномірно підвищилась та перевищила заданий рівень.

Вихідне значення розраховується за формулою:

$$out = P \cdot kP + I \cdot kI + D \cdot kD, \quad (3.1)$$

де out – вихідне значення;

kP , kI та kD це і є ті самі коефіцієнти, які потрібно налаштувати для роботи ПІД-регулятора.

Для кожного з коефіцієнтів є свій алгоритм розрахунку. Пропорційна складова є різницею поточного значення з датчика та установки розрахунок виконується за формулою:

$$P = setpoint - input, \quad (3.2)$$

де $setpoint$ – установка (задане значення);

$input$ – вхід (значення з датчика).

Ця різниця називається помилкою регулювання, тобто як далеко знаходиться система від заданого значення, чим більше помилка, тим більше буде керуючий сигнал і тим швидше система приводитиме керовану величину до заданого значення. Коефіцієнт kP тут впливає роль посилення помилки та налаштовується вручну.

Інтегральна складова регулятора підсумовує в саму себе ту саму помилку, різницю поточного та заданого значення, помножену на період дискретизації системи, тобто на час, що минув з попереднього розрахунку dt – фактично бере інтеграл від помилки за часом, розраховується за формулою:

$$I = I + (\textit{setpoint} - \textit{input}) \cdot dt, \quad (3.3)$$

де dt – період обчислення та регулювання.

У самому регуляторі ця складова ще множиться на коефіцієнт kI , яким налаштовується різкість цієї складової. В інтегральній складовій накопичується помилка, що дозволяє регулятору з часом повністю її усунути, тобто привести систему до заданого значення з максимальною точністю. І складова виправляє минулі помилки, що накопичилися.

Диференціальна складова являє собою різницю поточної та попередньої помилки, поділену на час між вимірюваннями, тобто на dt , яка має загальний період регулятора. Розраховується за формулою:

$$D = (\textit{setpoint} - \textit{input} - (\textit{setpoint} - \textit{input}))/dt. \quad (3.4)$$

Фактично D складова реагує зміну сигналу з датчика, і що сильніше відбувається це зміна, то більше значення додається до загальної суми. Іншими словами, D дозволяє компенсувати різкі зміни в системі і при правильному налаштуванні запобігти сильному перерегулюванню та зменшити розгойдування.

Для налаштування регулятора потрібно варіювати коефіцієнти.

При збільшенні P збільшується швидкість виходу встановлене значення, збільшується керуючий сигнал. Згідно математичної точки зору система не може прийти рівно до заданого значення, так як при наближенні до установки P - частина пропорційно зменшується. При подальшому збільшенні P реальна система втрачає стійкість та починаються коливання.

При збільшенні I зростає швидкість компенсації помилки, що накопичилася, що дозволяє вивести систему точно до заданого значення з плином часу. Якщо система повільна, а I занадто великий – інтегральна сума сильно зростає і відбудеться перерегулювання, яке може мати характер коливань, що незатухають, з великим періодом.

При збільшенні D зростає стабільність системи, вона дає системі змінюватися дуже швидко. У той же час D може стати причиною неадекватної поведінки системи та постійних стрибків сигналу керуючого, якщо значення з датчика містить багато шуму. На кожну різку зміну сигналу з датчика D складова реагуватиме зміною керуючого сигналу, тому сигнал з датчика потрібно фільтрувати.

Проаналізувавши отримані результати було зроблено корегування коефіцієнтів ПІД-регулятора, отримано нові графіки роботи кіберфізичної системи контролю під час нагрівання повітря (рис. 3.11 – рис. 3.15).

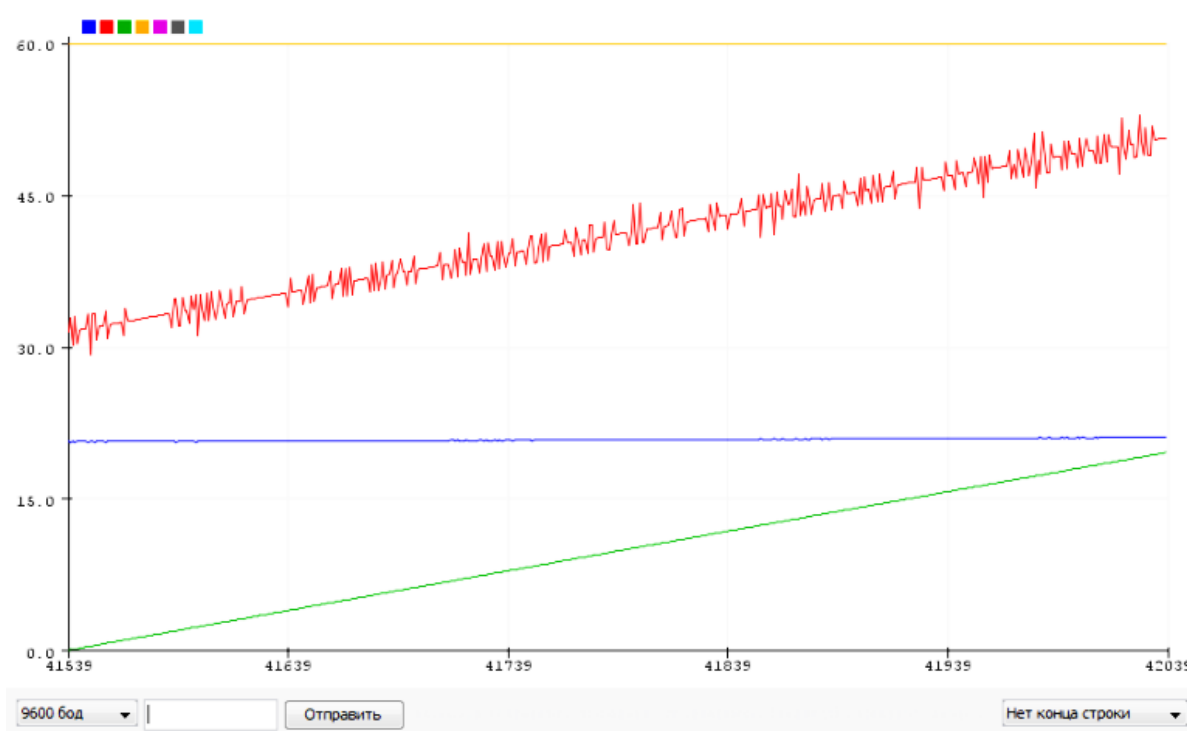


Рисунок 3.11 – Початок роботи системи

На рисю 3.11 видно, що температура поступово починає зростати, відповідно до відкриття заслінки гарячого повітря.

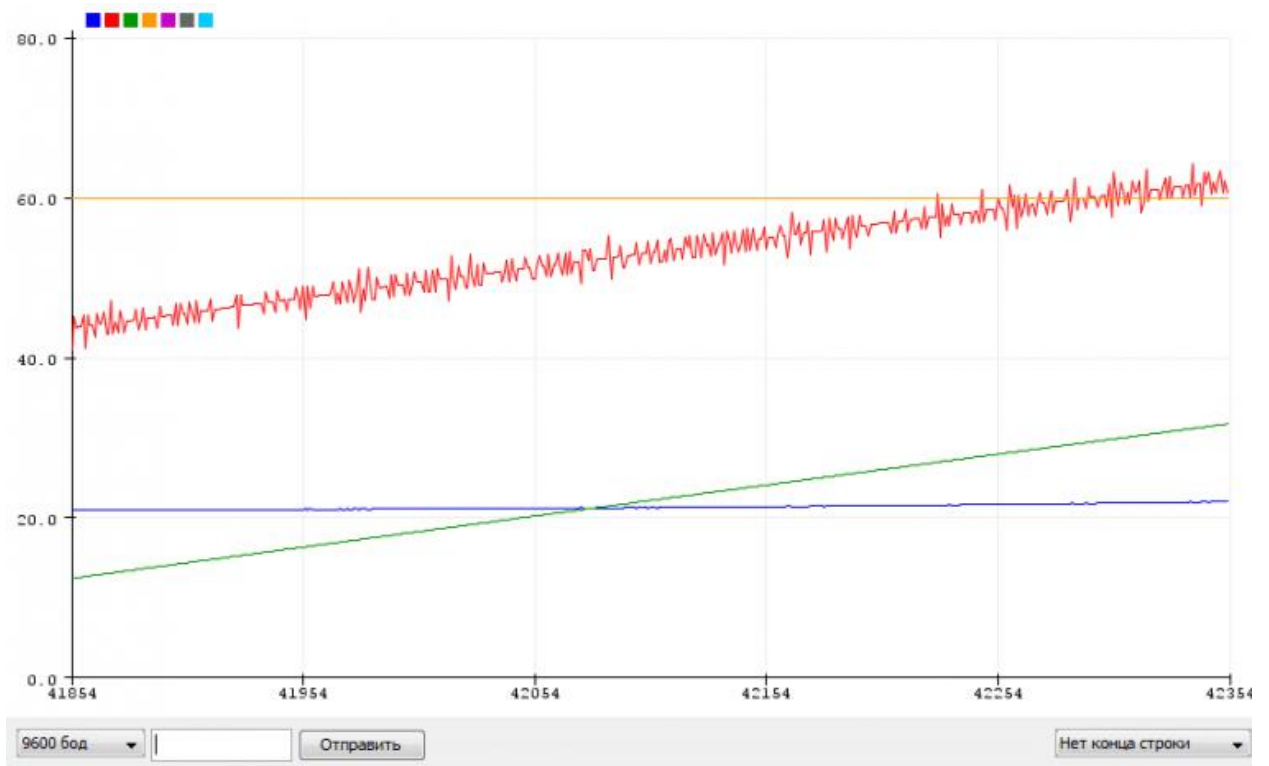


Рисунок 3.12 – Поступове підймання температури

На рис. 3.12 видно, що температура терморезистору перевищила за реальну, а величина відкриття заслінки досягло рівня заданої температури.

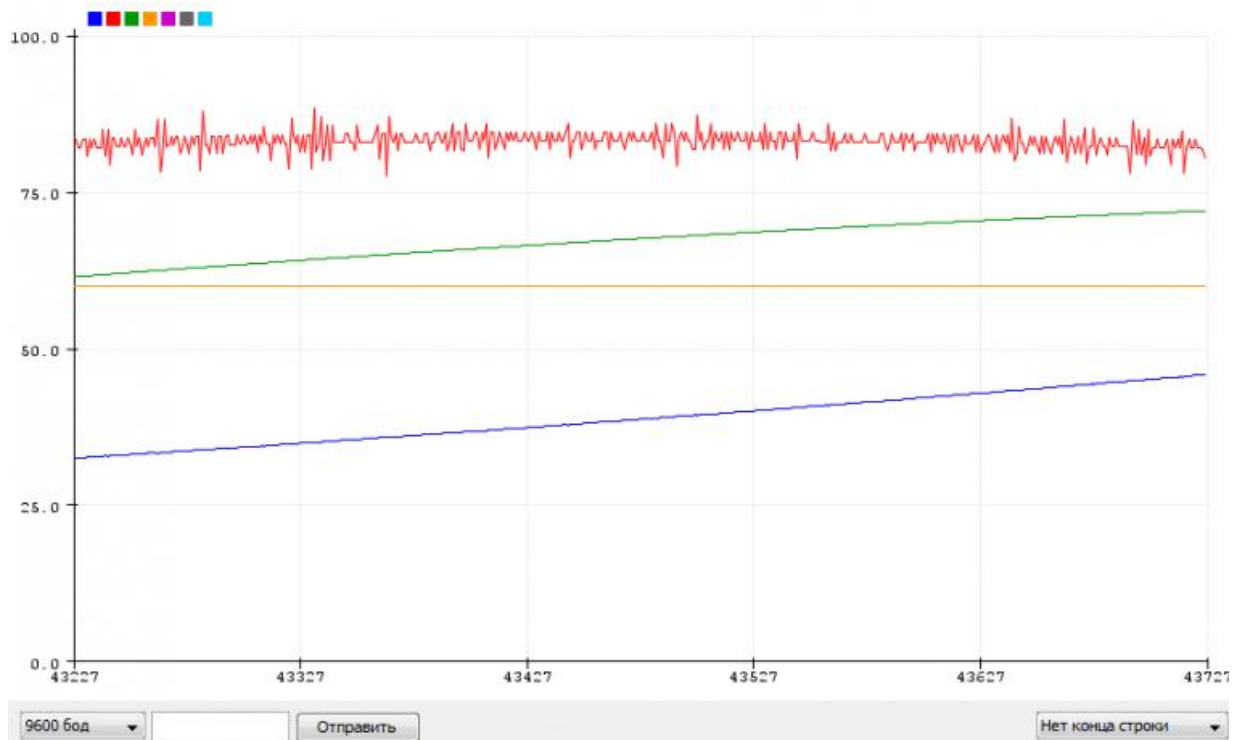


Рисунок 3.13 – Початок роботи ПД-регулятора

На рис. 3.13 зображено початок роботи ПІД-регулятора. Починається стабілізація положення заслінки.

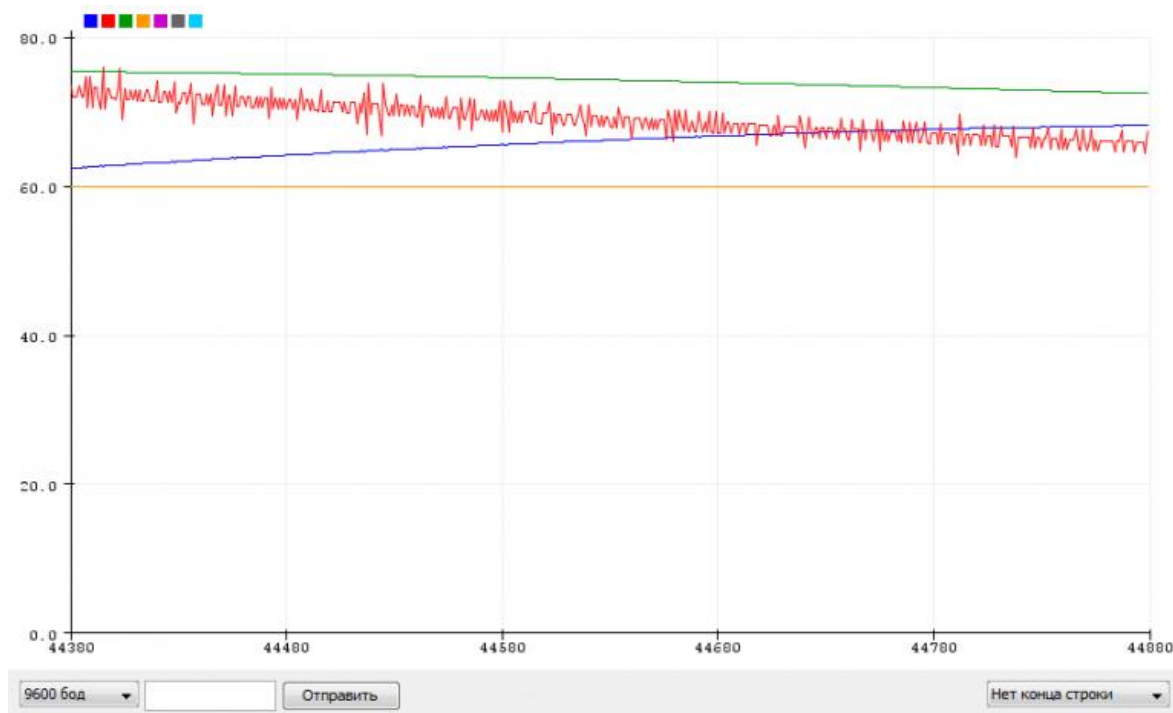


Рисунок 3.14 – Регулювання ШІМ-сигналу керування заслінкою

На рис. 3.14 зображено процес регулювання керуючого ШІМ-сигналу ПІД-регулятором.

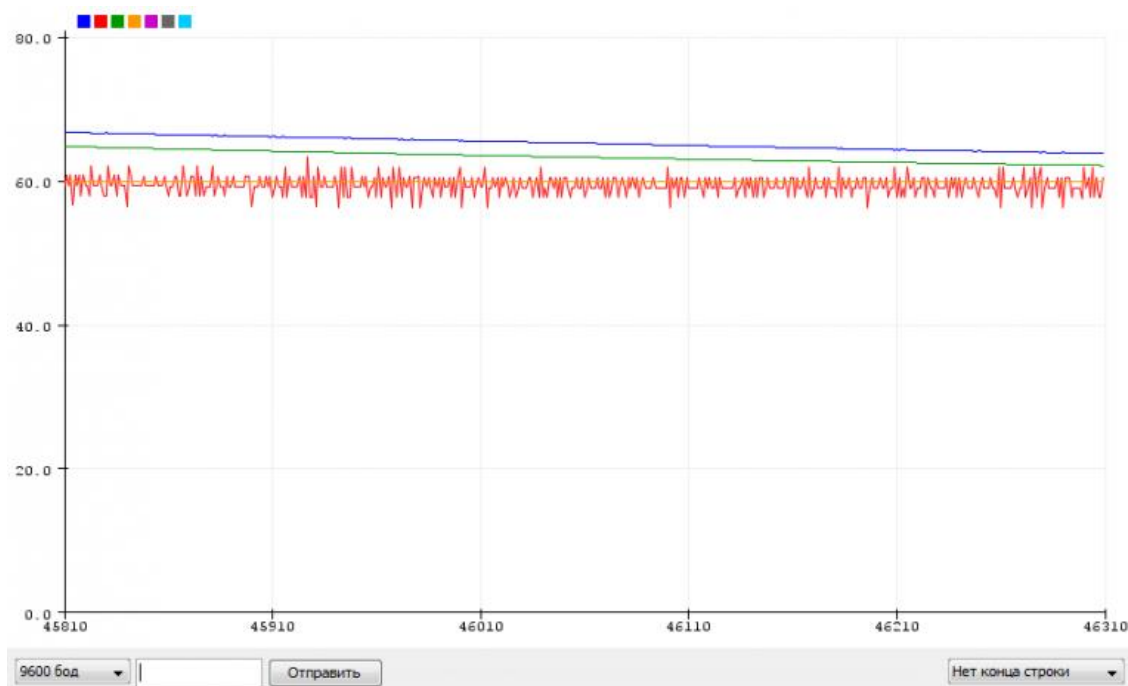


Рисунок 3.15 – Стабілізація температури ПІД-регулятором

На рис. 3.15 наведено роботу ПІД-регулятора, а також показано як саме стабілізується реальна температура та температура терморезистору відносно заданої.

3.5 Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було побудовано алгоритми роботи системи, а саме алгоритми в автономному режимі та режимі керування за допомогою веб-інтерфейсу.

Обрано середовище програмування та описано його можливості. Розроблено програмний код керування кіберфізичною системою контролю. Описано деякі ключові моменти у програмному коді.

Проведено експериментальне дослідження, у якому виявлено, що датчики температури та вологості мають суттєві відмінності у показаннях, а також визначено необхідність використання коригуючого коефіцієнту для визначення точної температури та вологості повітря.

Детально описано роботу системи, описано усі пункти меню та їх можливості. Описано процес роботи ПІД-регулятора та отримання ним даних. Окрім цього проведено експериментальне дослідження з визначення коефіцієнтів та налаштування ПІД-регулятора, наведені графіки до налаштування та після.

4 КОНСТРУКЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

4.1 Розрахунок показників надійності модуля

Надійність для кіберфізичної системи контролю є:

- безвідмовність;
- довговічність;
- стійкість до температур;
- ремонтпридатність.

Дані вимоги висуваються ще на стадії розробки технічного завдання модулю.

На стадії технічного проектування на основі вибору апаратних комплектуючих, аналізу електрично принципової схеми, заданих умов експлуатації, а також прийнятих конструкторських вирішень, конструктор модулю повинен провести оцінку показників безвідмовності та відновлення конструктивних елементів[18].

Для кіберфізичної системи контролю необхідно розрахувати наступні показники:

- середній час напрацювання на відмову;
- ймовірність безвідмовної роботи за заданий час;
- коефіцієнт готовності.

Розрахунок сумарної інтенсивності відмов модулю розраховується наступним чином:

$$\lambda_{\Sigma i} = \sum j \lambda_j^{(i)} n_j^{(i)} k_1 k_2 \dots k_p, \quad (4.1)$$

де $\lambda_j^{(i)}$ – середнє значення інтенсивності відмов j -го елемента, що міститься в i -ому модулі;

$n_j^{(i)}$ – кількість елементів даного типу, що входять до складу і-ого модуля;

$k_1, k_2 \dots k_p$ – коефіцієнти навантажень, які враховують електричні, кліматичні та механічні фактори експлуатації елементів.

Представимо інтенсивність відмов кожного апаратного компоненту модулю в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Дані інтенсивності відмов компонентів модуля

№	Компонент	Кількість	Інтенсивність відмов, $\lambda, \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
1	Плата Arduino nano	1	0,8
2	Ethernet модуль	1	0,5
3	Модуль живлення	3	1,2
4	Датчики	2	3,3

Проведемо розрахунок інтенсивності відмов модулю:

$$\lambda_{\sum i} = 10^{-6} \cdot (0,8 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 + 1,2 \cdot 3 + 3,3 \cdot 2) = 11,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Час відновлення кожного із вузлів розраховується наступним чином:

$$T_{Vi} = T_H + T_T + T_{Zi} + T_{Yi} + T_{Pi}, \quad (4.2)$$

де T_H – час, необхідний для встановлення факту несправності, год.;

T_T – час, необхідний для локалізації несправності, тобто встановлення, який з модулів вийшов з ладу, год;

T_{Zi} – час демонтажу зламаного модуля, год;

T_{Yi} – час для встановлення та електромонтажу справного модуля, год;

T_{Pi} – час, необхідний для можливого регулювання ЕА після встановлення справного модуля, год.

Виконуємо розрахунок часу відновлення:

$$T_{Bi} = 0,1 + 0,3 + 0,2 + 0,4 + 0,1 = 1,1 \text{ год.}$$

Розраховуємо середній час відновлення модулю:

$$T_B = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k T_{Bi} = \frac{1}{1} 1,1 = 1,1 \text{ год.}$$

Розрахуємо середній час напрацювання до першої відмови без урахування відновлення, год:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\sum i}} = \frac{1}{11,8 \cdot 10^{-6}} = 84746 \text{ год.}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи без врахування відновлення за час t :

$$P_0(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (4.3)$$

– при $t = 1000$ год:

$$P_0(1000) = e^{-\frac{1000}{84746}} = 0,998,$$

– при $t = 16000$ год:

$$P_0(16000) = e^{-\frac{16000}{84746}} = 0,516.$$

Ймовірність відновлення модулю розпакування за допустимий час t_d знаходимо як:

$$P_B = 1 - \left(1 + 2 \cdot \frac{t_D}{T_B}\right) \cdot e^{-\frac{2 \cdot t_D}{T_B}}, \quad (4.4)$$

$$P_B = 1 - \left(1 + 2 \cdot \frac{0,8}{1,1}\right) \cdot e^{-\frac{2 \cdot 0,8}{1,1}} = 0,425,$$

де t_D – випадковий час відновлення модулю.

Розрахунок середнього напрацювання на відмову із врахуванням відновлення, год:

$$T_{0B} = \frac{T_0}{1 - \left(1 + 2 \cdot \frac{t_D}{T_B}\right) \cdot e^{-\frac{2 \cdot t_D}{T_B}}}, \quad (4.5)$$

$$T_{0B} = \frac{84746}{1 - \left(1 + 2 \cdot \frac{0,8}{1,1}\right) \cdot e^{-\frac{2 \cdot 0,8}{1,1}}} = 185266 \text{ год.}$$

Розрахунок ймовірності відмовної роботи із врахуванням попередніх відмов та відновлення за будь-який час t :

$$P(t) = e^{-\frac{1 - P_B \cdot t}{T_0}}, \quad (4.6)$$

– при $t = 1000$ год:

$$P(1000) = e^{-\frac{1 - 0,424}{84746} \cdot 1000} = 0,93,$$

– при $t = 16000$ год:

$$P(16000) = e^{-\frac{1 - 0,424}{84746} \cdot 16000} = 1,05.$$

З отриманих результатів, робимо висновок, що даний модуль системи контролю мікроклімату в салоні автомобілю відповідає технічному завданню.

4.2 Вимоги до обладнання робочого місця розробника

На робочому місці користувача ПК повинні бути передбачені заходи захисту від можливого впливу небезпечних та шкідливих факторів виробництва. Рівні цих факторів не повинні перевищувати граничних значень, обумовлених правовими, технічними і санітарно-технічними нормами. Ці нормативні документи зобов'язують до створення на робочому місці умов праці, при яких вплив небезпечних і шкідливих факторів на працюючих або усунуто зовсім, або знаходиться в допустимих межах [19].

Джерела світла, такі як світильники і вікна, які дають відображення від поверхні екрану, значно погіршують точність знаків і тягнуть за собою перешкоди фізіологічного характеру, які можуть виразитися в значній напрузі, особливо при тривалій роботі. Відбиття, включаючи відбиття від вторинних джерел світла, мають бути зведені до мінімуму. Для захисту від надмірної яскравості вікон можуть бути застосовані штори і екрани.

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище, надаючи позитивний психологічний вплив на працюючого, підвищує безпеку праці і знижує травматизм [17].

Самопочуття та працездатність людини залежить від метеорологічних умов, які складають виробничий клімат. Діючими нормативними документами, що регламентують мікроклімат, є ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [19].

Під час експлуатації системи екран модулю не повинен відволікати водія від дорожньої ситуації та управлінням транспортним засобом. Миготіння екрану або яскраве підсвічування в темну пору дня буде дуже сильно порушувати концентрацію водія. Окрім відволікання від керування через миготіння дисплею

може виникати головний біль та погане самоочуття, і навіть психічні розлади у схильних до цього людей.

4.3 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було розраховано надійність системи, інтенсивність відмов, середнє напрацювання на відмову, а також середній час відновлення. Проаналізувавши результати було зроблено висновок про те, що модуль відповідає наведеним вимогам та може використовуватись на виробництві або в офісах.

Також у розділі опрацьовано питання вимог до приміщення у лабораторії з програмування. Розглянуто вимоги до ергономіки робочого місця програміста та користувача персонального комп'ютеру. Розглянуто можливі шкідливі фактори при роботі з персональним комп'ютером та у не обладнаному приміщені.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено кіберфізичну систему моніторингу технологічних процесів на виробництві. В якості макету роботи системи було використано датчики для контролю освітленості, температури та вологості; проведено експериментальні дослідження та виявлено недоліки та напрями покращення системи в цілому. Під час виконання роботи було виконано наступні завдання:

- проведено аналіз готових кіберфізичних систем моніторингу;
- ретельно описано та проаналізовано принцип побудови кіберфізичних систем;
- розроблено функціональну схему системи та описано кожен її компонент;
- підібрано електронні компоненти для створення експериментального макету кіберфізичної системи;
- обґрунтовано вибір компонентів з урахуванням вартості;
- підібрано корпус для блоку керування системою;
- розроблено схему електричну принципову;
- розроблену схему електричну принципову модулів живлення;
- розроблено та розраховано друковану плату модуля живлення;
- розроблено ПЗ для злагодженої роботи пристрою;
- проведено налаштування ПЗ, а також експериментальне дослідження з визначення коефіцієнтів та налаштування ПД-регулятора;
- розраховано вірогідність відмов системи;
- проведено огляд заходів з охорони праці для лабораторії та умов в яких буде використовуватися пристрій.

За результатами роботи опубліковано статтю в збірнику студентських робіт.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Невлюдов І. Ш. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти, спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійної програми «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи». / І. Ш. Невлюдов, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, Ю. М. Олександров, Р. В. Артюх, Є. А. Разумов-Фризюк, О. О. Чала – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 51 с.
2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
3. Євсєєв В., Шевченко Є. Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) : збірник студентських наукових статей, 2023. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – С. 37-43.
4. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова; – Oktan Print– Prague. 2023. – 321 с
5. Невлюдов, І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017. – 444 с.
6. Nevliudov, I., & et al.. (2021). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems, J. Math. Comput. Sci., 11(1), 520-542.
7. Кіберфізичні системи моніторингу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vencon.ua/articles/rejting-sistem-umnyy-dom-po-proizvoditelyam> 20.10.2023 р. – Загол. з екрану.
8. Nevliudov, I., & et al.. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive

CyberDesign CPPS Development. *Advances in Dynamical Systems and Applications*, 16(2), 441-455

9. Filipenko, O., Chala, O., Bortnikova, V., Sychova, O., & Botsman, I. (2019, September). Impact of Technological Operations Parameters on Moems Components Formation. In 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL) (pp. 371-374). IEEE.

10. Плата розробника Arduino NANO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod32-arduino-nano-rev3-a000066> – 21.10.2023 р. – Загол. з екрану.

11. ENC28J60 Ethernet модуль міні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod404-enc28j60-ethernet-modul-mini> – 21.10.2023 р. – Загол. з екрану.

12. Модуль датчика температури та вологості SHT20 I2C міні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4499-modul-datchika-temperatury-i-vlajnosti-sht20-i2c> – 22.10.2023 р. – Загол. з екрану.

13. Датчик освітленості цифровий GY-302 BH1750FVI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1116-datchik-osveshhenosti-cifrovoi-bh1750fvi> – 22.10.2023 р. – Загол. з екрану.

14. Датчик якості повітря AGS02MA (TVOC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod6275-datchik-yakosti-povitrya-ags02ma-tvoc> – 23.10.2023 р. – Загол. з екрану.

15. ST1S14PHR [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=ST1S14PHR> – 24.10.2023 р. – Загол. з екрану.

16. АскоУКРЕМ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.acko.ua> – 28.10.2023 р. – Загол. з екрану.

17. Automation of Flexible HMI Interface Development for Cyber-Physical Production Systems / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, N. Starodubcev, N. Demska // *International periodic scientific journal SWorldJournal*. – Issue No9, Part 1. – 2021. – P. 11-27.

18. Andrii Bondariev, Svitlana Maksymova, & Vladyslav Yevsieiev. (2023). Automated Monitoring System Development for Equipment Modernization. *Journal of*

Universal Science Research, 1(11), 6–16. Retrieved from <https://universalpublishings.com/index.php/jusr/article/view/2484>.

19. ДСТУ 12.1.005-96. ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. – Прийнято з 01.01.96.