

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Оптимізація процесу підтримки температури багаторівневого
інкубатору»

Здобувача групи СУ.м-22

Тимохін В'ячеслав Анатолійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

В'ячеслав ТИМОХІН

Керівник

доцент, к. ф.-м. н., В'ячеслав ЖУРБА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Тимохін В'ячеслав Анатолійович

(Прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Оптимізація процесу підтримки температури багаторівневого інкубатору.

Затверджена наказом ректора СумДУ № 1097-VI від "09" жовтня 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 15 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, технічна документація, перелік літературних джерел.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): огляд існуючих інкубаторів, розгляд багаторівневих інкубаторів, розробка математичної моделі та моделювання в Matlab simulink, підбір технічних засобів для побудови дворівневого інкубатора, розробка алгоритму системи та електрично-принципової схеми.

5. Перелік графічних матеріалів: 28 рисунків, 3 додатки, 3 схеми.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Огляд літератури за тематикою роботи.	07.11.2023 – 08.11.2023
2	Розгляд існуючих інкубаційних систем та різних видів дворівневих інкубаторів.	09.11.2023 – 15.11.2023
3	Створення контурів регулювання та їх математичних моделей.	16.11.2023 – 22.11.2023
4	Розрахунок регуляторів для дворівневого інкубатора.	23.11.2023 – 26.11.2023
5	Розроблення схем автоматизації.	27.11.2023 – 28.11.2023
6	Оформлення дипломної роботи та супровідної документації	28.11.2023 – 15.12.2023

7. Дата видачі завдання " 07 " листопада 2023 р.

Керівник проекту:

Доцент, к. ф.-м. н.
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

В'ячеслав ЖУРБА
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач:
студент гр. СУ.м-22
(шифр групи)

(підпис)

В'ячеслав ТИМОХІН
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Тимохін В'ячеслав Анатолійович. Оптимізація процесу підтримки температури багаторівневого інкубатору. Дипломна робота. Сумський державний університет. Суми, 2023 р.

Робота містить: 50 сторінок, 28 рисунків, 8 таблиць, 3 додатки, 3 схеми.

Магістерська робота присвячена оптимізації процесу підтримки температури багаторівневого інкубатору. Робота націлена на підвищення ефективності систем автоматичного регулювання температури багаторівневих інкубаторів шляхом розробки оптимальних алгоритмів керування з урахуванням просторового розподілу температурного поля.

Було розглянуто існуючі методи інкубації курячих яєць. Визначено контури керування та створено математичні моделі. Розроблено систему регулювання рівнем вологи повітря та температурою.

Ключові слова: оптимізація процесу інкубація, дворівневий інкубатор, регулятор температури, регулятор вологи.

ABSTRACT

Tymokhin Vyacheslav Anatoliyovych. Optimization of the temperature maintenance process of a multi-level incubator. Graduate work. Sumy State University. Sumy, 2023

The work contains: 49 pages, 28 figures, 8 tables, 3 appendices, 3 diagrams.

The master's thesis is devoted to the optimization of the process of maintaining the temperature of a multi-level incubator. The work is aimed at increasing the efficiency of automatic temperature control systems of multi-level incubators by developing optimal control algorithms taking into account the spatial distribution of the temperature field.

The existing methods of incubation of chicken eggs were considered. Control contours were determined and mathematical models were created. A system for regulating air humidity and temperature has been developed.

Keywords: optimization of the incubation process, two-level incubator, temperature regulator, humidity regulator.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД БАГАТОРІВНЕВОГО ІНКУБАТОРА	9
1.1. Процес інкубації та інкубаційні камери.....	9
1.2. Багаторівневі інкубатори	13
1.3. Інкубатор з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора.....	16
1.4. Сучасні методи регулювання температури та вологи.	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	20
2.1. Математична модель контуру керування температурою.	20
2.2. Математична модель контуру регулювання вологи.	22
2.3. Моделювання у програмі Matlab Simulink.....	24
РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	27
3.1. Підбір мікропроцесорного пристрою.	27
3.2. Вибір датчиків.....	29
3.3. Підбір виконавчих механізмів.....	32
3.4. Підбір електроніки.....	35
3.5. Розробка алгоритму	41
ВИСНОВОК.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТОК А	47
ДОДАТОК Б	48
ДОДАТОК В	50

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ТЗА – технічні засоби автоматизації

Д – датчик

Р – регулятор

ОК – об'єкт керування

ВМ – виконавчий механізм

ОЗУ – оперативно запам'ятовуючий пристрій

ПЗУ – постійно запам'ятовуючий пристрій

ТЕН – тепло-електро нагрівач

БЖ – блок живлення

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність роботи сучасних птахівничих підприємств безпосередньо залежить від якості процесу інкубації курячих яєць. За останні роки спостерігається стійка тенденція до збільшення частки багаторівневих інкубаторів у загальному парку обладнання для інкубації. Проте існуючі на даний момент системи автоматичного регулювання температури в таких інкубаторах не забезпечують оптимальний температурний режим на кожному з рівнів. Це призводить до зниження виводимості яєць та підвищення витрат електроенергії. Тому розробка ефективних методів оптимізації процесу регулювання температури та вологості є важливим науково-практичним завданням.

Основною *проблемою* при експлуатації багаторівневих інкубаторів є неможливість підтримання оптимального значення температури одночасно на всіх рівнях через вертикальний градієнт температури. Різниця температур між верхніми та нижніми рівнями може сягати декількох градусів, що негативно позначається на розвитку зародків. Крім того, значні перепади температури впродовж доби погіршують репродуктивні якості інкубаційних яєць. Тому ключовим завданням є розробка системи автоматичного керування, яка б забезпечувала підтримання заданого температурного профілю з високою точністю та мінімальними перепадами.

Метою дослідження є підвищення ефективності систем автоматичного регулювання температури багаторівневих інкубаторів шляхом розробки та реалізації на базі сучасних засобів автоматизації регулятора температури та вологості.

Об'єктом дослідження є процес підтримання заданої температури та вологості в багаторівневих інкубаторах для вирощування курчат.

Предметом дослідження є оптимізація процесу підтримки температури багаторівневого інкубатору.

Постановка завдань:

- Огляд багаторівневого інкубатора.
- Проаналізувати існуючі методи регулювання температури та вологості в інкубаторах.

- Розробка математичної моделі процесу теплопередачі в багаторівневому інкубаторі та моделювання його у середовищі Matlab Simulink.
- Здійснення підбору технічних засобів автоматизації.
- Розробка алгоритму роботи системи.

Наукова новизна дослідження полягає в оптимізації регулювання температури та вологи в багаторівневому інкубаторі, який має такі переваги:

- Покращена точність регулювання та зменшено час перерегулювання температури.
- Покращена точність регулювання зменшено час перерегулювання вологи.

Теоретична значущість дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для розробки нових систем регулювання температури та вологи в інкубаторах.

Практичною цінністю є те, що впровадження розробленого методу регулювання температури в інкубаторах дозволить підвищити ефективність інкубації і отримати більш якісний молодняк.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД БАГАТОРІВНЕВОГО ІНКУБАТОРА

1.1. Процес інкубації та інкубаційні камери

Інкубація курячих яєць - це процес виведення курчат з яєць без участі квочки. Інкубація триває 21 день. Протягом цього часу в яйці відбувається розвиток ембріона, який перетворюється на курча.

Перший крок - це вибір яєць, які відповідають наступним вимогам:

- Яйця повинні бути свіжими, не старше 7 днів;
- Яйця повинні бути цілими, без тріщин і пошкоджень;
- Жовток в яйці повинен бути розташований по центру і не повинен бути занадто щільним.

Другий крок - це дезінфекція яєць для знищення мікробів, які можуть завдати шкоди ембріону. Для дезінфекції використовують розчин формаліну або інші дезінфікуючі засоби.

Третій крок - це закладка яєць в інкубатор гострим кінцем вниз. Яйця повинні бути рівномірно розподілені по інкубатору.

Четвертий крок - це регулювання температури і вологості в інкубаторі. Для успішної інкубації необхідно підтримувати в інкубаторі оптимальну температуру і вологість. Температура в перші 18 днів інкубації повинна становити 37,8-38,2 °С, а в останні 3 дні - 37-37,2 °С. Вологість в перші 18 днів інкубації повинна становити 54-55 %, а в останні 3 дні - 70-80 %.

П'ятий крок - це поворот яєць. Яйця в інкубаторі необхідно регулярно перевертати. Це необхідно для рівномірного розвитку ембріона. Яйця перевертають 2-3 рази на день.

Шостий крок - це освіження повітря в інкубаторі. У інкубаторі необхідно регулярно освіжати повітря. Це необхідно для запобігання накопичення вуглекислого газу і інших шкідливих речовин. Для освіження повітря інкубатор провітрюють 1-2 рази на день.

Сьомий крок - це виведення курчат. На 21 день інкубації відбувається виведення курчат. Курчата вилупляються самостійно, розбиваючи шкаралупу

дзьобом. Після вилуплення курчат необхідно витримати в інкубаторі протягом 12-24 годин, щоб вони обсохли.

У таблиці 1 представлено оптимальні кліматичні умови утримання яєць в інкубаційній камері.

Таблиця 1. Умови утримання яєць в інкубаційній камері

Період	Час, дні	Температура, °C	Вологість, %	Кількість перевертань	Охолодження яєць
1	1-7	38-38,2	50-55	4 рази на добу	ні
2	8-14	37,8	45	4 - 6 разів на добу	ні
3	15-18	37,8	50	4 - 6 разів на добу	2 рази на добу по 15-20 хв
4	19-21	37,8	65	ні	ні

Процес інкубації проходить у спеціальних інкубаційних камерах, де і створюються відповідні кліматичні умови зазначені у таблиці 1.

Усі камери побудовані з абсолютно різних матеріалів. Це може бути пластик, метал та навіть дерево. Від матеріалу, з якого виготовлений інкубатор, значною мірою залежать його теплоізоляційні властивості, а отже - й здатність підтримувати стабільну температуру всередині камери.

Метали (нержавіюча сталь, алюміній, мідь) мають високу теплопровідність, тому для зменшення теплових втрат корпус інкубатора вкривають спеціальною ізоляцією.

Пластмаси (полімери) - теплопровідність у сотні разів менша ніж в металів, проте міцнісні характеристики гірші. Тому використовуються обмежено або в комбінації з металевим каркасом.

Скло та мінеральна вата (базальтове волокно) - чудові теплоізоляційні матеріали. Застосовують для додаткової термоізоляції стінок і дверей.

Комбінування металевого каркасу та теплоізоляційних матеріалів (мінвата, пінопласт), зображеного на рисунку 1.1, дозволяє досягти оптимального балансу міцності та термоізоляції інкубатора. А герметичність камери є запорукою стабільності температури всередині.



Рисунок 1.1 – Типовий інкубатор, виготовлений з комбінованих матеріалів

Інкубаційні камери поділяються на різні види за такими критеріями:

За призначенням:

- Багаторівневі інкубатори - призначені для інкубації великої кількості яєць, наприклад, для промислового виробництва курчат або яєць для інкубації.
- Однорівневі інкубатори - призначені для інкубації невеликої кількості яєць, наприклад, для домашнього використання або для інкубації яєць рідкісних або дорогих порід птахів.

За способом регулювання температури:

- Механічні інкубатори - температура регулюється вручну за допомогою термостата.
- Автоматичні інкубатори - температура регулюється автоматично за допомогою технічних засобів

За способом вентиляції:

- Примусові - вентиляція здійснюється за допомогою вентилятора.
- Природні - вентиляція здійснюється за рахунок природної конвекції (провітрювання).

За способом повороту яєць:

- Ручні інкубатори - поворот яєць здійснюється вручну.
- Автоматичні інкубатори - поворот яєць здійснюється автоматично.

За способом підігріву яєць:

- Нагрівальні елементи - яйця підігріваються за допомогою нагрівальних елементів, розташованих під лотками для яєць.
- Нагрів повітря - яйця підігріваються за допомогою нагрітого повітря, що циркулює в інкубаторі.

Багаторівневі інкубатори зазвичай мають велику місткість, від 300 яєць до 5-6 тисяч. Вони оснащені автоматичними системами регулювання температури, вологості, вентиляції та повороту яєць.

Одно-рівневі інкубатори мають місткість від кількох до декількох десятків яєць. Вони можуть бути як механічними, так і автоматичними.

Механічні інкубатори прості у використанні і мають низьку вартість. Однак вони вимагають постійного контролю та ручного регулювання температури і вологості.

Автоматичні інкубатори більш зручні у використанні, оскільки температура і вологість регулюються автоматично. Однак вони мають більш високу вартість.

Інкубатори з примусовою вентиляцією забезпечують більш рівномірний розподіл температури і вологості в інкубаторі.

Інкубатори з природним провітрюванням простіші у виготовленні і мають низьку вартість. Однак вони менш ефективні, ніж інкубатори з примусовою вентиляцією.

Ручні інкубатори прості у використанні і мають низьку вартість. Однак вони вимагають більшого часу і уваги, ніж автоматичні інкубатори.

Автоматичні інкубатори більш зручні у використанні, оскільки поворот яєць здійснюється автоматично. Однак вони мають більш високу вартість.

Нагрівальні елементи забезпечують більш рівномірний розподіл тепла в інкубаторі.

Нагрів повітря більш економічний, оскільки не вимагає використання нагрівальних елементів. Однак він може призвести до нерівномірного розподілу температури в інкубаторі.

Вибір типу інкубатора залежить від таких факторів, як:

- Кількість яєць, які необхідно інкубувати.
- Вартість інкубатора.
- Складність використання інкубатора.
- Точність регулювання температури і вологості.

1.2. Багаторівневі інкубатори

Багаторівневий інкубатор може розміщати у себе на «борту» досить велику кількість яєць. Це досягається за рахунок розподілення лотків з яйцями всередині інкубатора один над одним. На ринку представлено декілька варіантів виконання багаторівневих інкубаторів, які відрізняються кількістю закладених яєць та схемою руху повітря в самій камері. Від цього буде залежати наскільки рівномірно буде розповсюджуватись нагріте повітря по інкубаційній камері, що в свою чергу буде впливати на температуру яйця та розвиток ембріона. Одним з варіантів виконання інкубаційної камери може бути інкубатор з верхнім розташуванням нагрівача та вентилятора. Схематичне зображення такого інкубатора представлено на рисунку 1.2.

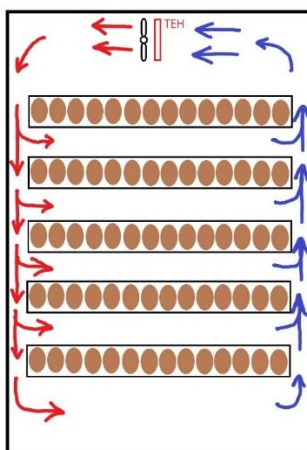


Рисунок 1.2 - Схематичне зображення багаторівневого інкубатору з верхнім розташуванням нагрівача та вентилятора

Як ми бачимо з даного рисунку тепле повітря рухається в горизонті. Проходячи крізь вентилятор воно вдаряється о стінку інкубатора і частина повітря відразу розвертається, а інша частина намагається пройти по колу через всю камеру та лотки з яйцями. А оскільки тепле повітря завжди підіймається в гору, то більша частина його буде проходити у верхній половині інкубаційного камери, а в нижній частині конвекція повітря буде мінімальна. При такій схемі виконання інкубаційної камери, різниця температур між верхніми та нижніми яйцями може складати 2-3⁰С.

Наступна схема виконання інкубаційної камери представлена на рисунку 1.3.

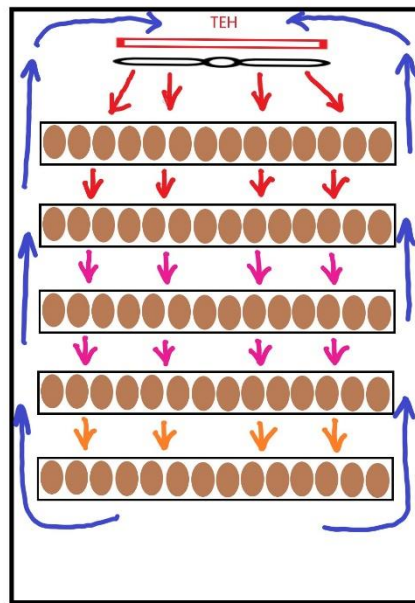


Рисунок 1.3 – Схематичне зображення багаторівневого інкубатора з верхнім розташуванням нагрівача та вентилятора, що продуває камеру зверху вниз.

Дана схема виконання інкубаційної камери вважається найменш вдалою, тому що нагріте повітря проходить крізь верхній ряд яєць и поступово охолоджується по мірі проходження до самого низу. Таким чином верхні яйця завжди мають більшу температуру і перегріваються, а нижні навпаки постійно недогріваються. Тому піймати потрібну температуру досить важко. Зазвичай різниця температур в такому інкубаторі може досягати 4⁰С.

Ще одна схема виконання інкубаційної камери представлена на рисунку 1.4. Принципова відмінність даної схеми в тому, що вентилятор розташований збоку. Тут використовують стоять вентилятор, лопаті якого стоять перпендикулярно і вони виштовхують повітря назовні. Дана схема краща, ніж минулі дві, оскільки

повітря більш рівномірно розподіляється по камері, за рахунок того, що воно направлене в різні боки, що сприяє більш рівномірному розподілу температури по камері. Вони не набули широкого використання, тому що використовують специфічний вентилятор і у разі виходу його з ладу, заміну знайти дуже важко.

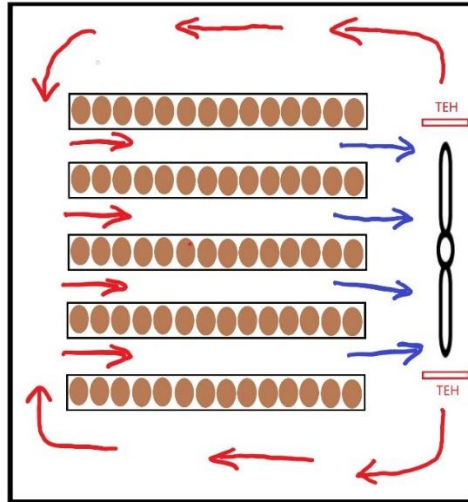


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення багаторівневого інкубатора з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора

Наступна схема виконання інкубаційної камери представлена на рисунку 1.5. Дана схема набула найбільш широкого розповсюдження у побудові інкубаторів. В них використовують великі тихохідні вентилятори, які рівномірно проштовхують повітря через лотки і таким чином дозволяють мінімізувати перепад температури повітря. Зазвичай даний показник не перевищує 1°C .

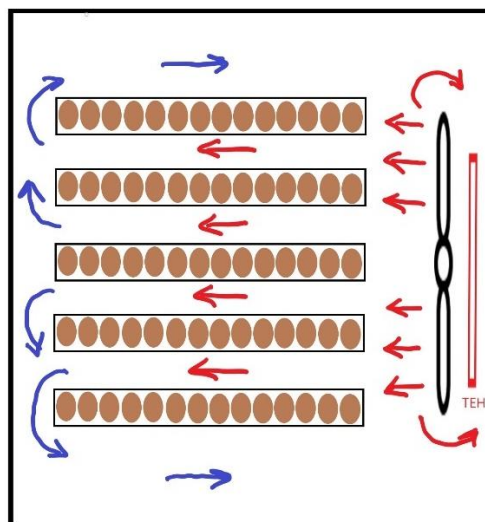


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення багаторівневого інкубатора з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора

Пропоную надалі розглядати інкубатор з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора зображеного на рисунку 1.5.

1.3. Інкубатор з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора.

Багаторівневий інкубатор з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора складається з таких засобів, як:

1. Мікроконтролер.
2. Датчики.
3. Виконавчі механізми.

Мікроконтролер – логічний пристрій, який дає може виконувати велику кількість операцій за секунду. Він необхідний для збору та обробки даних, видачі керуючих сигналів. На базі мікроконтролера зручно реалізувати будь-який регулятор. Починаючи від найпростішого – релейного, завершуючи більш складними – PI, PD та PID регуляторами.

Кожна система керування повинна містити сенсори. Вони необхідні для того, щоб реалізувати зворотній зв'язок від об'єкта керування або виконавчого механізму до контролера. Якщо говорити конкретно про випадок з інкубатором, то для функціонування його необхідно встановити температурні давачі, та вологомір. Інформація, яка приходить з датчика на контролер і впливає на формування вихідного, керуючого сигналу на сам виконавчий механізм.

Виконавчі механізми – це механізми які виконують або переміщення, або обертання, або у випадку з інкубатором, нагрівання та розподілення потоків теплого повітря.

На рисунку 1.6 зображена структурна схема об'єкта.

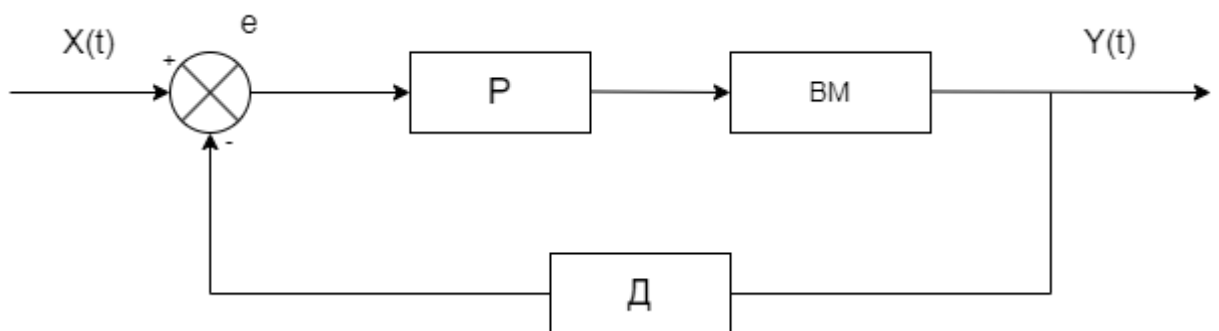


Рисунок 1.6 – Структурна схема системи керування

На основі схеми зображеної на рисунку 1.6, рисунку 1.5, а також опису інкубатора з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора, розглянутому у підрозділі 1.2 можна розробити контури керування і відповідно функціональну схему автоматизації.

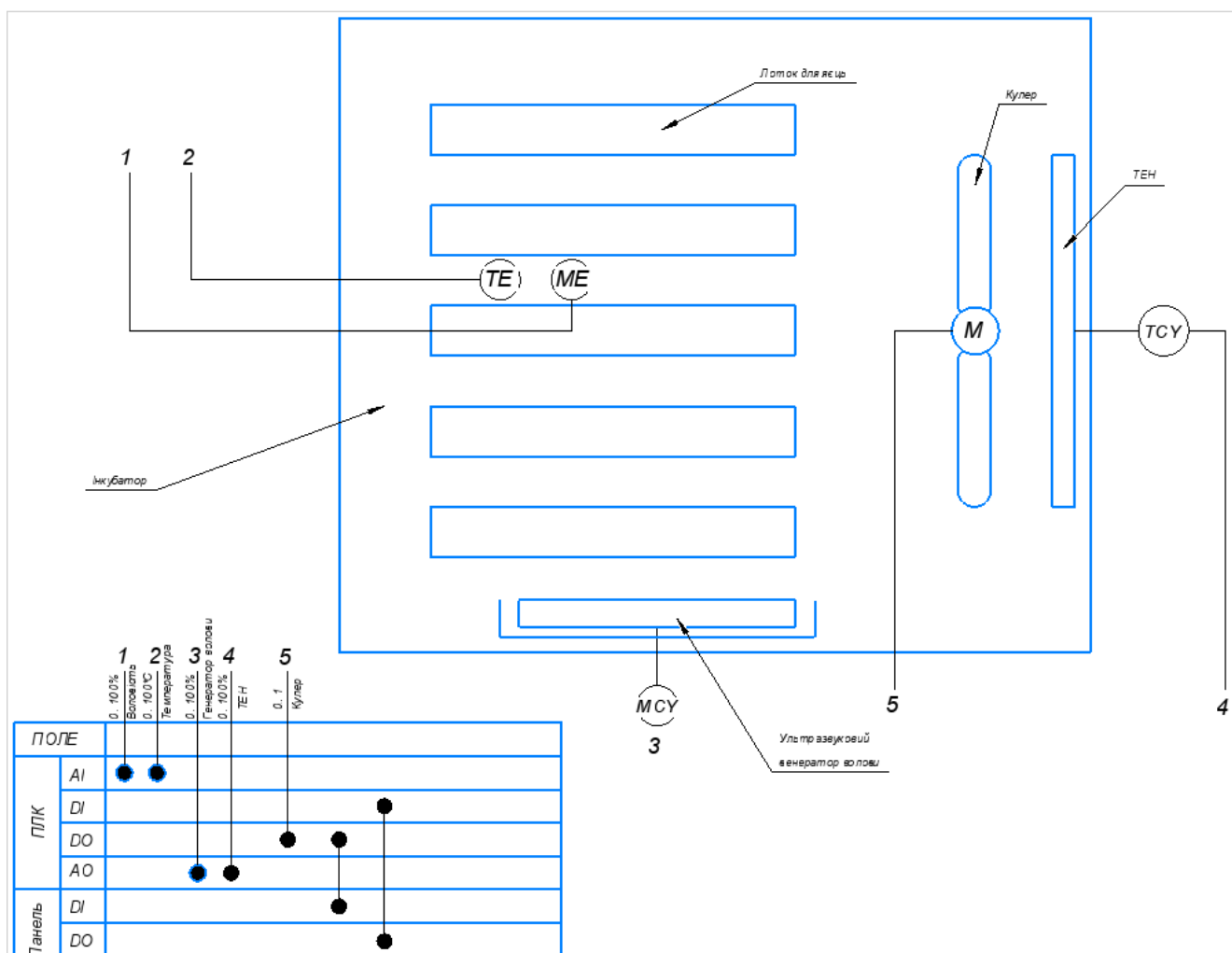


Рисунок 1.7 – Функціональна схема автоматизації багаторівневого інкубатора з боковим розташуванням нагрівача та вентилятора

1.4. Сучасні методи регулювання температури.

У сучасних цифрових інкубаторах підтримка встановленого температурного режиму здійснюється мікроконтролером, і користувач спостерігає на екрані блоку управління дані про температуру, отримані шляхом математичної обробки сигналу електронного датчика. Наявність складних електронних компонентів у блоці керування інкубатором обумовлює підвищений ризик виникнення помилки визначенні та регулюванні температури. Тому виробники інкубаторів

рекомендують періодично здійснювати температурне калібрування інкубатора завідомо точними термометрами. Разом з тим незалежно від типу та якості термометрів, що застосовуються при калібруванні, існують фактори, що не дозволяють підвищити точність підтримки температури повітря в камері вище за певні значення.

Більшість представлених на ринку інкубаторів, згідно з інструкцією, забезпечують точність підтримки температури від 0,1 до 0,2 °С. Однак у ряді випадків, підставою для вказівки даної інформації є технічні характеристики, що застосовується в конкретній моделі терморегулятора, а саме його роздільна здатність, яка, як правило, становить 0,10 °С. Водночас значно важливішим параметром є похибка (точність вимірювань) терморегулятора, яка залежить від типу термодатчика та алгоритму математичної обробки сигналу. Найбільш поширені термодатчики резистивного типу забезпечують похибку від 1 до 10%, що в температурному еквіваленті становить від 0,3-3,0 °С.

На даний час в інкубаторах застосовують два типи терморегуляторів: релейні та PID-регулятори. Релейні регулятори мають два положення для керування одним або декількома нагрівальними елементами інкубатора: включений та вимкнений. Застосування кількох нагрівальних елементів у релейному терморегуляторі дозволяє здійснювати плавну зміну температури.

Загальною рисою релейних регуляторів є наявність гістерезису – діапазону температур при роботі інкубатора. Для більшості інкубаторів мінімальний гістерезис дорівнює роздільній здатності і становить 0,1 °С, проте такий вузький діапазон викликає підвищене зношування керуючих реле і нагрівальних елементів, що змушує встановлювати значення гістерезису не менше 0,5 °С.

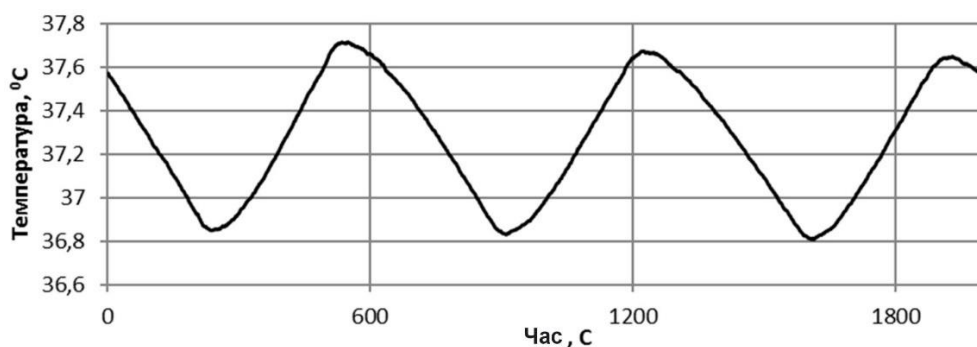


Рисунок 1.8 – Коливання температури повітря в камері інкубатора з попередньо встановленим гістерезисом 0,5 °С

Застосування в інкубаторах пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД-регуляторів) було обумовлене здатністю подібних регуляторів підтримувати точну температуру без гістерезису. Принцип дії ПІД-регуляторів температури заснований на плавній зміні потужності нагрівальних елементів. Однак алгоритм роботи ПІД-регуляторів передбачає певний час для встановлення стабільного режиму.

У поданому випадку (рисунок 6) ПІД-регулятору знадобилося 53 хвилини для стабілізації температури. Слід зазначити, що протягом 28 хвилин діапазон коливань температури становив понад $1,0^{\circ}\text{C}$. Підстроювання ПІД-регулятора з різним діапазоном коливань відбувається при кожному температурному впливі на інкубатор (зміна температури у приміщенні, відчинення дверцят, відключення електроживлення). Діапазон коливань ПІД-регулятора на етапі підстроювання може значно перевищувати гістерезис релейних терморегуляторів. З урахуванням широкого поширення термоконтрастних режимів інкубації, що передбачають регулярне провітрювання інкубатора, значну частину часу температура в інкубаторі, оснащеному ПІД-регулятором, буде варіювати в широкому діапазоні.

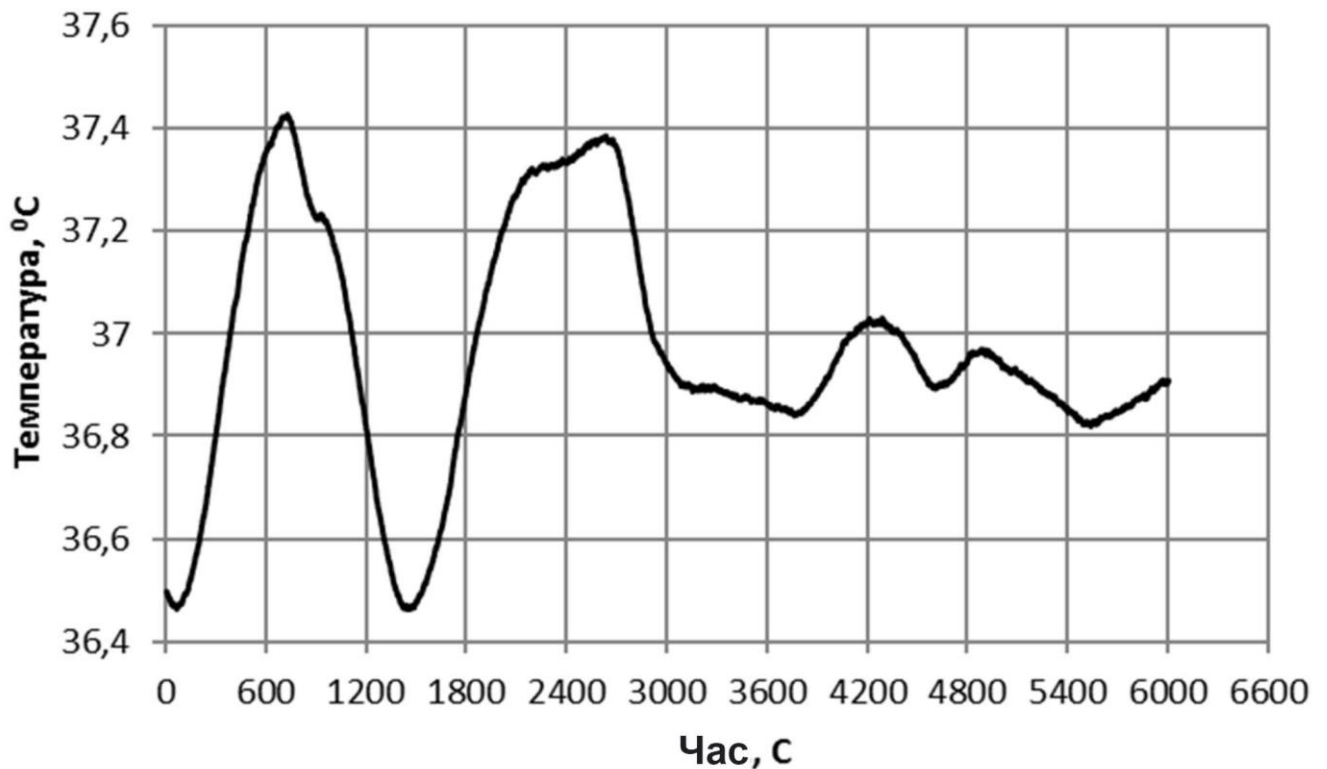


Рисунок 1.9 – Коливання температури під час використання ПІД-регулятора

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Математична модель - це формалізований опис об'єкта, процесу або явища у вигляді математичних співвідношень між змінними і параметрами, що характеризують цей об'єкт.

Математичне моделювання процесу підтримки температури багаторівневого інкубатора є важливим з таких причин:

- Дозволяє досліджувати процес теплопередачі та теплообміну в системі без проведення реального експерименту.
- На основі моделі можна аналізувати вплив різних конструктивних і технологічних параметрів на ефективність системи.
- За допомогою моделювання можна розробити і дослідити ефективність різних алгоритмів і налаштувань системи керування температурою та вологою.
- Модель дає змогу оптимізувати параметри системи для досягнення стабільності в регулюванні температури та вологи інкубації.

2.1. Математична модель контуру керування температурою.

Регулювання температури всередині інкубатора є важливим і невід'ємним процесом системи. Температура впливає на ріст і розвиток ембріона, а її невідповідність може призвести до загибелі ембріона або вилуплення нежиттєздатного пташеня.

Щоб температура в інкубаторі трималася в діапазоні 37.5-38.5 градусів Цельсія, тобто оптимальну для повноцінного розвитку ембріону, необхідно синтезувати регулятор температури. Для початку, пропоную побудувати математичну модель інкубатора.

Розглянемо інкубатор як об'єкт з зосередженими параметрами. Температура інкубатора T залежить від потужності нагрівальних елементів Q та тепловтрат інкубатора в навколишнє середовище.

Тепловий баланс інкубатора описується рівнянням:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_{н.е.} - kT}{C}, \quad (1)$$

де: C – теплоємність інкубатора;

k – коефіцієнт тепловіддачі інкубатора;

T – температура інкубатора;

$Q_{н.е.}$ – потужність нагрівальних елементів.

Розрахувати теплоємність визначається як кількість теплоти, необхідна для нагрівання об'єкта на 1 градус. Тобто,

$$C = c * m, \quad (2)$$

де: c – питома теплоємність;

m – маса інкубатора, кг.

Візьмемо інкубатор, маса якого дорівнює 50 кг і виготовлений з матеріалу питоною теплоємністю $c = 920 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ (звичайний алюміній або алюпрон).

Тоді, підставивши відомі значення у формулу можемо знайти теплоємність інкубатора. Вона дорівнює:

$$\begin{aligned} C &= 920 * 50 \\ C &= 46000 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \end{aligned} \quad (3)$$

Потужність нагрівального елемента визначає кількість теплоти, яку нагрівач передає за одиницю часу. Це можна описати за допомогою формули (4).

$$Q_{н.е.} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (4)$$

де: ΔQ - кількість переданої теплоти, Дж;

Δt - інтервал часу, с.

Нам необхідно забезпечити нагрів інкубатора масою 50 кг від 22 °С до температури 37.5 °С за час Δt – 15 хвилин.

Тоді кількість теплоти, яку повинні передати нагрівальні елементи:

$$\Delta Q = C * \Delta T = 46000 * (37.5 - 22) = 46000 * 15.5 = 713 \text{ кДж}$$

Отже, потужність нагрівальних елементів повинна дорівнювати:

$$\begin{aligned} Q_{н.е.} &= \frac{713000 \text{ Дж}}{900 \text{ с}} \\ Q_{н.е.} &= 800 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Виходить, щоб нагріти повітря в інкубаторі за 15 хв, на 16,5 градусів, знадобиться нагрівальні елементи потужністю в 1 кВт.

Визначивши параметри, можемо знайти передатну функцію. Рівняння (1) перетворюємо в операторну форму:

$$\frac{dT}{dt} \rightarrow pT(p) \quad (5)$$

$$Q \rightarrow Q(p) \quad (6)$$

де p – оператор Лапласа.

Тоді операторне рівняння матиме вигляд:

$$pT(p) = \frac{Q(p) - kT(p)}{C} \quad (7)$$

Звідси можемо знайти передатну функцію інкубатора:

$$W(p) = \frac{T(p)}{Q(p)} = \frac{1}{pC + 1} \quad (8)$$

Підставивши числові значення отримуємо:

$$W(p) = \frac{1}{46000s + 1} \quad (9)$$

Передатна функція інкубатора (9) являє собою ланку першого порядку з постійною часу $\tau = C/k$ та коефіцієнтом підсилення $K = 1$.

2.2. Математична модель контуру регулювання вологості.

Регулювання вологості всередині інкубатора є важливим для успішного інкубування яєць. Невідповідність і недотримання норм інкубації яєць може призвести до загибелі ембріона або вилуплення нежиттєздатного пташеня. Оптимальна вологість для інкубації яєць домашніх птахів становить від 40 до 60%.

Важливо регулярно перевіряти вологість в інкубаторі, щоб переконатися, що вона знаходиться в оптимальному діапазоні. Це можна зробити за допомогою гігрометра.

Розглянемо систему, що складається з інкубаційної камери і системи зволоження. Модель водяної пари в інкубаторі:

$$\frac{dm}{dt} = G_{in} - G_{out} + G_e, \quad (10)$$

де m - маса водяної пари в інкубаторі;

G_{in} - масова витрата надходження пари (зі зволожувача);

G_{out} - масова витрата відведення пари (вентиляцією);

G_e - масова витрата випаровування вологи з яєць.

Припустимо, що в інкубаторі використовується паровий ультразвуковий зволожувач. Тоді масову витрату пари, що надходить від зволожувача, можна розрахувати за формулою:

$$G_{in} = \frac{(W * I)}{(r * L)} \quad (11)$$

де: W - потужність зволожувача (Вт);

I - струм живлення зволожувача (А);

r - питома теплота пароутворення (Дж/кг);

L - питома теплове навантаження парогенератора (Вт•с/кг).

Приклад розрахунку для типових значень:

Потужність зволожувача $W = 50$ Вт

Струм живлення $I = 0.2$ А

Питома теплота пароутворення води $r = 2257000$ Дж/кг

Теплове навантаження $L = 1450$ Вт•с/кг

Тоді:

$$G_{in} = \frac{(50 \text{ Вт} * 0.2 \text{ А})}{\left(2257000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} * 1450 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{с}}{\text{кг}}\right)} = 0.7 \text{ г/с}$$

Для розрахунку масової витрати відведення водяної пари з інкубатора вентиляцією G_{out} можна скористатися наступною формулою:

$$G_{out} = Q * (W1 - W2); \quad (12)$$

де:

Q - витрата повітря, що видаляється вентиляцією з інкубатора (м³/с)

$W1$ - вміст вологи у повітрі в інкубаторі до вентиляції (г/м³)

$W2$ - вміст вологи у повітрі після вентиляції (г/м³)

Приклад розрахунку:

Витрата повітря вентиляцією $Q = 0.05$ м³/с

Вміст вологи в інкубаторі $W1 = 20$ г/м³

Вміст вологи після вентиляції $W2 = 10$ г/м³

Розрахунок:

$$G_{out} = 0.05 \text{ м}^3/\text{с} * (20 \text{ г}/\text{м}^3 - 10 \text{ г}/\text{м}^3) = 0.5 \text{ г}/\text{с}$$

Величину G_e можна визначити за формулою:

$$G_e = k * S * (P_n - P_i) \quad (13)$$

де: k - коефіцієнт масовіддачі (залежить від швидкості руху повітря),
прийmemo $k = 0.5 \text{ м}/\text{с}$;

S - загальна поверхня яєць в інкубаторі, прийmemo $S = 1 \text{ м}^2$;

P_n - тиск насиченої пари при даній температурі, $P_n = 2.3 \text{ кПа}$;

P_i - парціальний тиск водяної пари в інкубаторі, $P_i = 1.5 \text{ кПа}$;

Підставляємо значення у формулу:

$$G_e = 0.5 \text{ м}/\text{с} * 1 \text{ м}^2 * (2.3 \text{ кПа} - 1.5 \text{ кПа}) = 0.4 \text{ кг}/\text{с}$$

Для отримання передатної функції візьmemo такі вихідні дані:

$k = 0.5 \text{ г}/\text{с}/\text{В}$ (коефіцієнт продуктивності зволожувача);

$G_{out} = 0.5 \text{ г}/\text{с}$ (масова витрата відведення пари вентиляцією);

$G_e = 0.4 \text{ г}/\text{с}$ (масова витрата випаровування з яєць);

$M = 10 \text{ г}$ (маса водяної пари в інкубаторі);

Тоді передатна функція набуде вигляду:

$$W(s) = \frac{0.5}{s * \left(s + \frac{0.5}{10} + \frac{0.4}{10} \right)} = \frac{0.5}{s * (s + 0.09)} \quad (14)$$

Або якщо підставити числові коефіцієнти:

$$W(s) = \frac{0.5}{(s^2 + 0.09s)} \quad (15)$$

2.3. Моделювання у програмі Matlab Simulink.

Отримавши передатні функції об'єктів керування, маємо можливість побудувати моделі в середовищі моделювання Simulink.

Контури регулювання показано на рисунку 1.

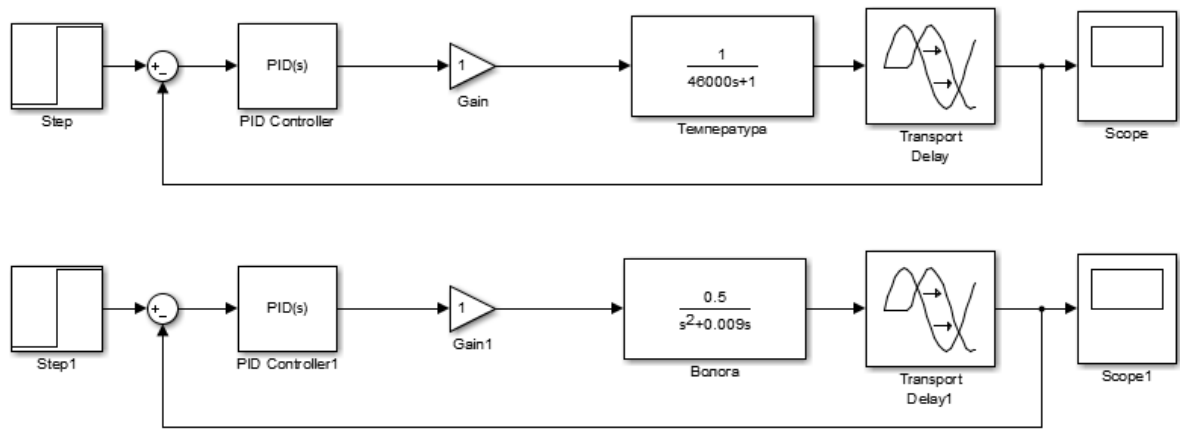


Рисунок 2.1 – Контури регулювання температурою та вологою

Налаштовуємо кожен регулятор окремо на мінімальний час перехідного процесу. На виході системи

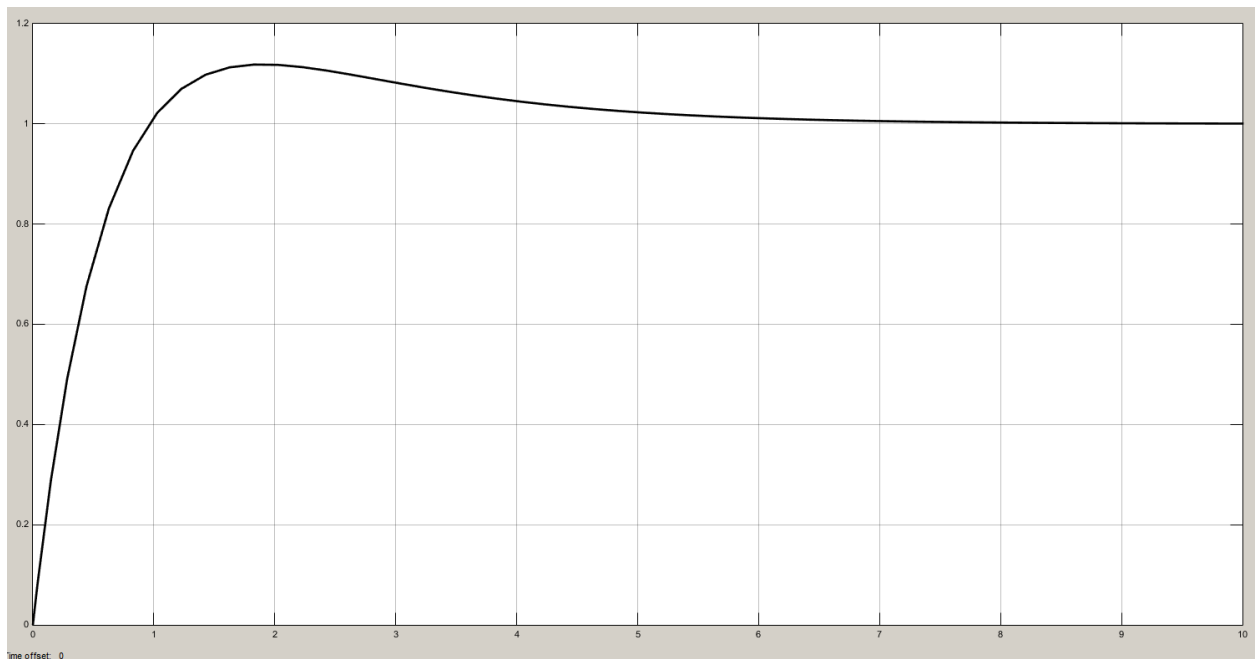


Рисунок 2.2 - Перехідний процес регулювання температури

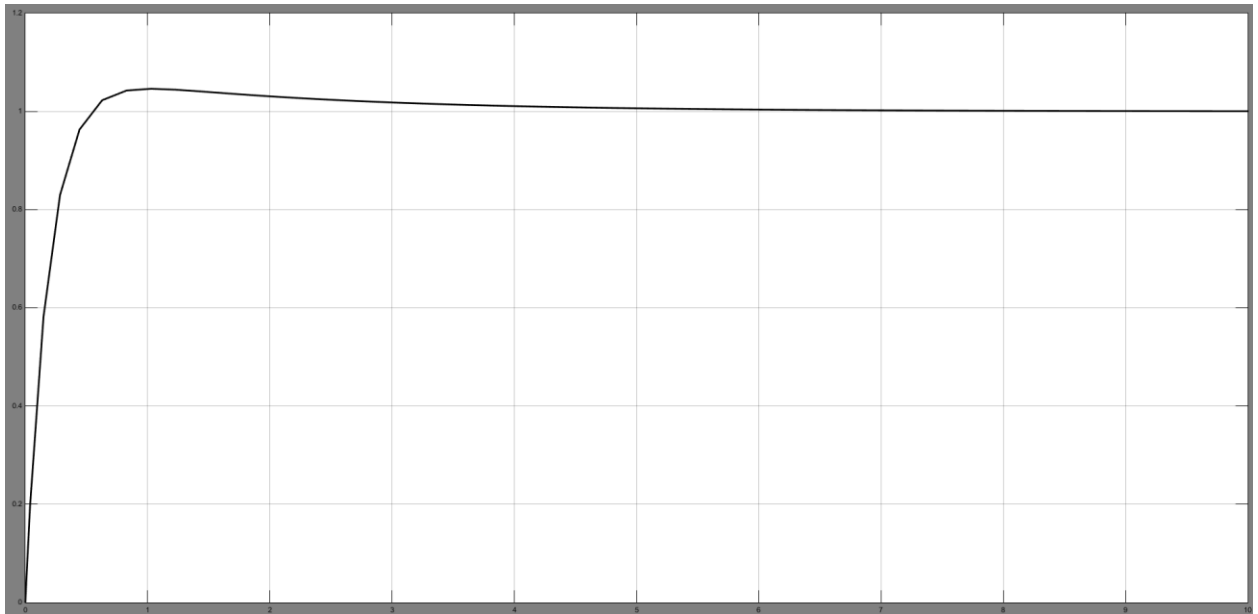


Рисунок 2.3 - Перехідний процес регулювання вологи

РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1. Підбір мікропроцесорного пристрою.

Мікропроцесорний пристрій - це електронна апаратна система, основою якої є мікропроцесор - велика інтегральна схема, призначена для обробки і керування потоками даних за заданою програмою.

Більш детально про основні складові та принцип роботи мікропроцесорного пристрою.

1. Мікропроцесор - виконує операції над даними, зберігає проміжні результати в регістрах, керує роботою всієї системи згідно програми. Складається з арифметико-логічного пристрою, регістрів та блоку керування.
2. Пам'ять - містить програми і дані, може бути постійною (ПЗУ) або оперативною (ОЗУ). Взаємодіє з мікропроцесором через шину даних.
3. Пристрої введення/виведення - забезпечують зв'язок із зовнішніми пристроями, датчиками, виконавчими механізмами.
4. Шини даних, адреси і керування - канали передачі сигналів керування, даних між основними вузлами системи.
5. Таймери і блок живлення - допоміжні компоненти для синхронізації, вимірювання часу, розподілу живлення.

В якості контролера можна обрати Arduino Uno. Він повинен справитися з усіма покладеними на нього завданнями, він має достатню кількість входів, виходів, швидкодію, яка повністю задовільнить наші потреби.

Arduino Uno - це відкрита платформа для розробки електронних пристроїв. Вона заснована на мікроконтролері ATmega328P, який має 14 цифрових входів/виходів, 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перевантаження.

Arduino Uno є популярною платформою для навчання робототехніки та електроніки. Вона проста у використанні та має велику спільноту користувачів, які розробляють і публікують код та схеми.

Arduino Uno можна використовувати для створення різних електронних пристроїв, таких як:

- Роботи
- Сенсорні системи
- Ігрові автомати
- Пристрої автоматизації
- Пристрої контролю

Arduino Uno можна програмувати за допомогою мов програмування C/C++ або Python. Для цього можна використовувати IDE Arduino або інші IDE.

Arduino Uno є доступним і недорогим способом створення електронних пристроїв. Вона є хорошим вибором для початківців і досвідчених розробників електронних пристроїв.



Рисунок 3.1 - Arduino Uno

Ось основні характеристики Arduino Uno:

- Мікроконтролер ATmega328P
- 14 цифрових входів/виходів (6 з них можуть використовуватися як ШІМ-виходи)
- 6 аналогових входів
- Кварцовий генератор 16 МГц
- Роз'єм USB
- Силовий роз'єм
- Роз'єм ICSP
- Кнопка перевантаження

Arduino Uno доступна в різних варіантах виконання, включаючи плату з отворами для монтажу на друкованій платі та плату з контактами для пайки.

3.2. Вибір датчиків.

Датчик температури LM35 - це компактний і простий у використанні інструмент для вимірювання температури, популярний серед початківців і професійних розробників. Ось його ключові характеристики:

Тип виходу: Аналоговий
Діапазон вимірювання температури: від -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$
Вихідна напруга: 10 мВ на градус Цельсія
Точність: До $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ при 25°C
Переваги:

- Простота використання: не потребує додаткових компонентів для вимірювання температури.
- Широкий діапазон вимірювання: підходить для різних проектів.
- Висока точність: забезпечує надійні результати вимірювань.
- Низьке споживання енергії: ідеально для портативних пристроїв.
- Доступна ціна: робить його привабливим для будь-якого бюджету.

Як працює LM35?

- Датчик вимірює температуру навколишнього середовища та перетворює її на аналогову напругу.
- Вихідна напруга пропорційна температурі, тобто, 10 мВ на градус Цельсія.
- Напругу можна легко виміряти за допомогою мікроконтролера або іншого пристрою з аналоговим входом.

Застосування датчика LM35:

- Моніторинг температури в інкубаторах, теплицях, акваріумах, холодильниках тощо.
- Регулювання роботи вентиляторів, нагрівальних елементів та іншого обладнання залежно від температури.
- Збір даних про температуру для наукових досліджень, автоматизації процесів тощо.

Загалом, LM35 - це універсальний і зручний датчик температури, який чудово підходить для різноманітних проектів. Він простий у використанні, точний і доступний, роблячи його популярним вибором для багатьох розробників.



Рисунок 3.2 – Датчик температури LM35

Підключити даний датчик до ардуїно буде за схемою показаною на рисунку 3.3.

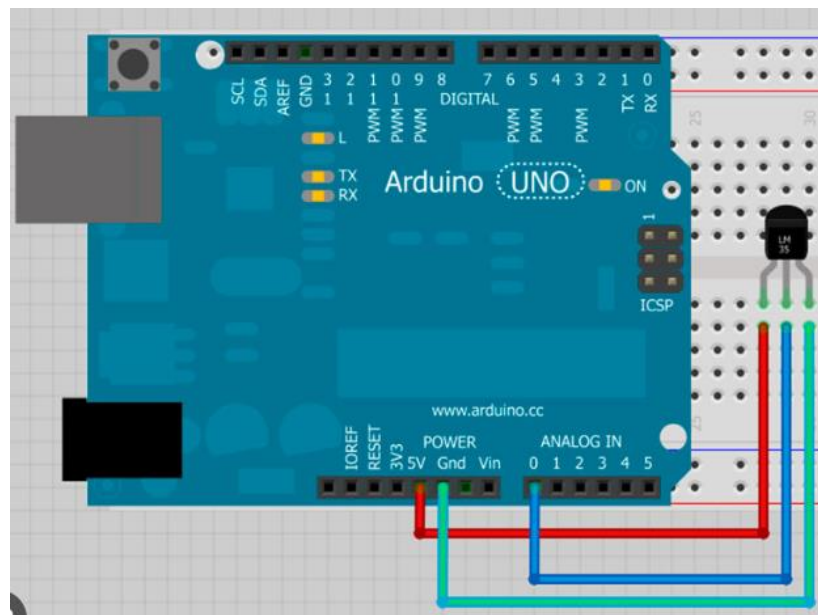


Рисунок 3.3 – Під'єднання датчика температури LM 35 до Arduino UNO

Датчик вологості та температури АМ2320 є цифровим пристроєм для високоточних вимірювань, що має такі основні характеристики:

- Вимірюваний діапазон вологості: 0-100% з точністю +/-3%
- Діапазон вимірювання температури: -40°C...+80°C +/-0.5°C
- Цифровий інтерфейс I2C для передачі даних
- Роздільні сенсори температури і вологості на кристалічній підкладці
- Вбудований АЦП 16 біт з фільтрацією шумів
- Споживання менше 2мА

Принцип дії ґрунтується на вимірюванні ємності і температурного коефіцієнту опору напівпровідникових структур. Мікросхема формує цифровий сигнал, пропорційний виміряним значенням.

Переваги - висока точність, стабільність показань, цифровий вихід, просте підключення. Може використовуватися в інкубаторах, системах клімат-контролю тощо.



Рисунок 3.4 – Давач вологості повітря

Підключається до Arduino UNO наступним чином:

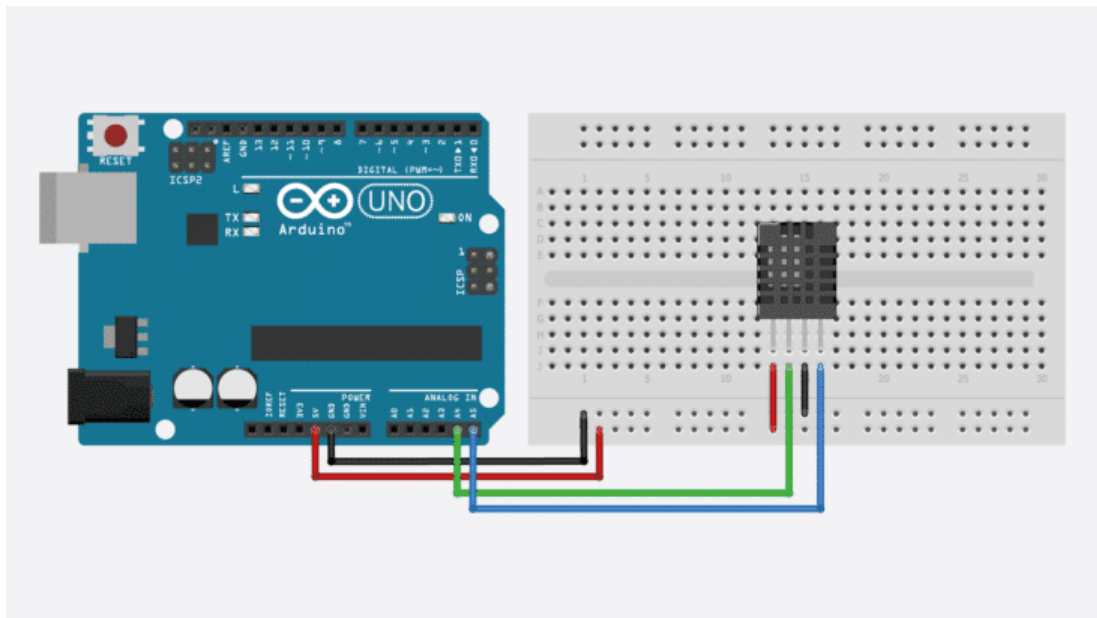


Рисунок 3.5 – Підключення Arduino UNO до датчика вологості

3.3. Підбір виконавчих механізмів

В якості виконавчого механізму в нашій системі використовується ТЕН. Обираємо спеціальний ТЕН, який підійде для нашого інкубатора.



Рисунок 3.6 – ТЕН для інкубатора

З характеристиками ТЕНа, можна ознайомитися у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Характеристики ТЕНа

Характеристика	Значення
Номінальна споживча потужність	1 кВт
Номінальна напруга	220В
Форма	Дуга
Діаметр труби	13 мм
Довжина	800 мм
Нагріває	Повітря
Країна виробник	Україна

Для зволоження повітря в інкубаційній камері можна обрати ультразвуковий зволожувач повітря.

Ультразвукові зволожувачі повітря є ефективним технічним рішенням для підтримання необхідного рівня вологості в приміщеннях, зокрема в інкубаторах для вирощування курчат. Принцип їх роботи базується на утворенні аерозольного туману з дуже дрібних частинок води за допомогою п'єзоелектричного розпилювача, який вібрує на ультразвукових частотах понад 1 МГц.

Коливання розпилювача дозволяють розбити воду з резервуара на мікроскопічні частинки діаметром 1-5 мікрон, які легко разносяться повітряними потоками по всьому об'єму камери інкубатора, рівномірно її зволожуючи. На відміну від звичайних зволожувачів, ультразвукові виробляють набагато дрібніші частинки туману, котрі довше знаходяться у завислому стані і краще взаємодіють з повітрям, зволожуючи його.

Продуктивність системи контролюється гігростатом залежно від показників вимірюваної вологості всередині камери. Основними перевагами ультразвукових зволожувачів є рівномірність зволоження, відсутність білого нальоту чи плям від конденсату, економне витрачання ресурсів, а також можливість автоматизації процесу для підтримки оптимальних параметрів вологості інкубації на рівні 60-65%.



Рисунок 3.7 – Ультразвуковий зволожувач ASSA

Характеристики зволожувача представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики зволожувача.

Характеристика	Значення
Напруга живлення	24 В 1 А
Довжина кабелю	1 м
Потужність	19 Вт
Робоча температура	5-45 °С
Погрузка під воду	20 – 50 мм
Керування	так

Для того щоб гаряче повітря рівномірно розподілялося по рівням інкубатора, необхідно встановити кулер, який буде направляти гаряче повітря на секції з яйцями. У якості кулера обираємо кулер потужністю 18 Вт. Він вологостійкий та має металевий корпус та металеві лопаті що дає стійкість до температури. Кулер зображено на рисунку 3.8. Керується дискретним сигналом (вкл/викл). З характеристиками даного кулера можна ознайомитися у таблиці 3.3.



Рисунок 3.8 - Кулер 18 Вт

Таблиця 3.2 – Характеристики кулера

Характеристика	Значення
Напруга живлення	220 В
Споживча потужність	18 Вт
Діаметр	130 мм
Вологостійкість	IP67
Виробник	Україна

3.4. Підбір електроніки.

Для коректної роботи системи необхідно обрати деякі електронні пристрої, такі як ЖК дисплей для відображення інформації, твердотілі реле для керування потужними виконавчими механізмами, блок живлення, та автоматичний вимикач для захисту.

Автоматичний вимикач пропоную обрати двополюсний, на 16 А. Для цього добре підійде варіант - ВА47-29 ІЕК. Даний вимикач зображено на рисунку 3.9. А характеристики його можна побачити у таблиці 3.3.



Рисунок 3.9 – Автоматичний вимикач ВА47-29 ІЕК

Таблиця 3.3 – Автоматичного вимикача ВА47-29 ІЕК

Параметр	Значення
Номінальний струм	16А
Характеристика відключення	С
Кількість полюсів	2Р
Ступінь захисту	IP20
Номінальна вимикальна здатність	4,5кА
Січення вхідного кабелю	25 мм ²
Номінальна робоча напруга	230/400 В
Тип монтажу	На DIN-рейку
Електрична зносостійкість, циклів В/О	6 000
Механічна зносостійкість, циклів В/О	20 000

ЖК дисплей обираємо LCD 1602, він гарно працює з Arduino UNO, може відображати одразу 2 параметри, наприклад зверху температуру, знизу – вологість. Також в ЖК дисплеї легко реалізовується найпростіше меню керування, наприклад для зміни режиму керування з автоматичного в ручне і навпаки, та інші функції в залежності від потреб.

Виглядає ЖК дисплей зображено на рисунку 3.10 і відповідно ознайомитися з його характеристиками можна у таблиці 3.4.



Рисунок 3.10 – LCD дисплей 1602

Таблиця 3.4 – Характеристики LCD дисплей 1602

Характеристика	Значення
Напруга живлення	5 В
Розміри екрани	64 x 15 мм
Розміри	80 x 36 x 11 мм
Розрядність	16
Кількість рядків	2

Твердотілі реле обираємо по параметрам керуючої напруги та по напрузі перемикання. У нашій системі присутні виконавчі механізми з напругою живлення 220 В 50 Гц, та 24 В постійної напруги. Тому відповідно обираємо 2 однофазних реле SSR-40DA 40A DC-AC (рис. 3.11) та одне реле SSR-25 DD 25 A DC-DC (рис. 3.12).



Рисунок 3.11 - Твердотіле реле SSR-40DA 40A DC-AC



Рисунок 3.12 – Твердотіле реле SSR-25 DD 25 A DC-DC

Характеристики реле відображаються у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики твердотілих реле

Характеристика	SSR-40DA	SSR-25 DD
Струм навантаження	40А	25А
Напруга живлення, U_i	2.5-10 В	3-32 В
Максимальна напруга комутації	660 В	600 В
Тип керуючого сигналу	4-20 мА	0-10 В
Споживаний струм, не більше	50 мА	36 мА
Термін служби, не менше	100 000 циклів	100 000 циклів
Затримка вмикання/вимикання	10/10 мс	20/200 мкс
Температурний діапазон	-30С...+70С	-40С...+100С
Габаритні розміри	96x87x28 мм	50x38x24 мм

Також для системи необхідно обрати блок живлення, він буде живити ультразвуковий генератор пари, а також усю логіку. Для цього вистачить блока живлення потужністю 72 Вт. Блок живлення LT 72W 24V 3A (рис.3.13) підходить для нашої системи і може бути використаним для інкубатора.



Рисунок 3.13 - Блок живлення LT 72W 24V 3A

Таблиця 3.6 – Характеристики блока живлення LT 72W 24V 3A

Параметр	Значення
Вихідна потужність	72 Вт
Вихідна напруга	24 В \pm 3%
Вихідний струм	3 А \pm 5%
Вхідна напруга	176-264 В, 50/60 Гц
ККД	\geq 85%
Коефіцієнт пульсацій	\leq 120 мВ
Захист від перенавантаження	Є
Захист від короткого замикання	Є
Захист від перегріву	Є
Робоча температура	-20°C...+50°C
Макс. вологість повітря	95% без конденсату
Індикація живлення	Є
Габарити ДхШхВ	140x72x32 мм

Після здійснення підбору усіх необхідних засобів автоматизації, можемо розробити електричну – принципову схему. Вона зображена на рисунку 3.13 та рисунок 3.14.

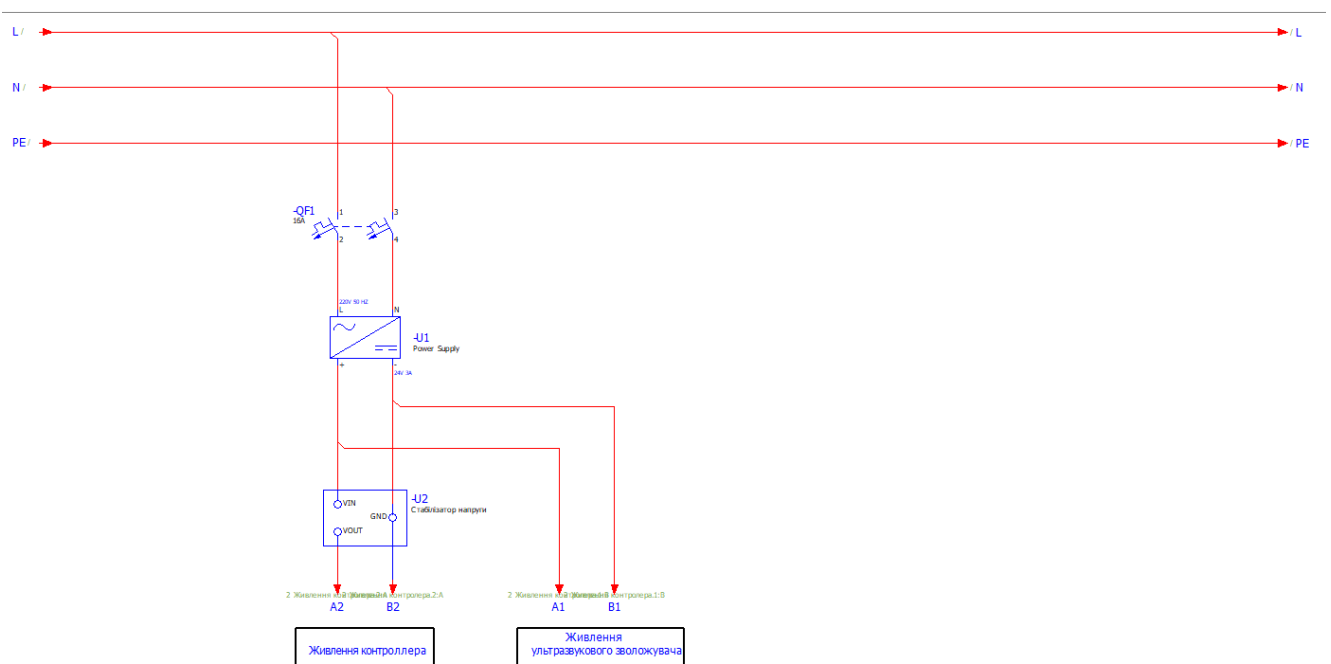


Рисунок 3.13 – Електрично-принципова схема живлення

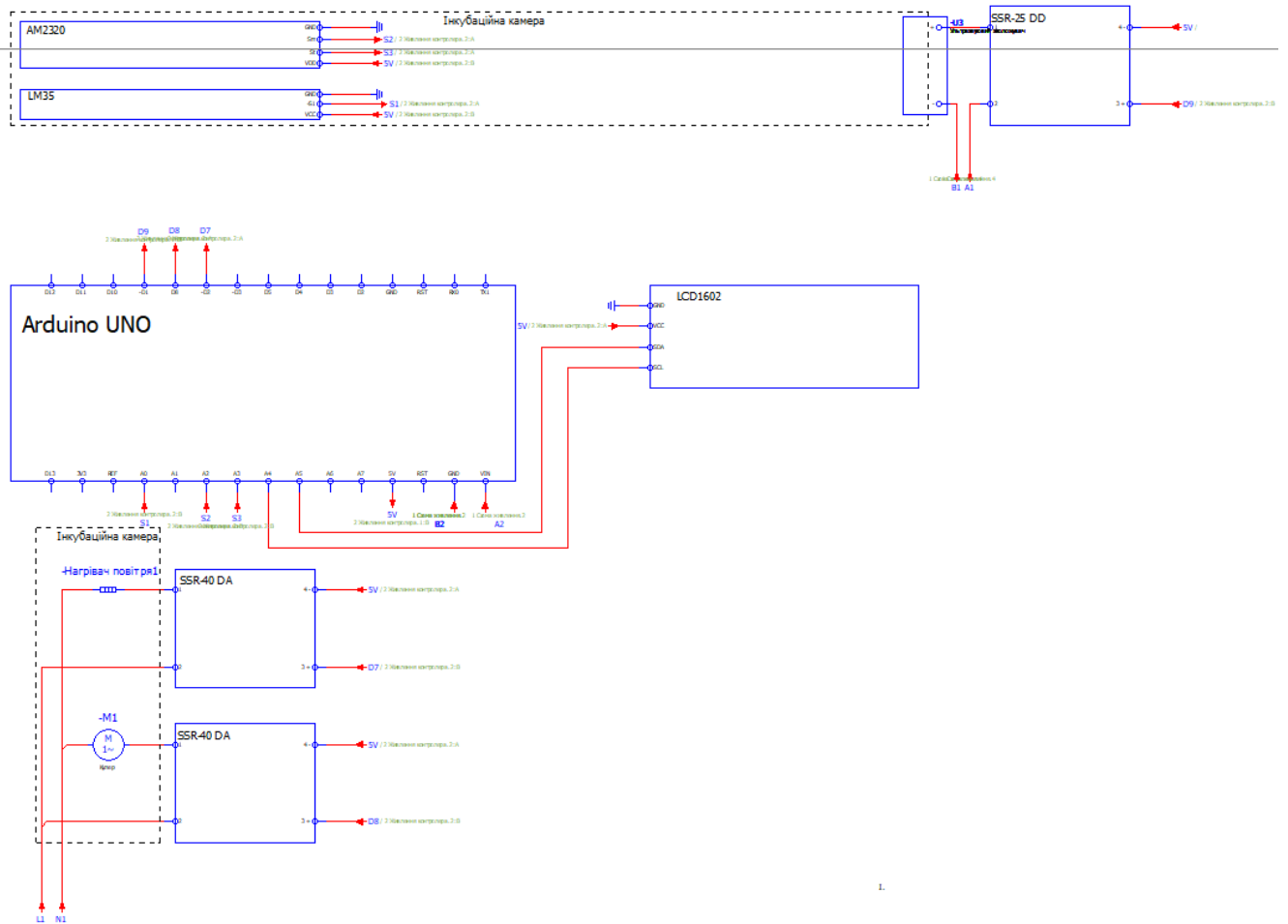


Рисунок 3.14 – Електрично-принципова схема

3.5. Розробка алгоритму

Розробка алгоритму роботи багаторівневого інкубатора. Алгоритм можна подати у вигляді блок-схеми. Блок схема зображена на рисунку 3.15.

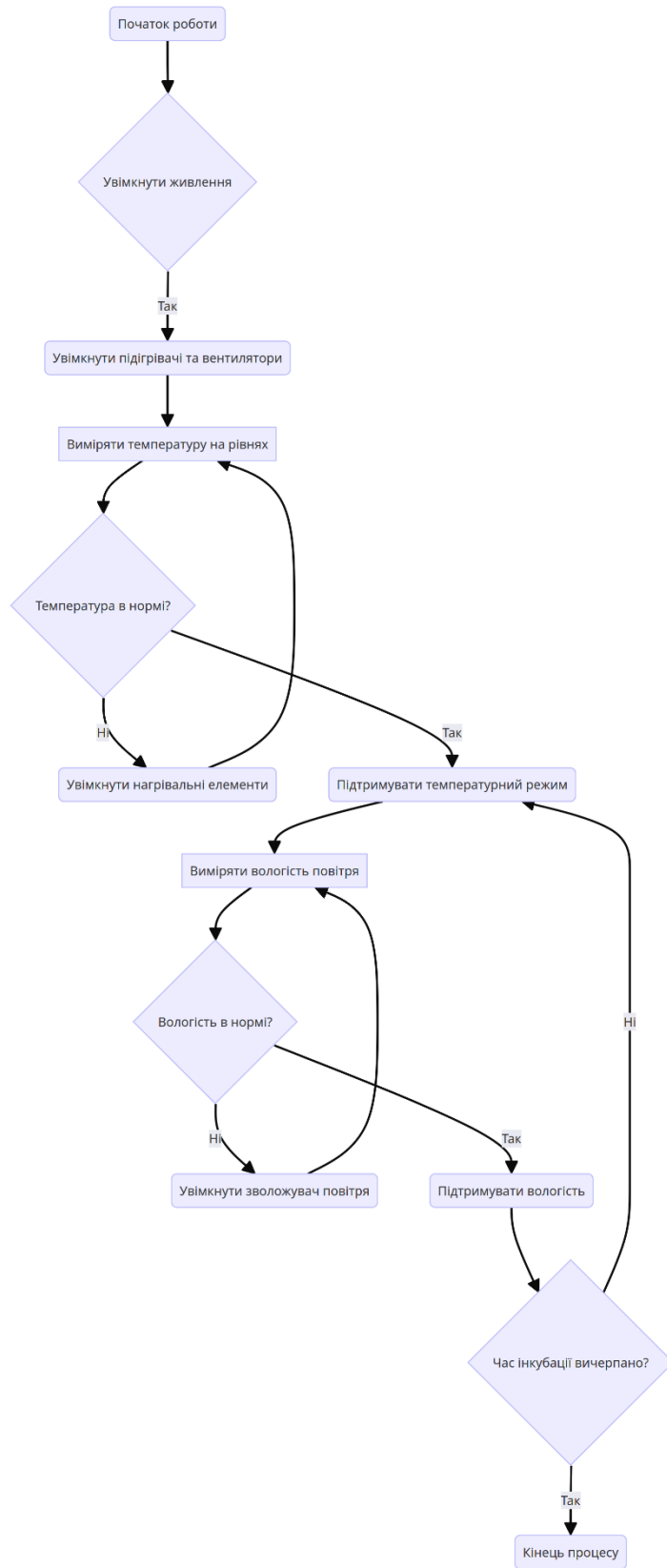


Рисунок 3.15 – Блок-схема алгоритму роботи системи багаторівневого інкубатора

ВИСНОВОК

У роботі розглянуто актуальну науково-практичну задачу підвищення ефективності систем автоматичного регулювання температурного режиму багаторівневих інкубаторів.

Проведений аналіз існуючих технічних рішень дозволив виявити недоліки в підтриманні стабільності температури на окремих рівнях через вертикальний градієнт.

Відображено математичну модель теплопередачі та теплообміну в багаторівневому інкубаторі з урахуванням просторового розподілу температурного поля. На її основі розроблено ефективні алгоритми оптимального керування температурою з використанням сучасних засобів автоматизації. А також промодельовано процес регулювання температури та вологи у пакеті MatLab Simulink.

Розроблена система має ряд переваг перед існуючими системами:

- Вона забезпечує більш точну підтримку температури в інкубаторі, що дозволяє підвищити якість вирощування птахів.
- Система є більш адаптивною до змін умов навколишнього середовища, що дозволяє підвищити її надійність.
- Система є більш простою у використанні, що дозволяє економити час та людські ресурси.

Також було здійснено підбір технічних засобів автоматизації, а саме:

- Мікропроцесорний пристрій;
- Датчики;
- Виконавчі механізми;
- Електроніка (автомати, БЖ, дисплей та автоматичний вимикач).

Завдяки технічним засобам, маємо змогу побудувати систему керування і оптимізувати процес регулювання температури та вологості всередині багаторівневого інкубатора.

Результати даної роботи апробовані на науковій конференції, що відбулася восени 2023 року в СумДУ та надруковані в «Автоматика, електромеханіка і

системи управління: матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих учених, Суми – Астана, 24-28 квітня 2023р. / відп. за вип. О.О.Дрозденко. – Суми: СумДУ, 2023. – с.262»

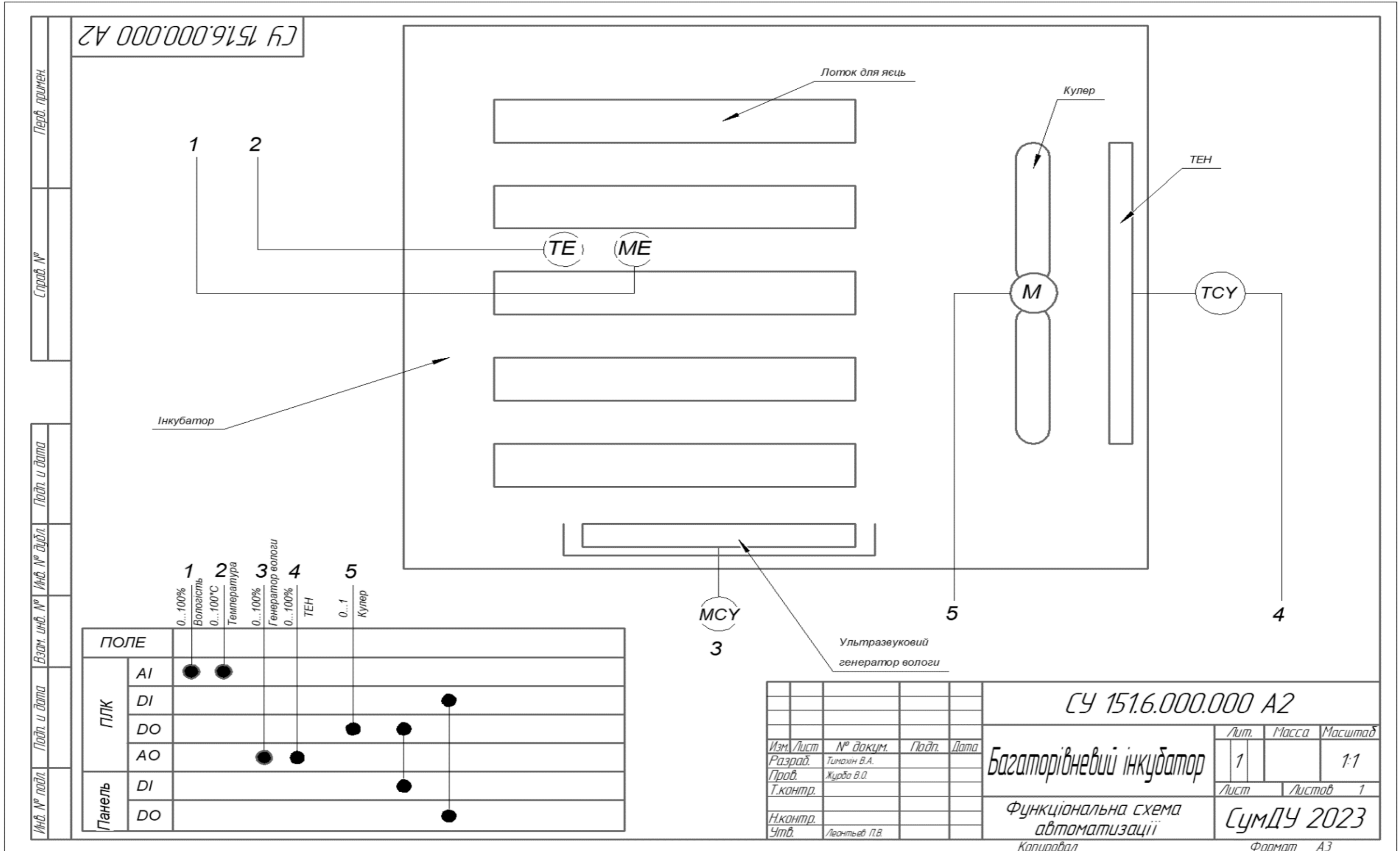
До того ж розроблено основні схеми автоматизації, такі як ФСА, Електрично-принципова схема та алгоритми роботи багаторівневого інкубатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов І.І. Інноваційні технології в інкубації. Київ: Аграр Медіа Груп, 2019. 240 с.
2. Савченко О.В. Автоматизація технологічних процесів тваринництва. Житомир: Полісся, 2018. 302 с.
3. Ющенко А.С. Моделювання процесів тепломасообміну. Львів: Новий Світ, 2020. 385 с.
4. Лейко Д. П., Радько М. М. Методи оптимізації систем керування тваринницькими комплексами. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2021. № 332. С. 141-149.
5. Modern Solutions for the Development of Agricultural Engineering: Collective Monograph / Aliiev E.V. et al. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2022. 388 p.
6. Muhammad Afzal. Design and Development of Automatic Multistage Multipurpose Agricultural Incubator with Remote Monitoring. International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS). 2021, Vol. 21, No 5. P. 216-225.
7. Бобровник С.В. Моделювання процесів інкубації яєць птиці. Праці ТДАТУ. 2018. Т. 18. № 3. С. 160-168.
8. Ханов В.О., Гвоздєв О.В. Електроприводи автоматизованих систем у птахівництві. Вінниця: ВНАУ, 2017. 215 с.
9. Ткачук О.А., Куцакова Л.В. Інформаційно-вимірювальна система моніторингу мікроклімату свинарських приміщень. Науковий вісник НЛТУ України. 2022. Т. 32. № 3. С. 119-124.
10. Li T., Yin Y., Hu H., Wang L., Yang X. Research progress and prospects of facility agriculture environment control technologies. Applications of Agricultural Engineering 2020 Vol.1 No.1. P. 1-14.
11. Deepanshu, Randhir Kumar, Brijesh Iyer. IoT Based Design and Development of Poultry Farm Monitoring System. Procedia Computer Science. 2022. Vol 197. P. 85-95.

12. Величко О., Пермяков А. Автоматизированные системы микроклимата в животноводстве. Молочное и мясное скотоводство. 2018. №8. С. 24-26.
13. Гриб Й.В., Новіцька Н.В., Сук П.Л. Мікроклімат тваринницьких приміщень та методи його автоматичного регулювання: навч. посіб. Харків: Еспада, 2020. 188 с.
14. Клименко О.Ю., Патица Н.І., Патица В.П. Автоматизація та роботизація технологічних процесів тваринництва. К.: ЦП «Компринт», 2020. 404 с.
15. Shah S.A.A., Wu M., Ahmad T. et al. Optimized real-time monitoring systems of poultry farm using wireless sensor networks powered by micro-harvesters. *Comput Electron Agric.* 2020 Aug;173:105379.
16. Семенов В., Рудь А. Моделювання процесу теплопередачі в інкубаційному шафі. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2022. № 351. С. 142-153.
17. Zhao Y., She S., Zhang J., Ji W., Shi C., Xi L., He S., Zhang H., Wang Y. Ensemble deep learning model for forecasting temperature and humidity of ventilation-controlled poultry houses. *Biosystems Engineering.* 2022, Vol 214, P. 199-212.
18. Стефанишин Д.В. Інтелектуальна система керування мікрокліматом тваринницьких приміщень на основі нейромережевої моделі. Науковий вісник НЛТУ України. 2022. Т.32, №1. С. 88-94.
19. Cho J., Heo J., Bang H., Park D.-K., Kim Y., Kim B. Convolutional LSTM Network-Based Deep Learning Modeling for Predicting Attic Temperature in Broiler Houses. *Agronomy* 2022, 12, 476.

ДОДАТОК А



СУ 151.6.000.000 А2

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл.

ПОЛЕ	1	2	3	4	5
Вологість	●	●			
Температура					
Генератор вологи			●	●	
ТЕН				●	
Кулер					●

ПЛК	AI	DI	DO	AO
AI	●	●		
DI			●	
DO				●
AO			●	●

Панель	DI	DO
DI		●
DO		●

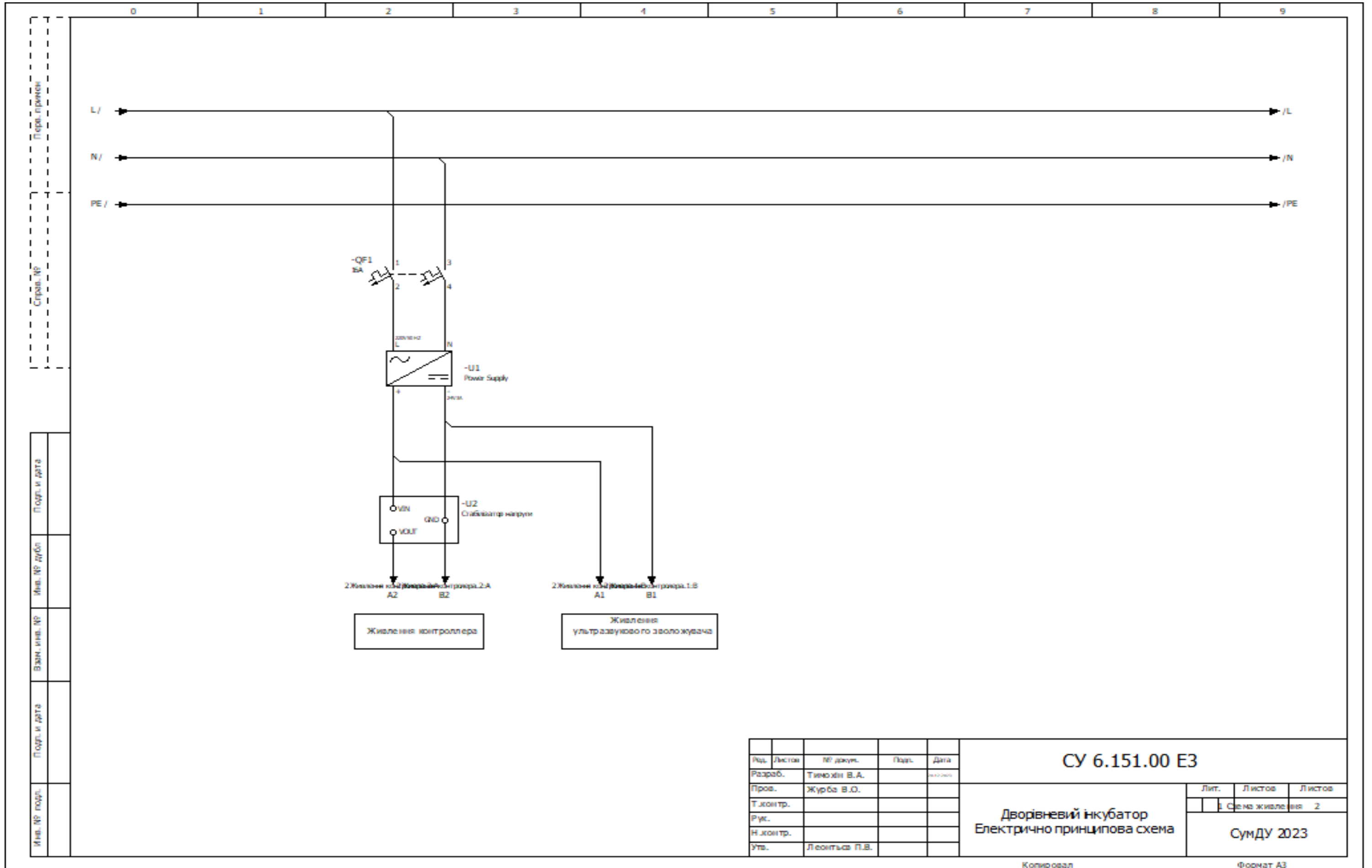
МСУ
3

5

4

СУ 151.6.000.000 А2			
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Тимохин В.А.		
Проб.	Журба В.О.		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.	Леонтьев П.В.		
Багаторівневий інкубатор			Лист 1
Функціональна схема автоматизації			Листов 1
Копировав			СУМДУ 2023
			Формат А3

ДОДАТОК Б



Инд. № докум.	Подп. и дата
Взам. инв. №	
Инд. № дубл.	
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

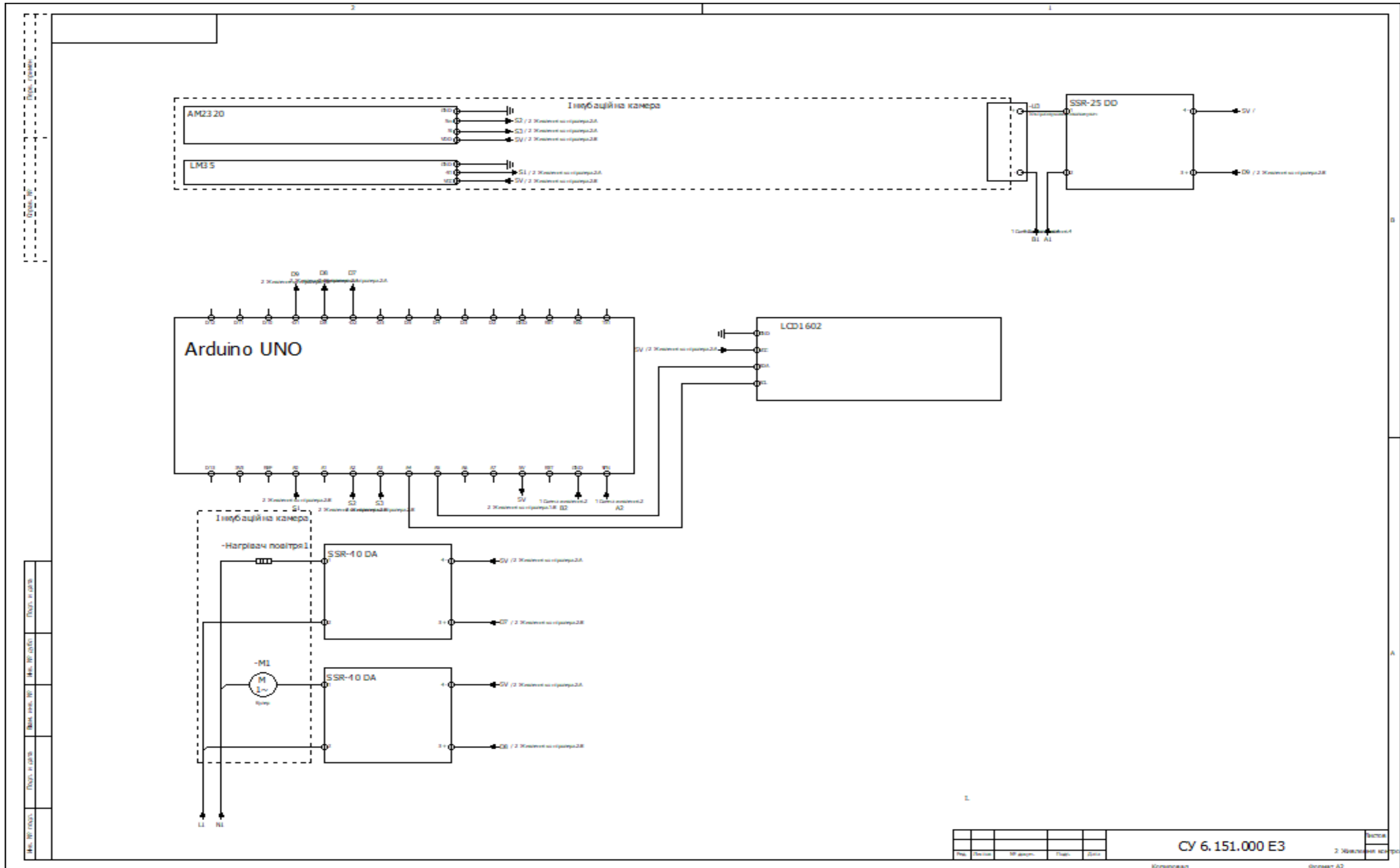
Ред.	Листов	№ докум.	Подп.	Дата
Разроб.		Тимохин В.А.		2023.05.15
Прое.		Журба В.О.		
Т.контр.				
Рус.				
Н.контр.				
Утв.		Леонтьев П.В.		

СУ 6.151.00 ЕЗ

Дворівневий інкубатор
Електрично принципова схема

Лит.	Листов	Листов
1	1	2

СумДУ 2023



№ з/п	№ з/п	№ з/п	№ з/п	№ з/п
1	2	3	4	5

ДОДАТОК В

