

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Дворник Олександр Олександрович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-20ск-1

(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

**за освітньо-професійною програмою** 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

**на тему** Автоматизація устаткування для сушіння макаронних виробів

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ас. Карпенко О.В.			
Провідний консультант	ас. Карпенко О.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	доц. Соснін К.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

**Дніпро**  
**2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем  
(повна назва)

Бублік А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавр**

студенту Дворник О.О. академічної групи 151-20ск-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Автоматизація устаткування для сушіння макаронних виробів  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 328-с від 08.05.2023 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	01.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	10.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	15.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	25.05.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	31.05.2023

Завдання видано

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

ас. Карпенко О.В.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.05.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2023

Прийнято до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Дворник О.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 92 стор., 49 рис., 16 табл., 1 дод.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування безперервною сушаркою макаронних виробів G1000-D2.

Об'єкт дослідження - сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка використовується на підприємстві ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» м. Луцьк.

Предмет дослідження – модель сушарки макаронних виробів G1000-D2.

Мета роботи - розробка моделі об'єкта керування для регульованої вологості макаронних виробів в залежності потужності електронагріву. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані. Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування сушарки макаронних виробів G1000-D2.

В розділі охорона праці проведена оцінка умов, у яких проводилась кваліфікаційна робота, розроблені заходи по створенню безпечних і здорових умов праці, раціональної організації робочого місця, розраховане штучне освітлення, розглянуті заходи по нормалізації параметрів мікроклімату, оцінена характеристика приміщення по пожежній безпеці, розроблені протипожежні заходи та обрані засоби гасіння пожеж.

МАКАРОННІ ВИРОБИ, ПОТУЖНІСЬ ТЕН, ВОЛОГІСТЬ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДАТЧИК, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 ТОВ «Продовольча компанія «Заграва»	9
1.2 Технологічна схема виробництва макаронних виробів	15
1.1.1 Класифікація устаткування макаронного виробництва	15
1.2.2 Технологічна схеми виробництва	16
1.2.3 Сушка макаронних виробів	17
1.3 Об'єкт керування	19
1.3.1 Загальні відомості	19
1.3.2 Характеристика об'єкта керування	21
1.3.3 Структура об'єкту керування	23
1.4 Формулювання задачі дослідження	24
1.5 Висновки за розділом	25
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	27
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	27
2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	29
2.2.1 Вибір датчиків	29
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв	32
2.2.3 Вибір пристроїв керування	35
2.2.4 Вибір джерел живлення	40
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	42
2.4 Розробка схеми електричної принципової	44
2.5 Висновки за розділом	46
3 Визначення моделі об'єкта керування	47
3.1 Загальні відомості	47
3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	48
3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування	50
3.4 Виконання експерименту	51

	5
3.5 Обробка результатів експерименту	55
3.5.1 Підготовка даних	55
3.5.2 Структурна ідентифікація	57
3.5.3 Параметрична ідентифікація	61
3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	64
3.5.5 Перевірка моделі на адекватність	66
3.6 Висновки за розділом	68
4 Економічна частина	69
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	69
4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування	70
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	71
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	71
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	73
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	74
4.4.1 Амортизація основних фондів	74
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	75
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	76
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	76
4.4.5 Витрати на електроенергію	76
4.4.6 Інші витрати	77
4.5 Висновки за розділом	77
5 Охорона праці	78
5.1 Оцінка умов, у яких проводилась кваліфікаційна робота	78
5.2 Заходи по створенню безпечних і здорових умов праці	79
5.2.1 Раціональна організація робочого місця	79
5.2.2 Розрахунок штучного освітлення	80
5.2.3 Заходи по нормалізації параметрів мікроклімату	83
5.3 Характеристика приміщення по пожежній небезпеці	83
5.4 Протипожежні заходи	84
5.5 Засоби гасіння пожеж	84

	6
5.5 Висновки за розділом	85
Висновки	86
Перелік посилань	89
Додаток А	93
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	94
Відгук	96
Рецензія	98

## ВСТУП

Макарони є одним з найпоширеніших і популярних основних продуктів харчування завдяки своїй смаковій та харчовій цінності, зручності та універсальності. Що щорічно в усьому світі виробляється близько 14,3 млн тон макаронних виробів. Основним виробником є Італія, за нею йдуть США, Бразилія, Туреччина. Основними споживачами макаронних виробів є італійці з 23,1 кг на душу населення на рік, за ними йдуть тунісці (17 кг), венесуельці (12 кг) і греки (11,4 кг). Згідно з італійським законодавством, «сушені макарони» повинні вироблятися з водою і твердими сортами пшениці.

Хоча в інших країнах світу (крім Франції та Греції) пшениця звичайна може використовуватися для виробництва макаронних виробів, загальновідомо, що тільки тверді сорти пшениці можуть забезпечити найкращу якість продукції. Однак слід зазначити, що звичайна пшениця приблизно на 20...25 % дешевша за тверду, що робить її цікавою сировиною для світового виробництва завдяки високій доступності та економічній відносно низькій вартості.

Макарони відіграють ключову роль у середземноморській дієті. ВООЗ (Всесвітня організація охорони здоров'я) і ФАО (Продовольча і сільськогосподарська організація ООН) описали макарони як здорову, стійку і якісну модель харчування. Більш того, в 2010 році ЮНЕСКО (Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури) оголосила макарони нематеріальною культурною спадщиною людства. Однією з головних причин успіху макаронних виробів є їх харчовий профіль. Дійсно, макаронні вироби, як правило, дуже поживні, завдяки низькій кількості жирів і легкозасвоюваних вуглеводів. Крім того, макарони можуть постачати корисні компоненти, такі як клітковина або пребіотики. Низька вартість і тривалий термін зберігання макаронних виробів роблять їх популярними у багатьох самих різних груп споживачів.

Незважаючи на те, що вони вважаються традиційним продуктом, макаронні вироби (і макаронний сектор у більш широкому сенсі) змогли розвиватися

протягом багатьох років, щоб задовольнити потреби ринку, який розширився з Італії по всьому світу за рахунок підвищення ефективності виробництва, з одного боку, і підвищення якості продукції з гігієнічних, смакових та споживних точок стоять з іншого. Вищезазначені аспекти є рушійною силою макаронних інновацій. Різні пропозиції, присутні на ринку, включаючи цільнозернові, багатозернові, безглютенові, бобові та макаронні вироби, збагачені овочами, є прикладами інновацій продуктів.

Споживачі, безумовно, цінують смак і корисні властивості макаронних виробів, збагачених клітковиною. Однак споживачі ігнорують проблеми виробництва таких продуктів, ноу-хау та інновацій у переробці, що стоять за кожною упаковкою макаронних виробів.

Розуміння взаємозв'язку між змінами обробки та якістю макаронних виробів має важливе значення для «переробки» процесу, коли використовується альтернативна сировина (тобто інгредієнти, відмінні від муки твердих сортів пшениці) [5].

Автоматизація технологічних процесів з випуску продуктів харчування є швидко зростаючий тренд. Особливо під час пандемії Covid-19 багато виробників почали замінювати ручні робочі кроки повністю автоматизованими рішеннями, які допомагають виробникам продуктів харчування досягти своїх виробничих цілей на високому рівні ефективності та якості. Незалежно від того, буде автоматизована обробка продукції на одній технологічній машині або при автоматизації всієї лінії, все одно автоматизація значно поліпшує багато показників технологічного процесу [6].



## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 ТОВ «Продовольча компанія «Заграва»

Кожен українець протягом року має з'їсти 4 кг макаронних виробів, саме така базова цифра закладена у споживчий кошик, що затверджений Кабміном.

У м. Луцьк працює ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» яка зареєстрована під торговою маркою «Makarella». «Продовольча компанія «Заграва» виробляє макаронну продукцію з борошна високої якості.

Виробничий процес виготовлення макаронних виробів починається з проведення всіх необхідних лабораторних досліджень, метою якого є контроль відповідності якісним показникам та показникам безпечності. Наступним етапом є переробка цього борошна. Спеціалізованим автотранспортом перекачують його у виробничі бункери, що виключає можливість змішування сировини з різними якісними показниками.



Рисунок 1.1 - Борошновоз

Для якісного виробництва макаронних виробів використовують борошно з високим вмістом клейковини та білка. Ці зазначені параметри є дуже важливими, бо від їх показників залежить міцність, гладкість структури, колір макаронних виробів і в кінцевому рахунку вміст в них білків та вуглеводів.

Сировина для виробництва макаронних виробів використовується з Вінницького регіону. Це дозволяє контролювати якість зерна для виготовлення борошна з екологічно чистого зерна, яке завдяки багатим ґрунтам та належного клімату більше збагачене важливими поживними речовинами.



Рисунок 1.2 - Продукція торгової марки «Makarella»

Після проведених лабораторних випробувань якості борошна, воно потрапляє у бункери, де його просівають через систему сит. Далі це борошно очищують від металоманітних домішок. Далі здійснюється технологічний процес з підігріву борошна.



Рисунок 1.3 - Борошно

Наступним етапом є використання тістомісильної машини (з тиском у 80...120 атм), де здійснюється змішування води та борошна. Для приготування

високоякісного макаронного тіста використовується лише питна вода, яка проходить попередній складний процес очистки і фільтрації.

Тісто у камері-пресі замішується упродовж 20 хв.. Наступним етапом є транспортується до вакуумної камери, де вакуумний насос відкачує повітря з тіста, щоб воно значно ущільнилося. Це необхідно для того щоб воно далі поступало в шнекову камеру для пресування.



Рисунок 1.4 - Тістомісильна камера-прес

Завдяки застосуванню глибокого вакуумування у тістовій камері та правильному процесу сушіння макарони виробу не злипаються між собою і зберігають привабливий натуральний запах, колір і форму.

Після замісу тіста, воно потрапляє у шнек-камеру пресу, де проходить через матрицю, вага якої сягає 120 кг, яка і надає макаронам кінцевої відповідної форми. Кожен вид продукції потребує відповідні матриці: ракушки, павутинка, ріжки, спіраль. Форма макаронних виробів повинна зберігатися на усіх наступних етапах виробництва.

Далі здійснюється процес підготовки відформованого напівфабрикату до сушки. Ця обробка включає в себе різку тіста, розкладку і обдувку. Тісто ріжуть за допомогою металічних ножів, які можуть обертатися з різною швидкістю, залежно від виду продукту.



Рисунок 1.5 - Матриця



Рисунок 1.6 - Лінія для виробництва макаронів



Рисунок 1.7 - Лінія попередньої сушки макаронів

Наступним етапом технологічного процесу є попередня підсушка, яка триває 3...5 хв. і за цей час макаронні вироби втрачають до 3 % вологи.



Рисунок 1.8 - Транспортування макаронів у сушильну установку

Після підсушування макаронні вироби потрапляють в основну сушку (процес відбувається майже 3...6 г). Макаронна продукція проходить декілька ярусів і контролюється датчиками з визначення відносної вологості і температури на початку і в кінці сушки.

На виході з сушильної камери макаронні вироби є дуже гарячими і тому їх треба охолодити. У холодильник подають холодну воду, і макаронні вироби охолоджують повітрям. Після охолодження продукція ковшовим елеватором направляється у бункери для стабілізації.



Рисунок 1.9 - Транспортування макаронів у бункери

Далі висушену макаронну продукцію транспортують у бункери-накопичувачі, яких на підприємстві є п'ять одиниць, кожен з них на 3...3,5 тон макаронних виробів.

Далі з бункерів макаронні вироби транспортують на столи з решітчастим дном (своєрідним ситом) для подальшого сортування та пакування.



Рисунок 1.10 - Сито для сортування макаронів

Упаковка це обов'язковий кінцевий етап виробництва макаронних виробів. Продукція фасується двома сучасними автоматами, які фасують продукцію масою 0,4, 0,7, 1, 2, 3 кг.



Рисунок 1.11 - Фасувальна машина

Пакувальний автомат на пачках з макаронами ставиться дата та спаюється упаковка. У процесі фасування та пакування, макаронні вироби контролюються за дотриманням маси пакувальних одиниць.

Наступним етапом виробництва є пакування макаронів у пакети з поліпропіленового рукава по 10...12 кг або у мішки по 20 кг, залежно від замовлення.

Запаковані макаронні вироби вантажать на піддони і перевозяться у склад готової продукції, де відбувається відвантаження продукції замовникам.

На підприємстві пріоритетним заданням на сьогодні є виготовлення та забезпечення споживачів продуктом найвищої якості. Пріоритетним сьогодні є український ринок, зокрема Західний регіон України.

Планова потужність лінії з виготовлення макаронних виробів становить 1 600 кг/г.

Підприємство реалізовує продукцію як в Україні, так і за кордоном. Працює з такими всеукраїнськими мережами, як «Сільпо», регіональними – «Вопак», «Пакко», «ТамТам», «Салют», «Наш край», «Колібрис».

Експортує продукцію в Польщу, Молдову, Грузію [4].

## **1.2 Технологічна схема виробництва макаронних виробів**

### **1.1.1 Класифікація устаткування макаронного виробництва**

На підприємстві ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» виробляють довгі і короткі макаронні вироби. При цьому макарони бувають лише довгими: вермішель і локшина – як довгими так і короткими. До коротких виробів, які можуть бути коротко-різаними або штампованими, відносяться також деякі види трубчастих виробів (ріжки, пір'я) і фігурні вироби.

Технологічне устаткування для виготовлення макаронних виробів на підприємстві можна розділити на наступні технологічні групи:

- 1 – устаткування для підготовки муки до виробництва;
- 2 – устаткування для виготовлення сирих виробів;
- 3 – устаткування для оброблення сирих виробів;
- 4 – сушильне устаткування;
- 5 – устаткування для накопичення і стабілізації висушених виробів;
- 6 – фасувальне устаткування;
- 7 – устаткування складів готової продукції.

На сучасних макаронних підприємствах експлуатується наступне основне технологічне устаткування:

1. Шнекові преси;
2. Катучі столи для укладання і різання макаронів в лоткових касетах;
3. Розкладальна-різальні машини для макаронних виробів;
4. Механізми для різання коротких макаронних виробів;
5. Шафові безкалориферні сушарки і сушарки безперервної дії і для сушки макаронних виробів в лоткових касетах;
6. Автоматичні поточкові лінії для виробництва довгих і коротких макаронних виробів;
7. Фасувальні автомати і напівавтомати.

### 1.2.2 Технологічна схеми виробництва

Основні технологічні схеми виробництва наведена на рис. 1.12.

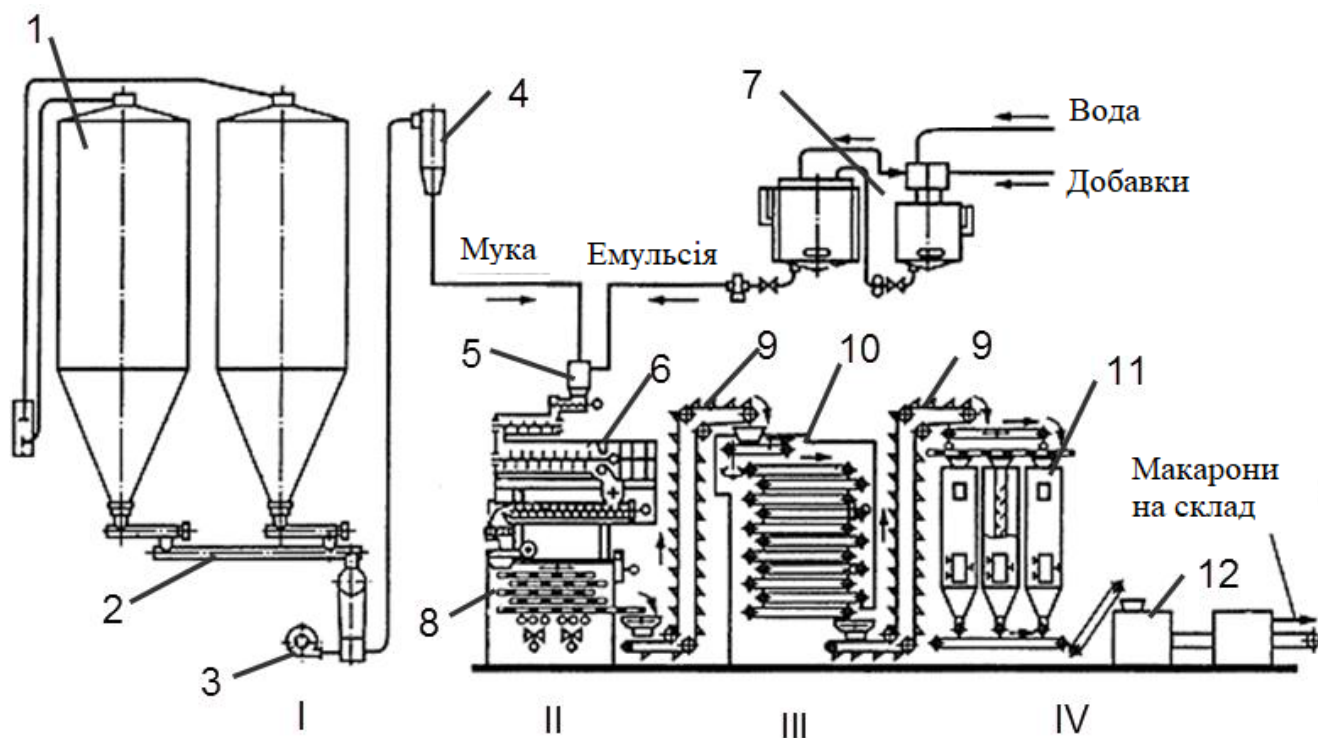


Рисунок 1.12 - Технологічна схема виробництва макаронних виробів

- |                                      |  |                      |
|--------------------------------------|--|----------------------|
| 1 – бункерні силосу;                 | 2 – шнековий конвеєр;                              | 3 – вакуумний насос; |
| 4 – бункер - накопичувач;            | 5 – дозатор муки і води;                           | 6 - прес;            |
| 7 – пункт підготовки води і добавок; | 8 – пристрій попередньої сушки макаронних виробів; |                      |
| 9 - елеватор;                        | 10 - сушарка;                                      |                      |
| 11 – накопичувач - охолоджувач;      | 12 - фасовка;                                      |                      |
- I, II, III, IV - етапи виробництва



Наведена технологічна схема виробництва макаронних виробів дозволяє представити послідовність процесів виробництва макаронних виробів (4 етапи):

I. мука з борошняних силосів шнеком, через просіювачель, подається в дозатор преса, куди також поступають вода і добавки (яйце);

II. приготування тесту, пресування і обдування здійснюється на пресі (шнековому);

III. після випресовки, макаронні вироби відрізаються різальним апаратом і через катучі столи і розкладальники, подаються в сушильні камери;

IV. після сушки вироби поступають в охолоджувачі - накопичувачі і далі на розфасовувальні автомати, в склад і реалізацію.

Виробництво будь-якого виду макаронних виробів завжди включає в себе перераховані вище етапи, але вид продукції, що випускається, а також наявність того чи іншого обладнання на підприємстві визначають конкретну технологічну схему виробництва цих виробів [2].

### **1.2.3 Сушка макаронних виробів**

Сушка макаронних виробів - найтриваліший і відповідальний етап в процесі виробництва макаронних виробів, від якого багато в чому залежить якість готової продукції. Сушка макаронних виробів проводиться в два періоди: попередній період швидкої сушки - інтенсивне видалення вологи з сирих виробів до тих пір, поки вони зберігають властивості пластичного матеріалу, тобто приблизно до 20 % вологи, і заключний період сушіння - повільне видалення вологи з виробів, які набувають властивостей пружного матеріалу [2].

Промислова сушка макаронних виробів заснована на відомій теорії форм зв'язку вологи з матеріалом для колоїдних капілярно-пористих тіл. В Україні, незважаючи на значну кількість сучасних виробничих ліній, переважно імпортованих, є наукові розробки, які спрямовані на вдосконалення технології сушіння і зберігання макаронних виробів з вітчизняної сировини.

В останні роки практично відсутня інформація про дослідження з розробки технологічних режимів і рекомендацій по сушильному обладнанню для малих і

середніх макаронних підприємств. Сушка формованих макаронних виробів - завершальний процес виробництва макаронних виробів, від якого залежить такий важливий показник, як якість продукції. Вона здійснюється в спеціальних сушарках, які використовують для теплопостачання конвективний або радіаційно-конвекційний метод.

Конвекційний метод полягає в безпосередньому контакті висушеного продукту з якісним сушильним агентом; який зазвичай використовується підігрітий до потрібної температури. Промениста конвекційна сушка - це поєднання радіаційної сушки з інфрачервоними променями (тепловим випромінюванням) за рахунок передачі тепла від джерела енергії, переважно на стадії попередньої сушки, з конвекційною сушкою, яка застосовується на завершальному етапі сушіння макаронних виробів.

В якості джерел променистого сушильного тепла використовуються випромінювачі, нагріті до досить високої температури: темні до  $T \approx 720...920$  °С; світло на  $T \approx 1\ 900...2\ 200$  °С.

Установка сушіння макаронних виробів складається з камери, де відбувається зневоднення продукту, підігрівача, де нагрівається сушильне повітря, припливно-витяжної системи для забезпечення нагрітого і відкачуваного повітря. Нагрівач може розташовуватися як всередині, так і зовні сушильної камери. Залежно від способу нагріву теплоносія використовуються нагрівачі з електричним водяним або паровим опаленням.

В сушильних установках, залежно від температур сушильного агента застосовують режими сушіння: низькотемпературний (НТ), середньотемпературний (СТ), високотемпературний (ВТ) і надвисоко-температурний (НВТ).

Залежно від конструкції сушильні агрегати поділяються на барабанні, шафові і конвеєрні, а за принципом роботи – на конвеєрні безперервної і періодичної дії (шафи). Макаронні сушарки розрізняються способом розміщення матеріалу всередині камери (рами, касети, батуні, контейнери, секції) або в рухомих

пристроях. На рис.1.13 наведено класифікацію моделей сушарок і способів сушіння макаронних виробів.

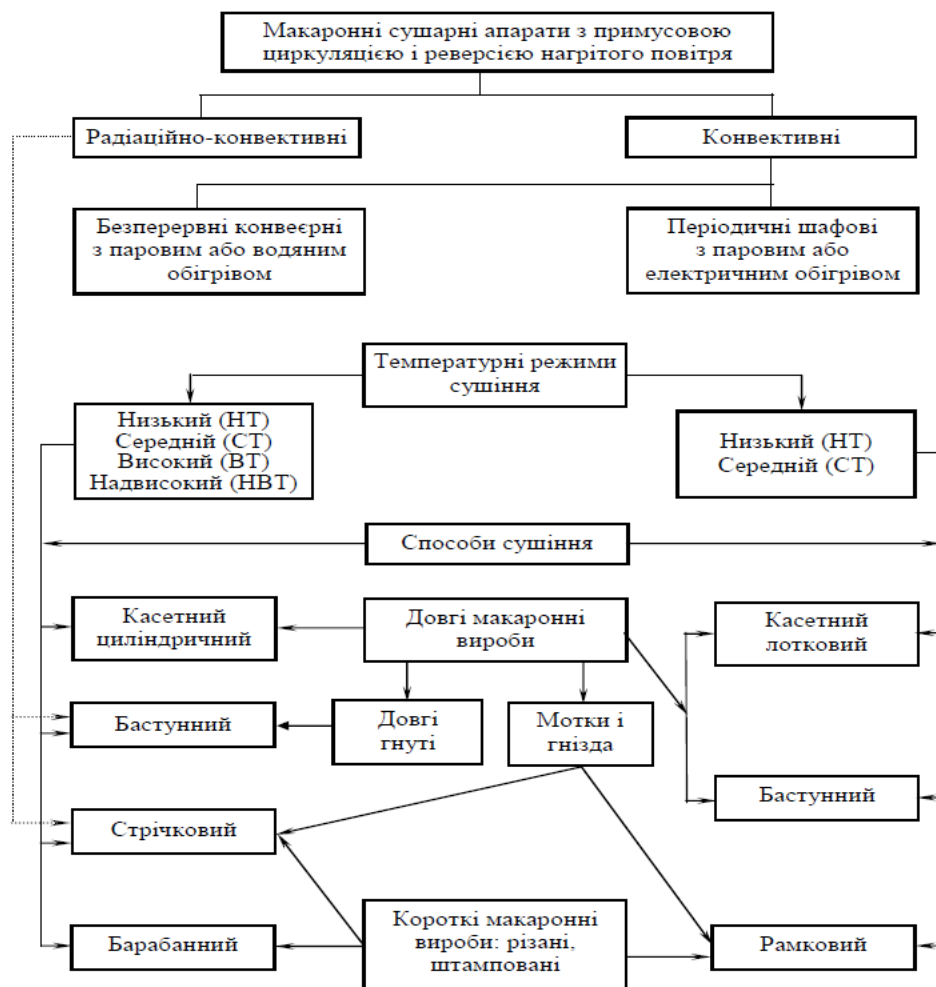


Рисунок 1.13 – Класифікація конструкцій сушарок, способів сушіння і температурних режимів при сушінні макаронних виробів

Метою наукових досліджень є зниження витрат енергії і часу в період сушіння макаронних виробів, на основі удосконалення конструкції сушильного обладнання і застосування раціональних технологій сушіння.

## 1.3 Об'єкт керування

### 1.3.1 Загальні відомості

Компанія TF GROUP (Україна, Київська область) займається розробкою та виготовленням харчового обладнання з 1994 року і має власне конструкторсько-технологічне бюро та потужності для виробництва обладнання для харчової промисловості за технічними умовами та побажаннями клієнтів [1].

Компанія TF GROUP випускає сучасне обладнання для малого, середнього та великого бізнесу, від окремих агрегатів до автоматизованих ліній, у тому числі і макаронне обладнання, яке забезпечує процес виробництва макаронних виробів на всіх стадіях технологічної ланки, забезпечуючи подачу компонентів до бункерів з готовою продукцією. Технологічна ланка включає макаронні преси, віброосушки, сушильні камери та охолоджувальні системи.

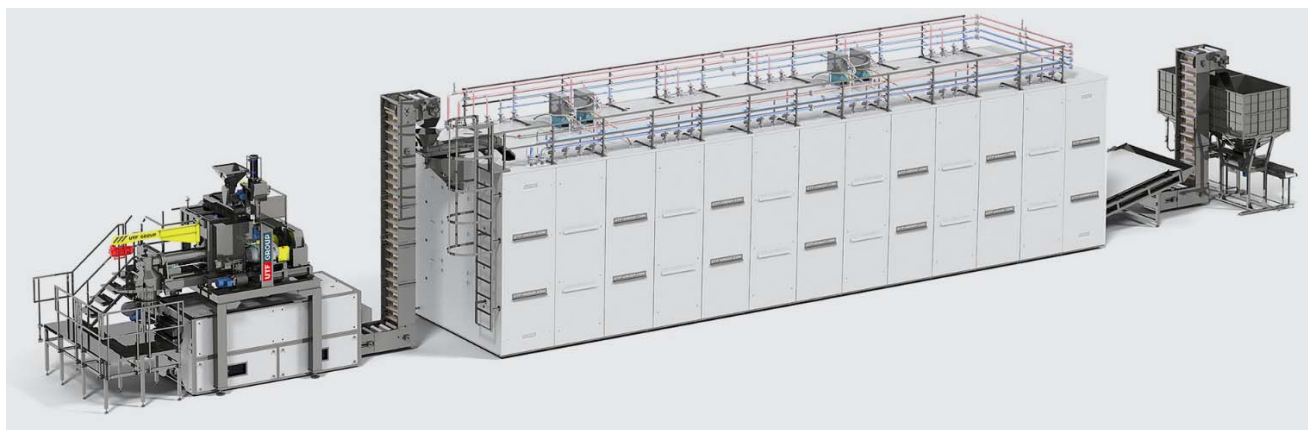


Рисунок 1.14 – Автоматизована лінія TF GROUP – PASTA G1000

ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» використовує технологічне обладнання від компанії TF GROUP.

ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» приділяє особливу увагу завершальному етапу процесу виготовлення макаронних виробів: етапу сушіння. Як відомо, процес сушіння надає сухим макаронним виробам кінцеві характеристики фізико-хімічної стабільності і дозволяє продовжити термін їх зберігання. Загальна якість приготування кінцевого продукту (високий ступінь твердості, низька липкість і низькі втрати при варінні) є результатом декількох одночасних явищ всередині макаронних виробів, ступінь яких залежить як від характеристик сировини, так і від температурно-вологісних умов, що застосовуються під час сушіння.

Змінні, які регулюють цю фазу (температура, відносна вологість і час), по суті, можуть бути змінені, пропонуючи різні комбінації (і стільки ж циклів сушіння), щоб сприяти коагуляції білків і поліпшити поведінку приготування макаронних виробів. Зокрема, фізико-хімічні модифікації основних макромолекул протилежним чином контролюють поведінку приготування макаронів. Коли

переважає згортання білка в безперервній мережі, крохмальний матеріал затримується всередині мережі, і варені макарони будуть твердими без липкості на поверхні і, як наслідок, громіздкості. Навпаки, коли білкова мережа недостатньо міцна і еластична, крохмаль набухає і желатинізується до того, як відбудеться згортання білка.

Тому в ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» фокус досліджень змістився з впливу високо- і низькотемпературних циклів сушіння на денатурацію білків і якість макаронних виробів.

Що стосується впливу температури сушіння на якість макаронних виробів, то високотемпературні цикли сушіння ( $>65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ефективні для поліпшення смакових характеристик макаронних виробів, особливо у випадку макаронних виробів з низьким вмістом білка. Такого ж ефекту не було видно при приготуванні макаронів з крупи з сильною клейковиною. Липкість відіграла найбільш значну роль щодо твердості та громіздкості у випадку макаронних виробів, висушених при низькій температурі, тоді як при високій температурі смакові показники мали подібне значення.

Сушка макаронних виробів при температурах вище  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  може частково компенсувати ослаблення структури макаронних виробів (що пов'язано зі збагаченням і розрідженням клейковини) за рахунок наданого зміцнюючого ефекту шляхом згортання білка. Цільнозернові спагетті, висушені при низькій температурі ( $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), мали вищі втрати при приготуванні, але кращий загальний вигляд, механічну міцність і стійкість приготування, ніж цільнозернові спагетті, висушені при високій температурі ( $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Аналогічні результати були виявлені при порівнянні якості макаронних виробів з цільної пшениці, висушених при  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  або  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ : низька температура була ефективною для зменшення втрат при варінні та підвищення твердості, навіть якщо відмінності в текстурі не могли бути виявлені.

### **1.3.2 Характеристика об'єкта керування**

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP –

PASTA G1000, яка призначена для сушіння широкого асортименту макаронних виробів (вермішель, павутинка, ріжки, спіралі, труби, черепашки та багато інших).

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| – продуктивність         | 250...1000 кг/год;       |
| – початкова вологість    | 20...28 %;               |
| – кінцева вологість      | 5...8 %;                 |
| – температурний режим    | 40...95 °С;              |
| – тривалість сушіння     | 3...6 год;               |
| – потужність             | 60 кВт;                  |
| – обслуговуючий персонал | 2 людини                 |
| – займана площа          | від 230 м <sup>2</sup> . |



Рисунок 1.15 – Сушарка макаронних виробів G1000-D2 .

Безперервна сушарка, складається з наступних функціональних компонентів:

- технологічної зони, оснащеною зоною клімат-контролю;
- ланцюгового конвеєрного пристрою, оснащеного незалежним редуктором зі змінною швидкістю, який управляється інвертором;
- групи електро-опалення з ТЕН;
- групи повітрообміну, яка виконана за допомогою впускних і випускних трубопроводів і пропорційних вентиляторів подачі і видалення повітря.

Всі компоненти виконаний з нержавіючої сталі.

### 1.3.3 Структура об'єкту керування

На рис. 1.16 представлена конструкція сушарки G1000-D2 з розташуванням технологічних компонентів пристроїв.

Макаронні вироби з попереднього технологічного апарату - попередньої сушки, з вологістю 20...28 % поступають по ланцюговому конвеєру у верхню зону сушки сушарки G1000-D2. Далі вологі вироби по системі пересипних стрічкових конвеєрів просуваються вздовж всієї зони сушки у нижню її частину, а далі з нижньої частини зони вже сушки висушені з вологістю 5...8 %, макаронні вироби по похилому ланцюговому конвеєру транспортуються у наступний технологічний апарат - охолоджувальну камеру.

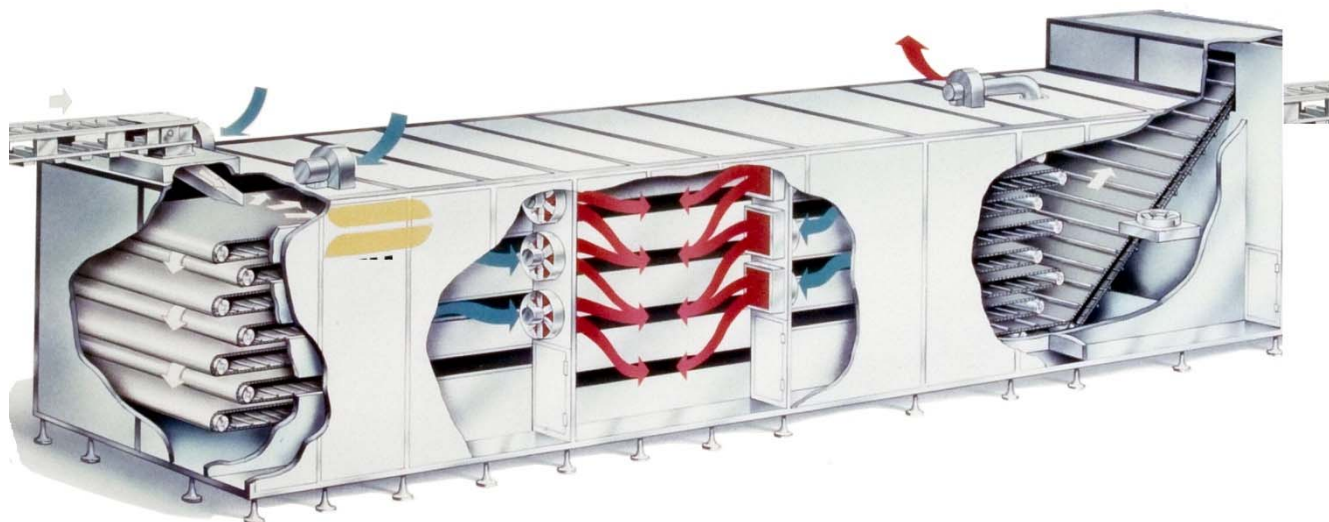


Рисунок 1.16 – Конструкційні особливості сушарки G1000-D2

Ланцюговий і стрічковий конвеєрний пристрої оснащеного одним спільним редуктором зі змінною швидкістю, електродвигун якого управляється інверторним перетворювачем частоти. Час просування макаронних виробів по зоні сушки регулюється швидкістю обертів електродвигуна редуктора конвеєрів і становить 3...6 год.

Регульовані по потужності групи електронагріву з ТЕН забезпечують необхідну температурі сушіння, яка становить 40...95 °С, в залежності від часу сушіння та визначеної техпроцесом температури.

Групи повітрообміну забезпечує подачу свіжого холодного повітря у сушарку та виведення гарячого вологого повітря з сушарки. Система впускних і випускних трубопроводів має пропорційні вентилятори подачі свіжого повітря і видалення гарячого вологого повітря.

На об'єкті розташовані наступні датчики:

- температура повітря на вході;
- температура повітря на виході;
- вологість виробів на вході;
- вологість виробів на виході;

На об'єкті розташовані наступні виконавчі пристрої:

- регулятор швидкості конвеєрів;
- регулятор вентилятора подачі свіжого повітря;
- регулятор вентилятора видалення вологого повітря;
- регулятор потужності ТЕН.

Датчики збирають інформацію про технологічний процес сушіння макаронних виробів.

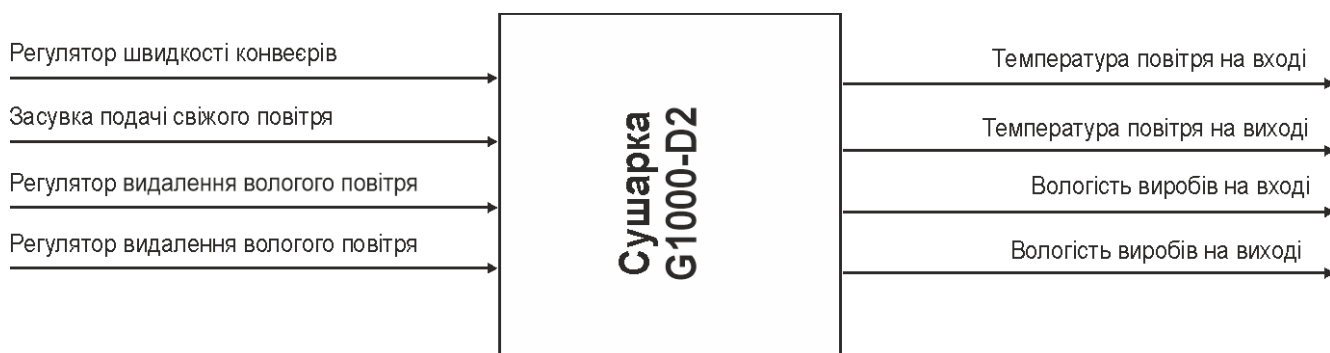


Рисунок 1.17 – Структура об'єкту керування

В залежності від показників датчиків температури та вологості в сушильній частині відбувається сушка макаронних виробів за заданими технологічними показниками.

#### 1.4 Формулювання задачі дослідження

Система керування сушаркою G1000-D2 має підтримувати технологічні параметри сушки з макаронних виробів. Основними каналами керування є канали:



- «швидкість конвеєра – вологість макаронних виробів»;
- «потужність нагрівача – вологість макаронних виробів»;
- «продуктивність подачі повітря – вологість макаронних виробів»;
- «продуктивність видалення повітря – вологість макаронних виробів»;

Основними збурючими факторами є:

- коливання напруги;
- початкова вологість макаронних виробів.

Маємо наступні основні показники:

- початкова вологість 20...28 %;
- кінцева вологість 5...8 %;
- температурний режим 40...95 °С;
- тривалість сушіння 3...6 год;
- потужність ТЕН 45 кВт (380 В);
- потужність вентиляторів подачі повітря 2,5 кВт (380 В);
- потужність вентиляторів подачі повітря 2,5 кВт (380 В);
- потужність приводу конвеєрів: 8,6 кВт (380 В).

За рекомендацією керівника кваліфікаційної роботи обрано варіант розробки системи керування сушаркою G1000-D2 за каналом «потужність нагрівача – вологість макаронних виробів» як більш впливового на якість роботи макаронних виробів.

Система керування сушаркою G1000-D2 має відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді і обов'язково бути виконана за допомогою стандартних компонентів, які мають відповідні сертифікати відповідності.

### **1.5 Висновки за розділом**

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка використовується ТОВ «Продовольча компанія «Заграва».

Автоматизація сушарки G1000-D2 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація сушарки G1000-D2 повинна забезпечувати надійний і ефективний процес сушки макаронних виробів для заданих технологічних параметрів, а також і безпечні умови праці для персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи сушарки G1000-D2 повинна здійснюватися за такими основними параметрами:

- підтримка заданої вологості макаронних виробів;
- підтримка заданої продуктивності сушарки G1000-D2.

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - сушарки G1000-D2 для регульованої вологості макаронних виробів, в залежності від потужності нагрівачів. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка призначена для сушіння широкого асортименту макаронних виробів (вермішель, павутинка, ріжки, спіралі, труби, черепашки та багато інших).

Макаронні вироби з вологістю 20...28 % поступають по ланцюговому конвеєру у верхню зону сушки сушарки. Далі вологі вироби по системі пересипних стрічкових конвеєрів просуваються вздовж всієї зони сушки у нижню її частину, а далі з нижньої частини зони вже сушки висушені з вологістю 5...8 % макаронні вироби по похилому ланцюговому конвеєру транспортуються з сушарки.

Ланцюговий і стрічковий конвеєрний пристрої оснащеного одним спільним редуктором, швидкість обертів якого залежить від електродвигуна, який керується інверторним перетворювачем частоти. Час просування макаронних виробів по зоні сушки становить 3...6 год.

Регульовані по потужності групи електронагріву з ТЕН забезпечують необхідну температурі сушіння 40...95 °С, яка залежить від часу сушіння та визначеного показника техпроцесу.

Групи повітрообміну забезпечує подачу свіжого холодного повітря у сушарку та виведення гарячого вологого повітря з сушарки. Система впускних і випускних трубопроводів має пропорційні вентилятори подачі свіжого повітря і видалення гарячого вологого повітря.

Система керування має наступні номінальні показники для вхідних сигналів:

- |                                 |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| – температура повітря на вході: | аналоговий; 5...45 °С;  |
| – температура повітря на виході | аналоговий; 40...95 °С; |
| – вологість виробів на вході:   | 20...28 %;              |
| – вологість виробів на виході:  | 5...8 %;                |

Система керування має наступні номінальні параметри для виконавчих пристроїв:

- привод конвеєрів: пропорційний; 8,6 кВт (380 В);
- вентилятори подачі повітря: пропорційний; 2,5 кВт (380 В);
- вентилятори видалення повітря: пропорційний; 2,5 кВт (380 В);
- ТЕН: пропорційний; 45 кВт (380 В).



Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Основними каналами керування є канали:

- «швидкість конвеєра – вологість макаронних виробів»;
- «потужність нагрівача – вологість макаронних виробів»;
- «продуктивність подачі повітря – вологість макаронних виробів»;
- «продуктивність видалення повітря – вологість макаронних виробів»;

Основними збурючими факторами є:

- коливання напруги;
- початкова вологість макаронних виробів.

Вибір пристроїв автоматизації для побудови системи керування необхідно робити на основі серійних засобів автоматизації. Якщо є можливість, то необхідно вибирати з пристроїв, вироблених в Україні, або які вже поставляються в Україну.

Вибір приладів буде проводитися відповідно до необхідного діапазону показників сигналів та умов експлуатації.

## 2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

Датчики слід обирати відповідно до переліку вхідних сигналів, параметри яких треба вимірювати, враховуючи можливий розширений діапазон їх зміни.

### 2.2.1 Вибір датчиків

Для вимірювання температури повітря на вході і виході сушарки розглянемо сімейство вимірювальних перетворювачів температури фірми Siemens, яке представлено перетворювачами Siemens SITRANS TF, термоперетворювачами опору і термопарами для якісного вимірювання температури.

Використаємо перетворювач Siemens SITRANS TF – універсальний перетворювач з виходом 4...20 мА та HART, з можливістю перепрограмування за допомогою персонального комп'ютеру [7].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчику температури Siemens SITRANS TF

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Siemens SITRANS TF
2	Номинальний діапазон вимірювання, °C	0...+120
3	Принцип вимірювання	Cu25 ... Cu1000
4	Точність, °C	0,1
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	12...30
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °C	-25...+85
9	Матеріал корпусу	сталь 1.4571/316Ti
10	Різьба	G1/2В зовнішня і G1/8В внутрішня



Рисунок 2.1 – Датчик температури Siemens SITRANS TF

Для вимірювання вологості макаронних виробів на вході і виході сушарки використаємо промисловий стаціонарний вологомір PCE Instruments PCE-MWM 240, який призначений для вимірювання вологості сипучих матеріалів у місці їх зберігання, ємностях, цистернах, силосах, продуктопроводах та ін. Вологомір може працювати з усіма типами сипучих матеріалів без обмежень, робочий діапазон 0...100 % вологості, робоча температура -20...+145 °С.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики вологомір PCE Instruments PCE-MWM 240

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Вологомір
2	Діапазон вимірювання вологості, %	0...100
3	Принцип вимірювання	УВЧ випромінювання
4	Точність, %	0,02
5	Інерційність, с	30
6	Час розігріву, хв	10
7	Вихідний сигнал, мА	4...20
8	Напруга живлення, В	18...36
9	Потужність споживання, Вт	4
10	Температура експлуатації, °С	-20...+145
11	Максимальний тиск, бар	16
12	Матеріал корпусу	Сталь нержавіюча

Прилад має стаціонарне виконання та дозволяє проводити тривалі безперервні вимірювання у потоці.

Принцип виміру ґрунтується на зміні характеристики УВЧ випромінювання при проходженні через матеріал. Вимірювач вологості є занурюваним датчиком і електронним блоком управління. Сенсори поставляються у двох варіантах виконання. Обидва виготовлені з нержавіючої сталі AISI321, але мають конструктивні відмінності.

Варіант 1 (PCE Instruments PCE-MWM 240-A): гнучкий сенсор довжиною 200 мм, який розрахований на роботу під сильним механічним впливом робочого середовища, гнучка (пружна) конструкція амортизує удари по корпусу. Для встановлення сенсора на стінці трубопроводу передбачені спеціальні кріплення.

Варіант 2 (PCE Instruments PCE-MWM 240-B): жорсткий сенсор довжина 500...1 500 мм, цей варіант датчика жорстко встановлюється в розпір трубопроводі або лотку від однієї стінки до іншої.

Обидва сенсори працюють тільки за умови повного занурення в матеріал (не менше ніж на 100 мм) для досягнення заявленого рівня точності [8], тому їх слід встановлювати у горловинах для подачі та видачі макаронних виробів з сушарки.



Рисунок 2.2 – Стационарний вологомір PCE Instruments PCE-MWM 240

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання, Вт
1	Температура повітря на вході	Cu25 ... Cu1000	Аналоговий	0...120 °C	±0,1 °C	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
2	Температура повітря на виході	Cu25 ... Cu1000	Аналоговий	0...120 °C	±0,1 °C	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
3	Вологість виробів на вході	УВЧ витратомір	Аналоговий	0...100 %	±0,02 %	4...20 мА	0,1 с	18...36 В	4
4	Вологість виробів на виході	УВЧ витратомір	Аналоговий	0...100 %	±0,02 %	4...20 мА	0,1 с	18...36 В	4

## 2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

В системі керування мають бути вихідні ланцюг узгодження з наступним технологічним електрообладнанням:

Для приводів вентиляторів подачі та видалення повітря використовуються асинхронні трьох фазні електроприводи потужністю по 2,5 кВт. Згідно з завданням система керування повинна реалізовувати плавне регулювання продуктивності їх роботи. Таким чином керування електроприводом повинно бути лінійним (безперервним), тобто треба забезпечувати пропорційне керування. Таким чином для керування їх електроприводами обрано трьох фазний частотний перетворювач Altivar Process ATV930D55N4 на потужність 5,5 кВт (мінімальний запас потужності в два рази рекомендується для асинхронних двигунів) з аналоговим входом 4...20 мА, та RS-485 (рис. 2.3) [9].

Технічні характеристики частотного перетворювача наведені в табл. 2.4.



Рисунок 2.3 – Частотний перетворювач Altivar Process ATV930D55N4

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики частотного перетворювача Altivar Process ATV930D55N4

Найменування параметра	Значення
Тип	Скалярний
Напруга живлення, В	~320...~550
Потужність, кВт	5,5
Діапазон частот, Гц	0...240
Діапазон аналогового сигналу управління, мА	4...20
Ступінь захисту	IP20

Для приводу конвеєрів використовуються асинхронні трьох фазні електроприводи потужністю 8,6 кВт (380 В). Згідно з завданням система керування



повинна реалізовувати плавне регулювання продуктивності його роботи. Таким чином керування електроприводом повинно бути лінійним (безперервним), тобто треба забезпечувати пропорційне керування. Таким чином для керування електроприводом обрано трьох фазний частотний перетворювач Altivar Process ATV930U22N4 на потужність 22 кВт (мінімальний запас потужності в два рази рекомендується для асинхронних двигунів) з аналоговим входом 4...20 мА, та RS-485 (рис. 2.5) [9].

Технічні характеристики частотного перетворювача наведені в табл. 2.5.



Рисунок 2.4 – Частотний перетворювач Altivar Process ATV930U22N4

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики частотного перетворювача Altivar Process ATV930U55N4

Найменування параметра	Значення
Тип	Скалярний
Напруга живлення, В	~320...~550
Потужність, кВт	22,0
Діапазон частот, Гц	0...240
Діапазон аналогового сигналу управління, мА	4...20
Ступінь захисту	IP20

Для підігрівання макаронних використовуються трьох-фазні ТЕН загальною потужністю 40 кВт. Згідно з завданням система керування повинна реалізовувати плавне регулювання потужності їх роботи. Таким чином керування повинно бути лінійним (безперервним), тобто треба забезпечувати пропорційне керування. Таким чином для керування електроприводом обрано трьох-фазний тиристорні промислові джерела живлення серії Autonics DPU.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики DPU

Серія		DPU	
Кількість фаз		1 фаза	3 фази
Напруга		110/220/380/440 В~	
Діапазон відхилення напруги		90–110 %	85–115 %
Частота		50/60 Гц ±2 Гц	
Мин. струм навантаження		1 А	
Діапазон виходу		Фазове управління: 5–98 %. Циклічне керування: 0–100 %	
Навантаження		Фазове керування: резистивне навантаження, індуктивне навантаження. Дискретне, циклічне керування: резистивне навантаження	
Вхід керування		Автоматичне керування: 4–20 мА=0–20 мА=0–5 В=1–5 В=0–10 В=імпульс напруга (0/12 В=) /вхід зв'язку (RS-485).	
Умови зберігання і експлуатації	Температура	-10...+50 °С, зберігання: -20...+80 °С	
	Вологість	5–90 % відносної вологості	

Вхідна змінна напруга може бути одне - або трьох-фазним.

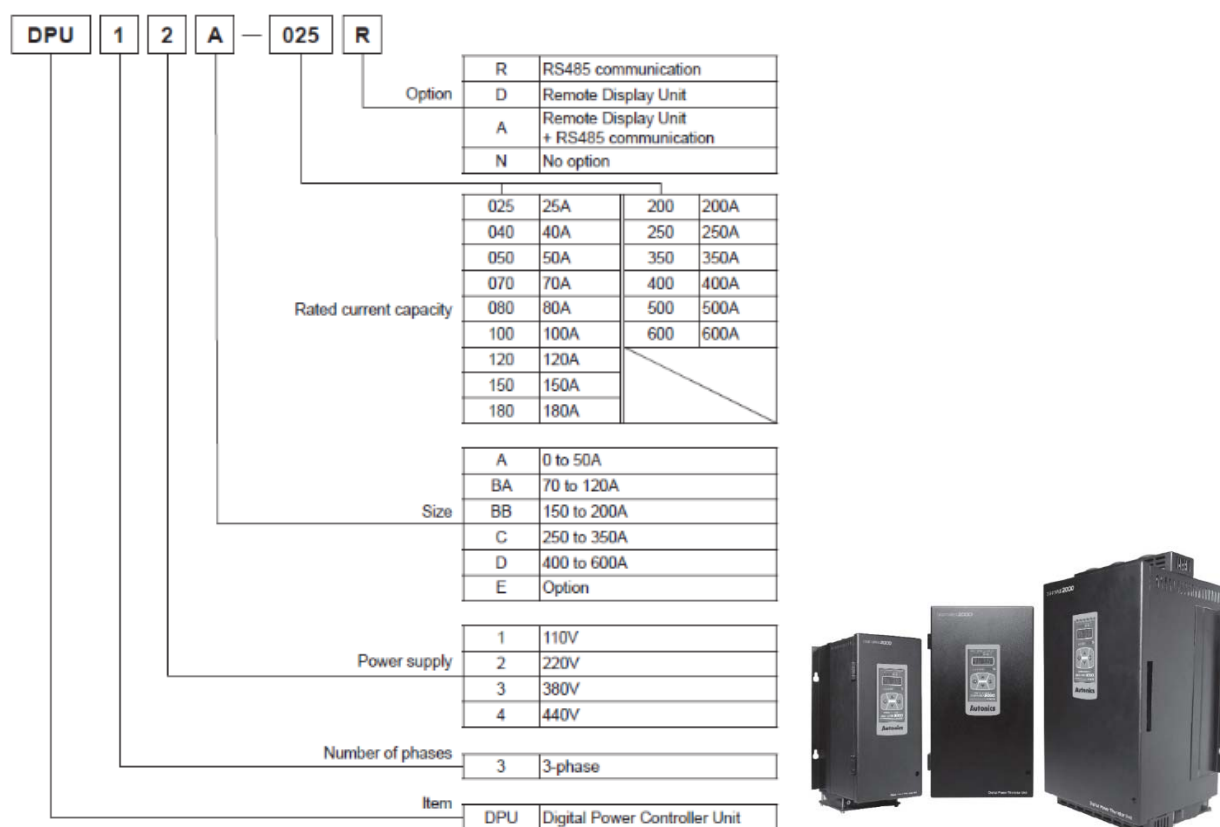


Рисунок 2.5 – Тиристорні промислові джерела живлення Autonics DPU

Autonics DPU це комплексне рішення для регулювання параметрів електроживлення і застосовуються в різних промислових технологічних процесах.

Завдяки малому опору тиристорів у відкритому стані, всі наявні моделі регуляторів потужності серії Autonics DPU мають компактні розміри, виділяють мінімальну кількість тепла і, для більшої надійності, забезпечені вбудованим вентилятором охолодження. У товарній номенклатурі регуляторів потужності серії Autonics DPU представлені моделі виробів, що працюють від мереж змінного струму з напругою в діапазоні від 110 В до 440 В, для навантажувального струму від 25 А до 600 А [10].

Комунікаційний інтерфейс регуляторів потужності серії Autonics DPU - RS485. Значення контрольованих параметрів і їх установка відображаються на крупній LED-панелі.

У нашому випадку для керування підігріву нафти з пропорційним керуванням будемо використовувати тиристорне промислове джерело живлення Autonics DPU 33C075R (3x380 В, 75 А).

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Привод конвекторів	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	115 кбод/с	-	-
2	Вентилятори подачі повітря	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	115 кбод/с	-	-
3	Вентилятори видалення повітря	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	115 кбод/с	-	-
4	ТЕН	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	115 кбод/с	-	-

### 2.2.3 Вибір пристроїв керування

В якості пристрою керування, обрано програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера 100 мс, контролер має 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування. Контролер має модульну

структуру, яка забезпечує підключення обраного обладнання і має легке розширення подальшого функціоналу. До контролеру повинні бути підключені чотири аналогових датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА:

- температура повітря на вході;
- температура повітря на виході;
- вологість виробів на вході;
- вологість виробів на виході;

До контролеру мають бути підключено чотири виконавчих пристрої з типом входу керування 4...20 мА.

- привод конвеєрів;
- вентилятори подачі повітря;
- вентилятори видалення повітря;
- ТЕН.

Так як система керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2 повинна інтегруватися у загально-заводську автоматизовану систему керування технологічним обладнанням (АСК ТП) з виготовлення макаронних виробів, то у контролера має бути послідовний цифровий інтерфейс RS-485. Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, кбайт	144
3	Робоча пам'ять, кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5



Рисунок 2.6 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Для підключення усіх чотирьох аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано один модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40, який має по чотири аналогових входів.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ESO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	Аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0.6



Рисунок 2.7 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Приклад схеми підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведено на рис. 2.8.

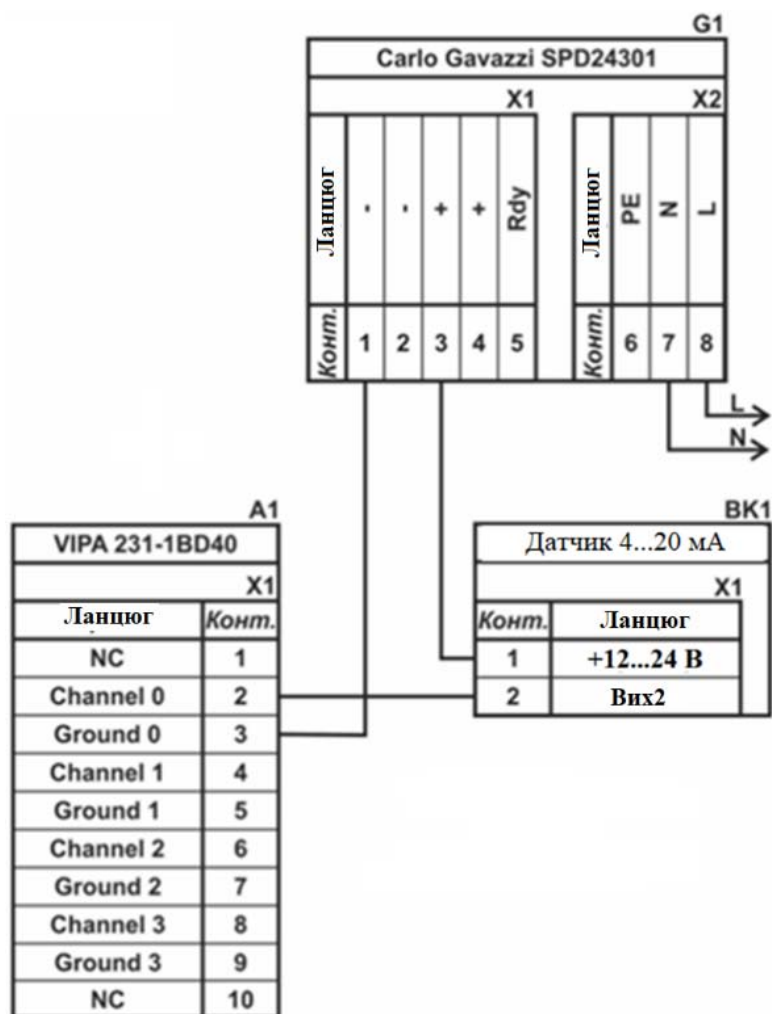


Рисунок 2.8 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

До контролера є бути підключено чотири виконавчі пристрої з типом входу керування 4...20 мА. Таким чином потрібен один модуль аналогового виводу з діапазоном аналогового сигналу 4...20 мА. Даним вимогам відповідає модуль VIPA 232-1BD40 який має чотири аналогових виходи 4...20 мА.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики модуля аналогового виводу 232-1BD40

Найменування параметра	Значення
Тип	SM 232, ECO
Кількість каналів	4
Тип каналу	аналоговий
Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20, -20...+20
Довжина екранованого провідника, м	200
Споживана потужність, Вт	1,5



Рисунок 2.9 – Модуль аналогового виводу 232-1BD40

Схема підключення частотного перетворювача, для здійснення пропорційного керування виконавчим пристроєм, до модуля аналогового виводу наведена на рис. 2.10.

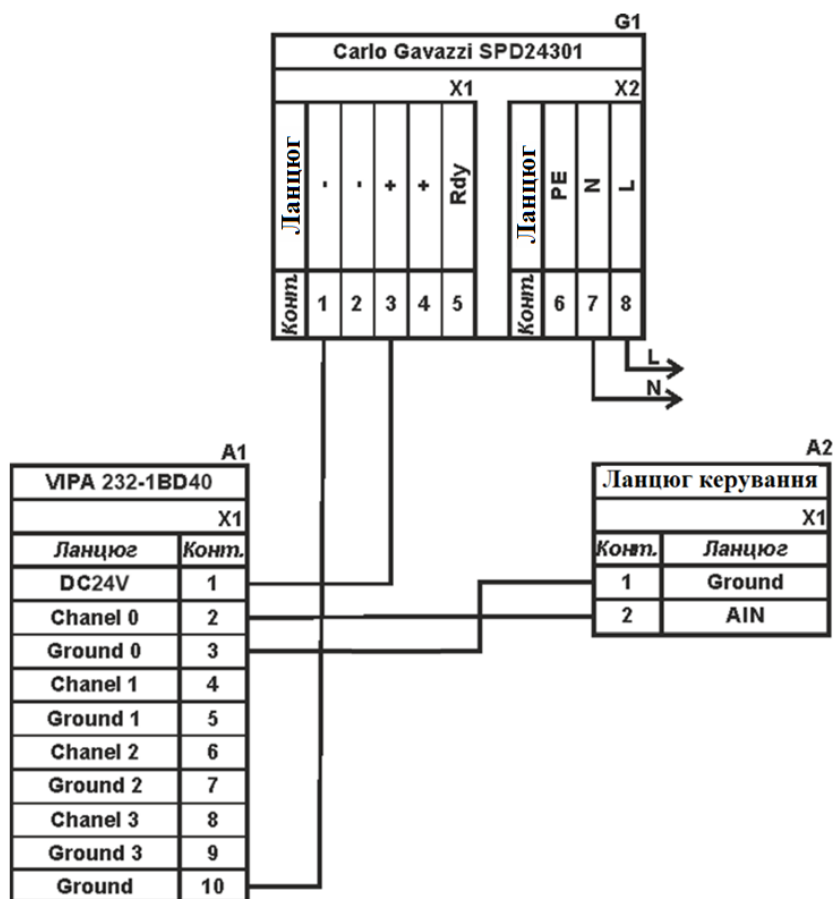


Рисунок 2.10 – Схема підключення частотного перетворювача

Згідно з вимогами до системи керування, в якості котрого виступає програмований логічний контролер, та пультом оператора, в якості якого виступає персональний комп'ютер, повинна бути організована мережа за допомогою

інтерфейсу RS-485, тому і був обраний програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33, який має інтерфейс RS-485. Схема підключення персонального комп'ютеру до програмованого логічного контролеру наведена на рис. 2.11.

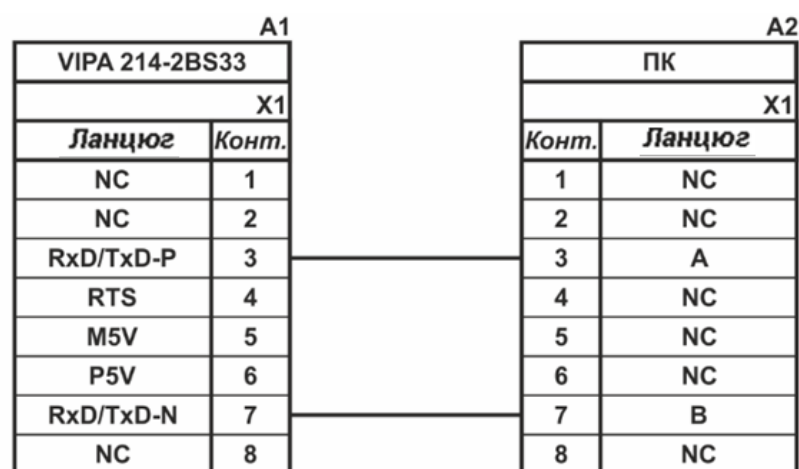


Рисунок 2.11 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок з АСК ТП		
2	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу 1	24 В	0,6 Вт
		Температура повітря на вході	24 В	2,0 Вт
		Температура повітря на виході	24 В	2,0 Вт
		Вологість виробів на вході	24 В	2,0 Вт
		Вологість виробів на виході	24 В	2,0 Вт
3	VIPA 232-1BD40	Модуль аналогового виводу 1	24 В	1,5 Вт
		Привод конвеєрів	24 В	1,0 Вт
		Вентилятори подачі повітря	24 В	1,0 Вт
		Вентилятори видалення повітря	24 В	1,0 Вт
		ТЕН	24 В	1,0 Вт

## 2.2.4 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер та його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна потужність споживання програмованого логічного контролера та його модулів:



$$P = 1 * 5,0 + 1 * 0,6 + 1 * 1,5 = 6,6 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85...~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25



Рисунок 2.12 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рис. 2.13.

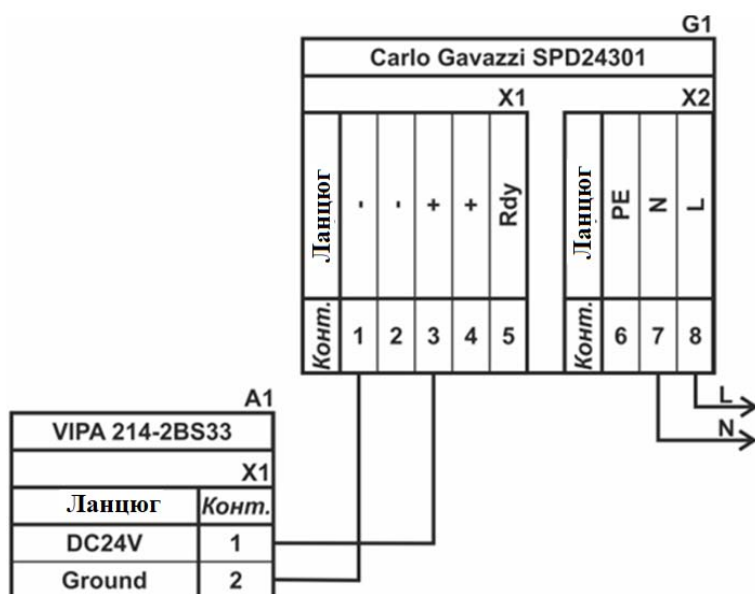


Рисунок 2.13 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для чотирьох аналогових датчиків, чотирьох аналогового ланцюга керування та одного однофазного твердотільного реле, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 4 * 2,0 + 4 * 2,0 = 16,0 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Виходячи з потужності споживання датчиків та виконавчого пристрою у якості джерела живлення обрано блок живлення такий самий як і для програмованого логічного контролера SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

### **2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації**

Виходячи з вимог до підсистеми керування безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 2.14.

У якості пристрою керування технологічним процесом використовується програмований логічний контролер (UY 9) – VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер в складі підсистеми керування підключено до АСУ ТП, за що відповідає контролер більш високого рівня (UY 10), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Температура повітря на вході сушарки вимірюється за допомогою датчика тиску, встановленого на паропроводі (TE 1-1 – Siemens SITRANS TF, виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 1-2 – Siemens SITRANS TF трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура повітря на виході сушарки вимірюється за допомогою датчика тиску, встановленого на паропроводі (TE 2-1 – Siemens SITRANS TF, виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 2-2 – Siemens SITRANS TF трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Вологість макаронних виробів на вході сушарки вимірюється за допомогою датчика тиску, встановленого на паропроводі (ME 3-1 – PCE Instruments PCE-MWM 240, виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача

(MT 3-2 – PCE Instruments PCE-MWM 240 трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Вологість макаронних виробів на виході сушарки вимірюється за допомогою датчика тиску, встановленого на паропроводі (ME 4-1 – PCE Instruments PCE-MWM 240, виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (MT 4-2 – PCE Instruments PCE-MWM 240 трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

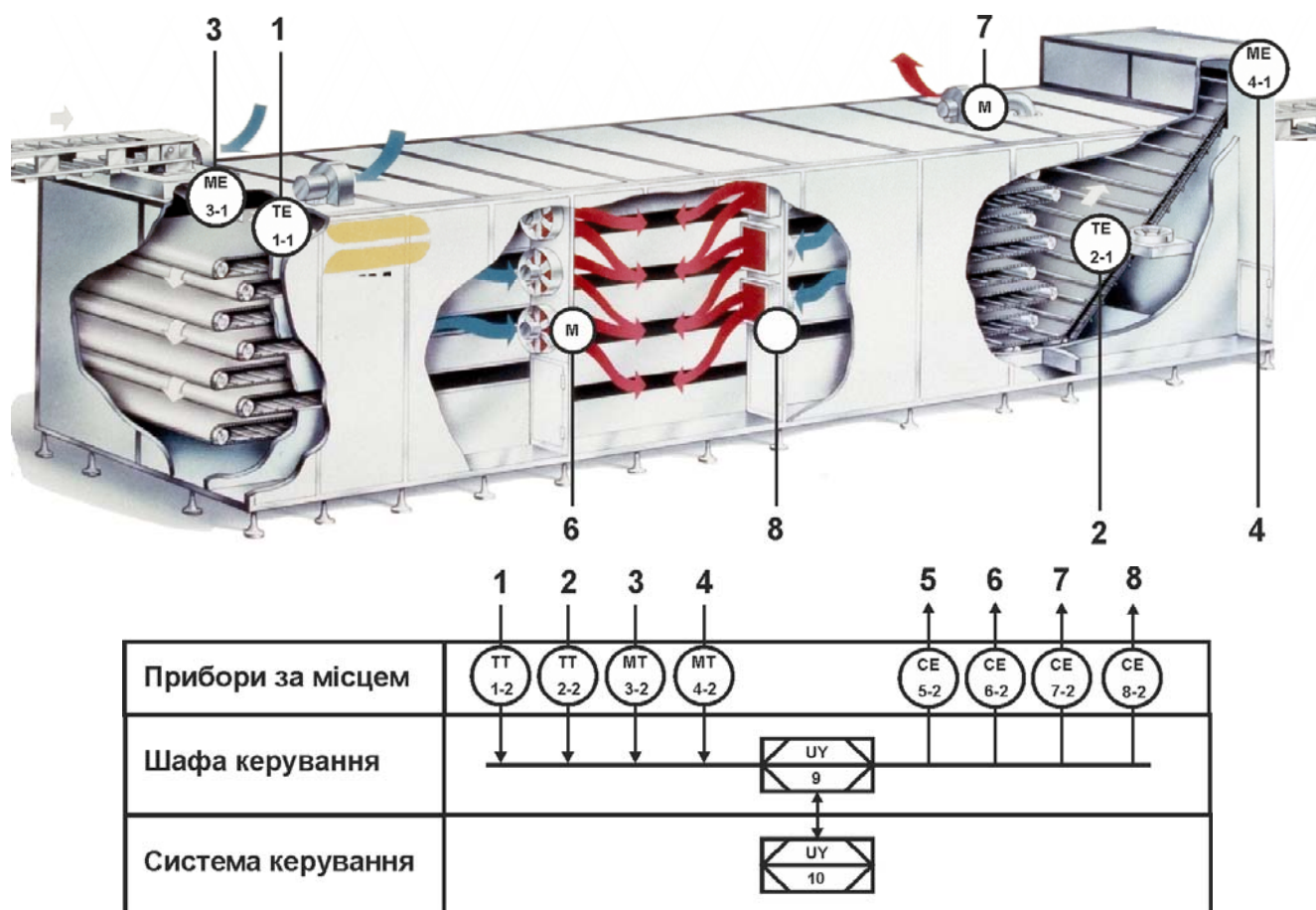


Рисунок 2.14 – Функціональна схема автоматизації системи керування безперервною сушаркою макаронних виробів G1000-D2

Регулювання швидкості приводу конвеєрів здійснюється частотним перетворювачем по каналу керування 4...20 мА (CE 5-2 – Altivar Process ATV930D22N4).

Регулювання продуктивності вентиляторів подачі повітря здійснюється частотним перетворювачем по каналу керування 4...20 мА (CE 6-2 – Altivar Process ATV930D55N4).

Регулювання продуктивності вентиляторів видалення повітря здійснюється частотним перетворювачем по каналу керування 4...20 мА (CE 7-2 – Altivar Process ATV930D55N4).

Регулювання потужності ТЕН здійснюється тиристорним промисловим джерелом живлення по каналу керування 4...20 мА (CE 8-2 – Autonics DPU 33C075R).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 9 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчих пристроїв формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи сушарки макаронних виробів G1000-D2.

#### **2.4 Розробка схеми електричної принципової**

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2 (рис. 2.15).

У системі керування використовуються два блока живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3), модулю аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4) к усім чотирьом аналоговим датчикам (BK1...BK4), усім чотирьом виконавчим пристроям (YA1...YA4).

Усі чотири аналогових датчики мають уніфікований сигнал 4...20 мА, таким чином ці датчики підключені до модулів аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналів 0...3.

Регулювання швидкості приводу конвеєрів здійснюється по каналу керування 4...20 мА, який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4) до каналу 0.

Регулювання продуктивності вентиляторів подачі повітря здійснюється по каналу керування 4...20 мА, який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4) до каналу 1.

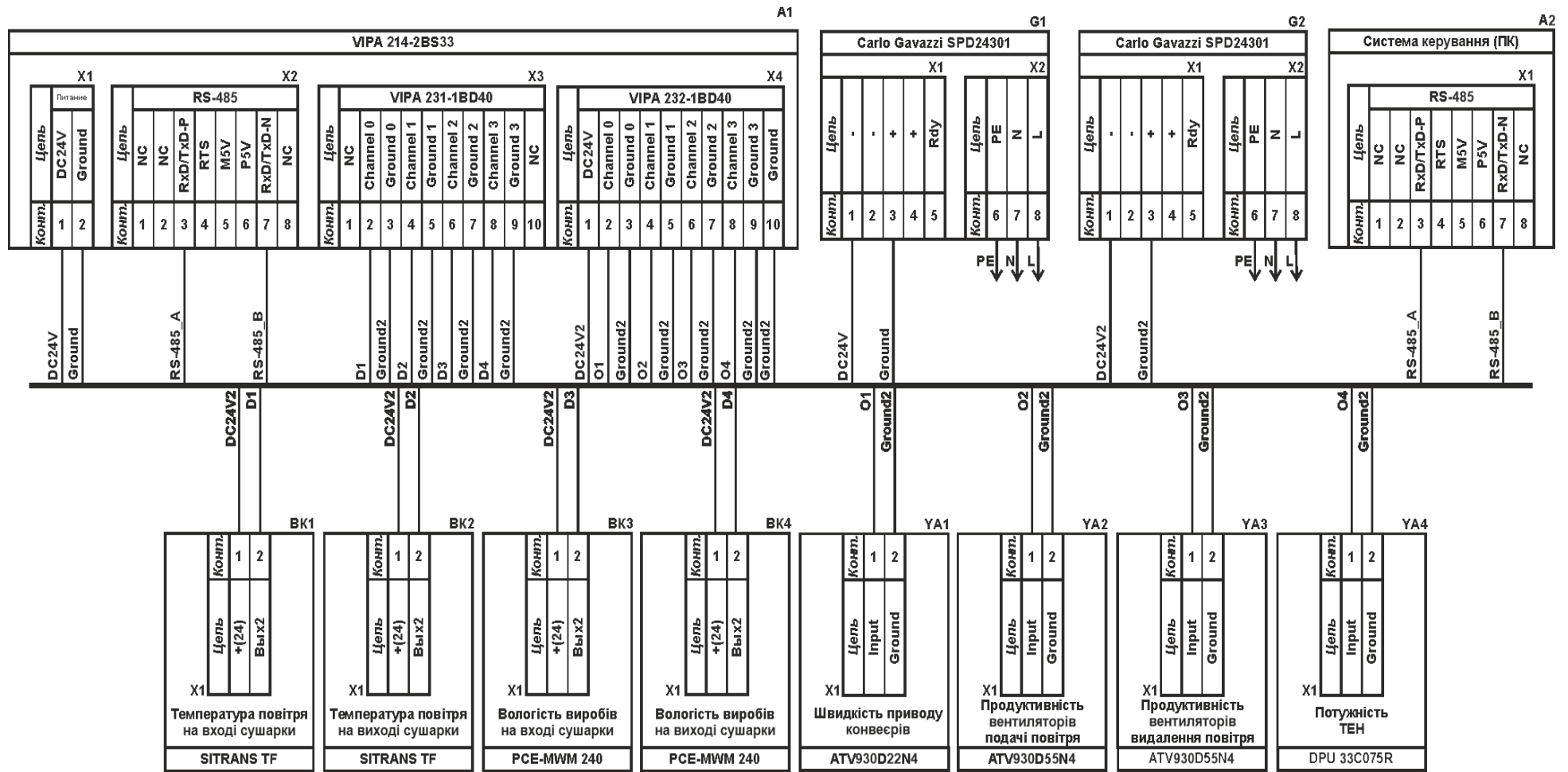


Рисунок 2.15 – Схема електрична принципова системи керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2

Регулювання продуктивності вентиляторів видалення повітря здійснюється по каналу керування 4...20 мА, який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4) до каналу 2.

Регулювання потужності ТЕН здійснюється по каналу керування 4...20 мА, який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4) до каналу 3.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

## **2.5 Висновки за розділом**

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка призначена для сушіння широкого асортименту макаронних виробів (вермішель, павутинка, ріжки, спіралі, труби, черепашки і т.д.)

Для синтезу системи керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2 обрані необхідні сучасні апаратні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Загальні відомості

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка призначена для сушіння широкого асортименту макаронних виробів (вермішель, павутинка, ріжки, спіралі, труби, черепашки та багато інших).

Макаронні вироби з вологістю 20...28 % поступають по ланцюговому конвеєру у верхню зону сушки сушарки. Далі вологі вироби по системі пересипних стрічкових конвеєрів просуваються вздовж всієї зони сушки у нижню її частину, а далі з нижньої частини зони вже сушки висушені з вологістю 5...8 % макаронні вироби по похилому ланцюговому конвеєру транспортуються з сушарки.

Ланцюговий і стрічковий конвеєрний пристрій оснащено одним спільним редуктором, швидкість обертів якого залежить від електродвигуна, який керується інверторним перетворювачем частоти. Час просування макаронних виробів по зоні сушки становить 3...6 год.

Регульовані по потужності групи електронагріву з ТЕН забезпечують необхідну температуру сушіння 40...95 °С, яка залежить від часу сушіння та визначеного показника техпроцесу.

Групи повітрообміну забезпечують подачу свіжого холодного повітря у сушарку та виведення гарячого вологого повітря з сушарки. Система впускних і випускних трубопроводів має пропорційні вентилятори подачі свіжого повітря і видалення гарячого вологого повітря.

У кваліфікаційній роботі обрано канал керування «потужність нагрівача – вологість макаронних виробів» як більш впливового на якість роботи макаронних виробів.

Для побудови системи керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2 за обраним каналом маємо наступні основні технічні показники:

- вологість виробів на вході: 20...28 %;
- вологість виробів на виході: 5...8 %;

– ТЕН: пропорційне керування; 45 кВт (380 В).

Таким чином для синтезу системи керування і моделюванні її роботи з метою перевірки її працездатності перш за все треба мати модель самого об'єкту керування - сушаркою макаронних виробів G1000-D2, яка є регульованою за вологістю макаронних виробів, в залежності від потужності ТЕН. При цьому всі інші вхідні і вихідні параметри об'єкта керування мають бути фіксованими і знаходитись у номінальному стані.

Регулювання потужності ТЕН здійснюються за допомогою тиристорного промислового джерела живлення Autonics DPU 33C075R з аналоговим вхідним каналом 4...20 мА.

Вологість макаронних виробів на вході і виході сушарки G1000-D2 вимірюється за допомогою УВЧ вологомірів PCE Instruments PCE-MWM 240, встановлених у вхідній і вихідній воронках. Виміряні значення за допомогою вбудованих перетворювачів трансформуються в стандартні аналогові сигнали 4...20 мА.

### **3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи**

Система дослідження призначена для збору інформації про об'єкт керування. Основними функціями цієї системи є формування і реєстрування керуючого впливу, який подається на об'єкт керування, реєстрування його дійсного значення на виході об'єкта, візуалізація отриманих даних та їх надання у зручному для подальшої обробки виді.

У кваліфікаційній роботі будуть розглядатися питання по створенню системи керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2 для одного з каналів керування «потужність нагрівача – вологість макаронних виробів».

Для отримання математичної моделі об'єкту керування треба провести комплексні заходи по дослідженню поведінки об'єкту керування під впливом ряду стандартних вхідних впливів. Візуалізація процесу керування у дослідницькій системі відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA



системою zenon. Така система дозволяє, крім функцій керування, виконувати також функції дослідження об'єкта керування, для чого достатньо використати дослідницьке програмне забезпечення. Виходячи з цього і розроблена структурна схема системи керування, яка наведена на рис. 3.1.

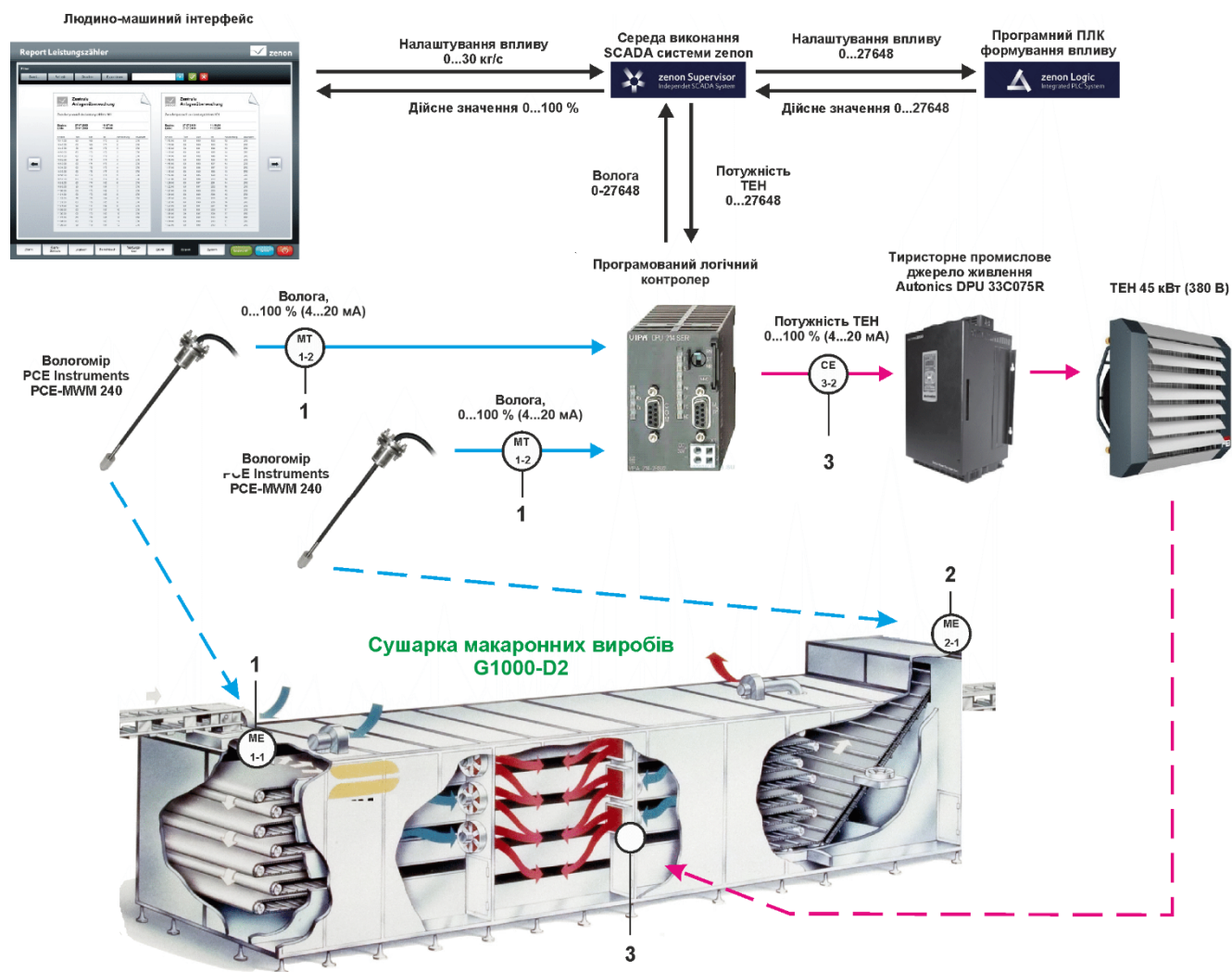


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає потужність ТЕН, яка номінально змінюється у діапазоні 15 ...45 кВт за рахунок чого через певний час виконуються зміна дійсного значення - вологості макаронних виробів. Значення зміни вологості макаронних виробів у сушарці в нашому випадку - це різниця вологості макаронних виробів на вході (20...28 %) в сушарку та виході (5...8 %) з сушарки. У нашому випадку номінальний діапазон становить  $20-8=12...28-5=23$ , а розширений може становити 10...26 %.

Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером зі SCADA системою zenon реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

### **3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування**

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів для подання їх через систему керування на об'єкт керування. При цьому об'єкт керування не накладає ні яких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою метода активного експерименту.

З метою виконання ідентифікації об'єкта керування, використовуючи метод активного експерименту, при якому необхідно отримати його динамічну характеристику, данні для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі, та перевірочні данні. Виходячи з цього і складено наступний план експерименту:

1. Налаштувати систему дослідження.
2. Отримати динамічну характеристику.
  - 2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.
  - 2.2. Запустити процес реєстрування.
  - 2.3. Задати максимальну амплітуду керуючого впливу (100 %), дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.
  - 2.5. Зупинити процес реєстрації.
3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.
  - 3.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).
  - 3.2. Розбити весь діапазон керуючого впливу на 5...10 рівних частин. Далі запустити процес реєстрування та поетапно подавати ці значення керуючого впливу на об'єкт керування, поетапно дочекавшись усталеного режиму дійсного значення фіксувати його.
  - 3.3. Зупинити процес реєстрації.
4. Отримання даних при П-образному впливі.

4.1 Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

4.2 Запустити процес реєстрування.

4.3. Задати керуючий вплив на рівні 100 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.4. Задати керуючий вплив на рівні 0 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.5. Зупинити процес реєстрації.

5. Отримання перевірочних даних.

5.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

5.2. Налаштувати псевдовипадковий вплив таким чином, щоб період зміни впливу був бажано у 5...10 разів менший за час перехідного процесу, а амплітуда керуючого впливу змінювалася дискретно (бажано випадково) в діапазоні 0...100 %.

5.3. Запустити процес реєстрування.

5.4. Запустити формування псевдовипадкового впливу.

5.5. Виконувати реєстрацію бажано на протязі часу не менш ніж за 5...10 інтервалів часу перехідного процесу плюс час затримки.

5.6. Зупинити процес реєстрації.

### **3.4 Виконання експерименту**

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив – потужність ТЕН буде змінюватися дискретно з мінімального можливого значення до максимального, а відповідне дійсне значення – вологість макаронних виробів, під впливом керуючого значення з часом буде теж змінюватися з максимального значення до мінімального значення.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 3.2).

Потужність ТЕН, за технічними параметрами для сушарки макаронних виробів G1000-D2, лінійна регулюється у межах розширеного діапазону керуючого

впливу зі значеннями потужності 15 ...45 кВт, що становить відповідно повний діапазон регулювання (0...100 %).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 0 % (15 кВт). Після досягнення усталеного режиму – різниця вологості для макаронних виробів на вході і виході сушарки стабілізувалась на рівні максимального значення (26 %), керуючий сигнал було встановлено на рівні 100 % (45 кВт), а після досягнення усталеного режиму – різниця вологості для макаронних виробів на вході і виході сушарки стабілізувалась на рівні мінімального значення (10 %) експеримент було закінчено.

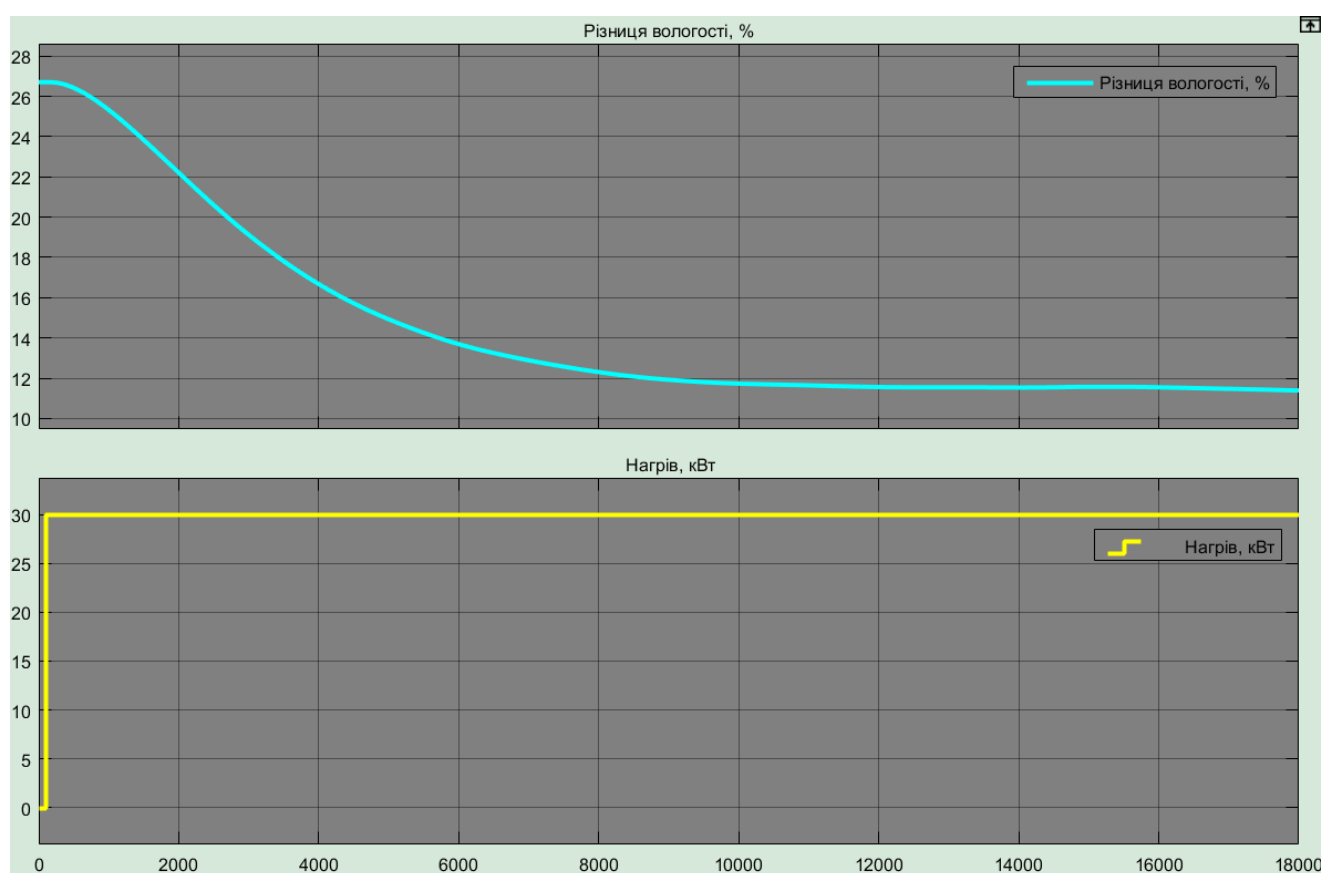


Рисунок 3.2 – Отримання динамічної характеристики

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 3.3).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 20 % (6 кВт), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 40 % (12 кВт), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 60 % (18 кВт), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

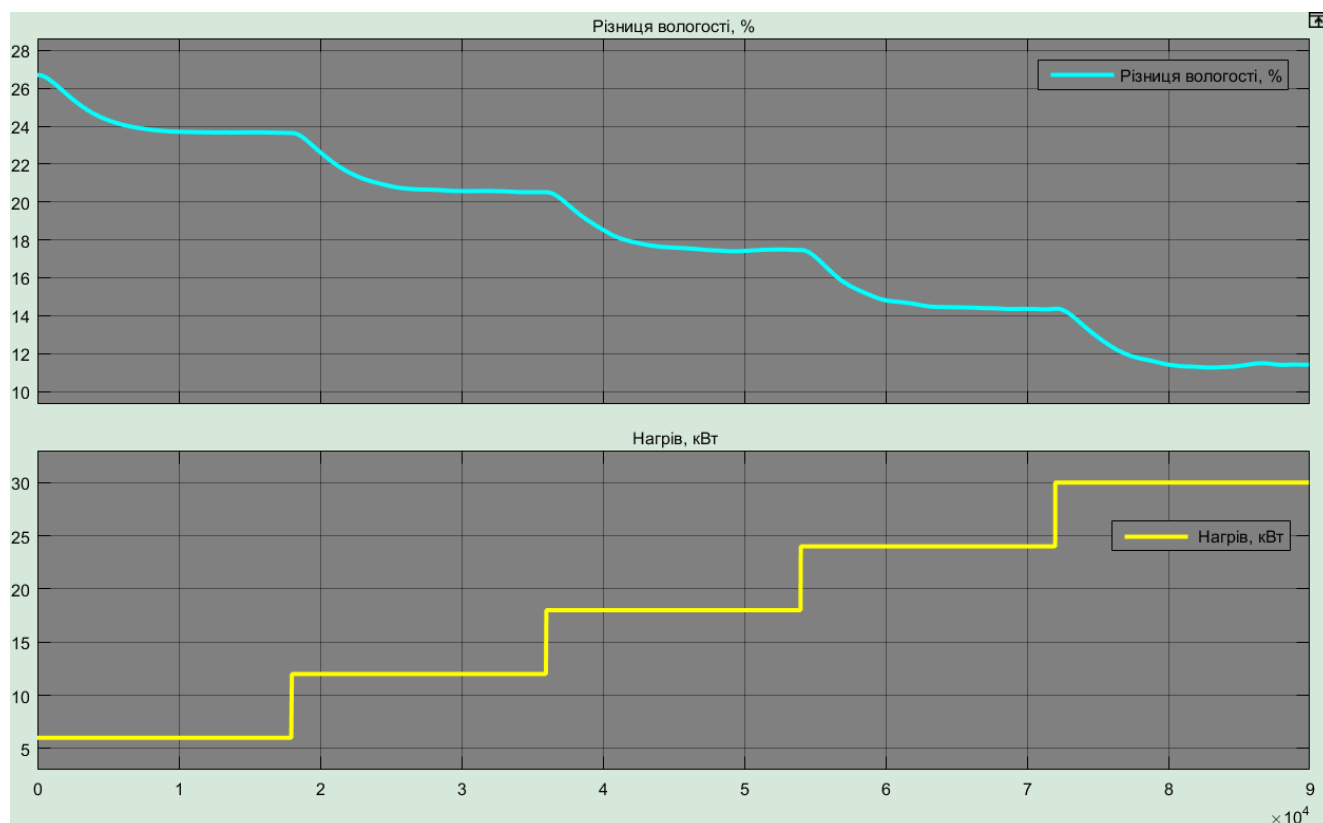


Рисунок 3.3 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 80 % (24 кВт), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 100 % (30 кВт), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Після цього експеримент було закінчено.

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.4).

Для цього було встановлено керуючий вплив на рівні 0 % (0 кВт), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина, після досягнення усталеного режиму дійсного значення було встановлено керуючий вплив на рівні на рівні 100 % (30 кВт), після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на рівні 0 % (0 кВт), після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

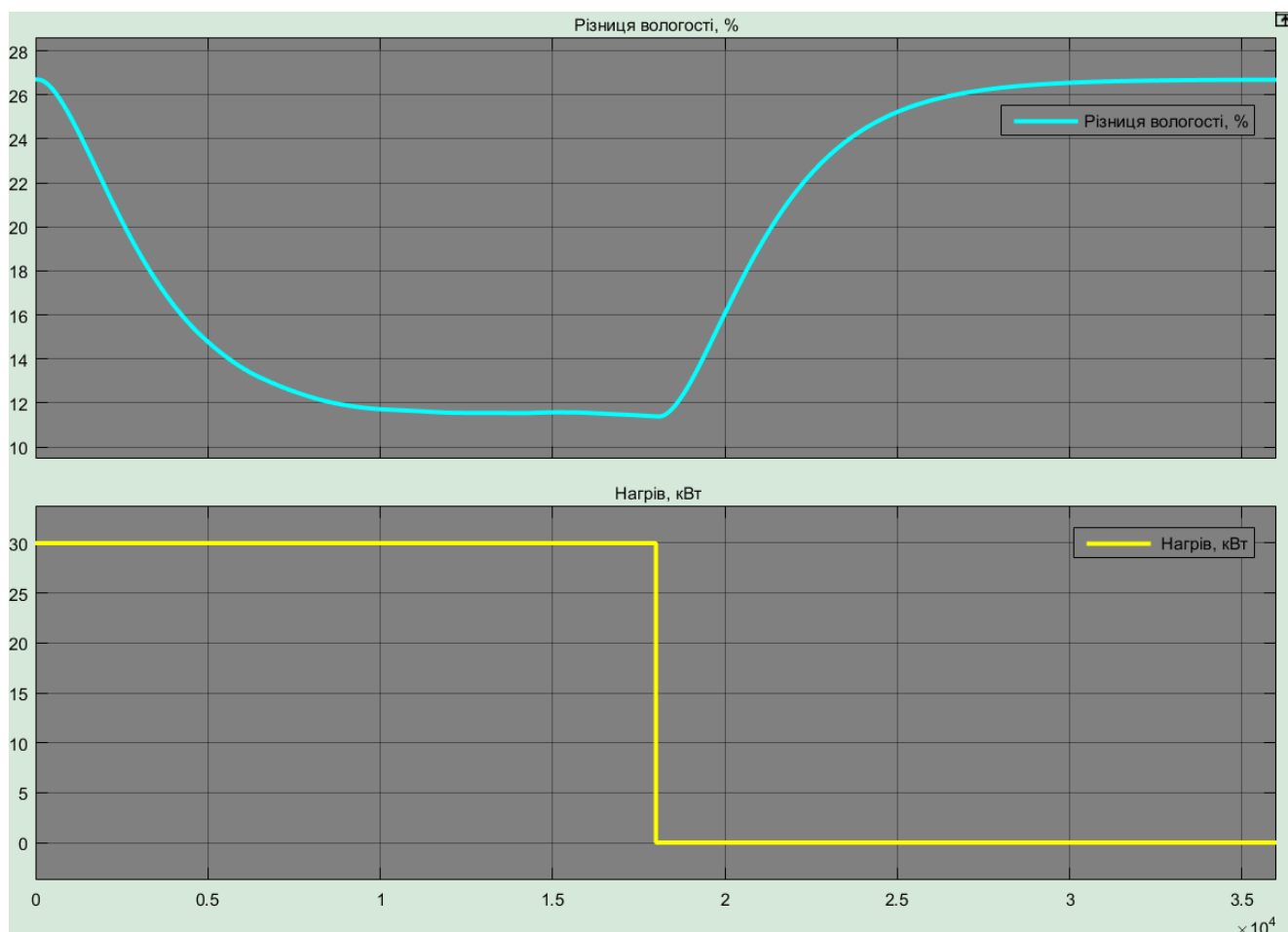


Рисунок 3.4 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 3.5).

Для цього керуючий вплив було налаштовано на випадкову послідовність в діапазоні 0...100 % (0...30 кВт), з інтервалом зміни у 2 500 с (з попереднього аналізу рис. 3.4 маємо - перехідний процес близько 18 000 с, а сама реєстрація відбувалася на протязі 90 000 с.



Рисунок 3.5 – Отримання перевірочних даних

У результаті виконання плану експерименту було проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

### 3.5 Обробка результатів експерименту

#### 3.5.1 Підготовка даних

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 3.6).

Змінні які відповідають даним динамічної характеристики “Dynamic\_Input”, “Dynamic\_Output”, даним для побудови статичної характеристики “Static\_Input”, “Static\_Output”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P\_Input”,

“P\_Output”, перевірочним даним “Check\_Input”, “Check\_Output”. Суфікс “\_Input” позначає керуючий вплив, а суфікс “\_Output” дійсне значення.

Name ^	Value
Check_Input	280001x1 double
Check_Output	280001x1 double
Dynamic_Input	18001x1 double
Dynamic_Output	18001x1 double
P_Input	36001x1 double
P_Output	36001x1 double
Static_Input	90001x1 double
Static_Output	90001x1 double

Рисунок 3.6 – Імпортовані данні

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об’єктів типу “iddata”. Та з отриманих даних була видалена статична складова.

На рис. 3.7 та рис. 3.8 показані результати моделювання з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірочної характеристик.

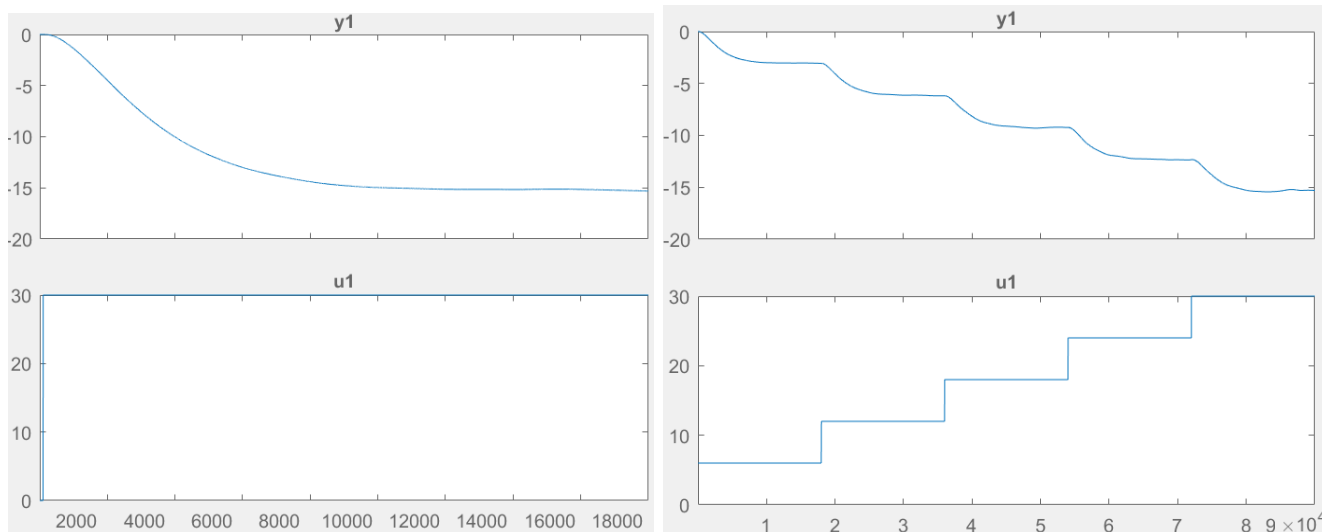


Рисунок 3.7 – Динамічна і статична характеристики з видаленими статичними складовими



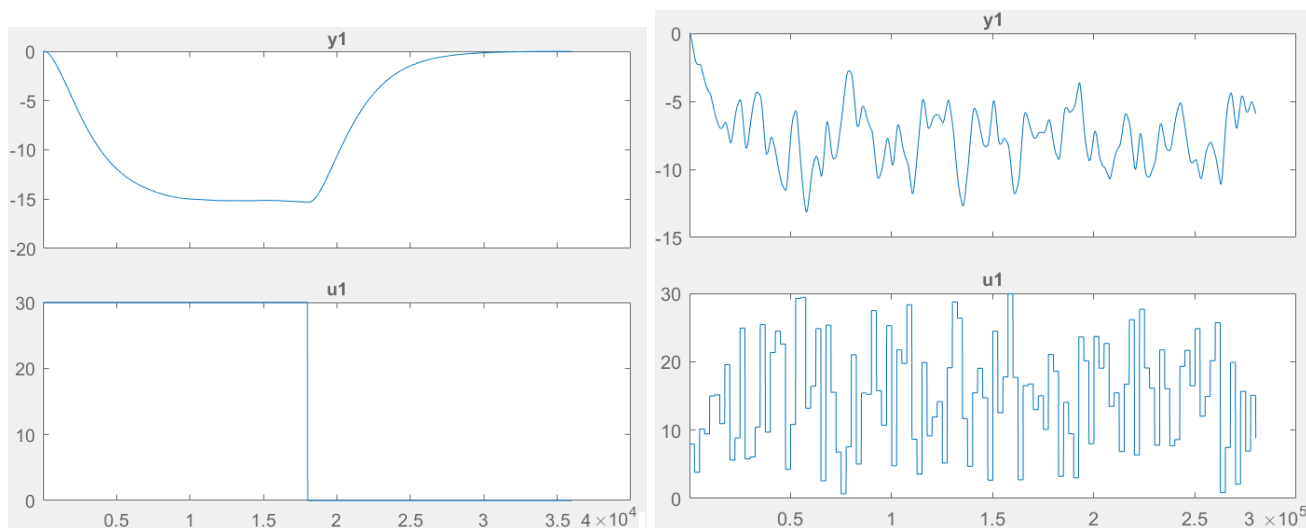


Рисунок 3.8 – П-образна та перевірна характеристики з видаленими статичними складовими

### 3.5.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.9).

Після подачі керуючого впливу дійсно значне змінюється з значним запізненням, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням. Це може бути пов'язано з часом розповсюдження гріючого повітря від ТЕН вдовж всього каналу нагрівання макаронної продукції та інерційності самих датчиків вологості.

На динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює двом. На підставі цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

Коефіцієнт посилення  $K \approx -(28-10,5) / 30 = -0,58$ .

Час перехідного процесу приблизно 18 000, а постійна часу  $18\,000 / 5 \approx 3\,600$  с, затримка  $\approx 60$  с.

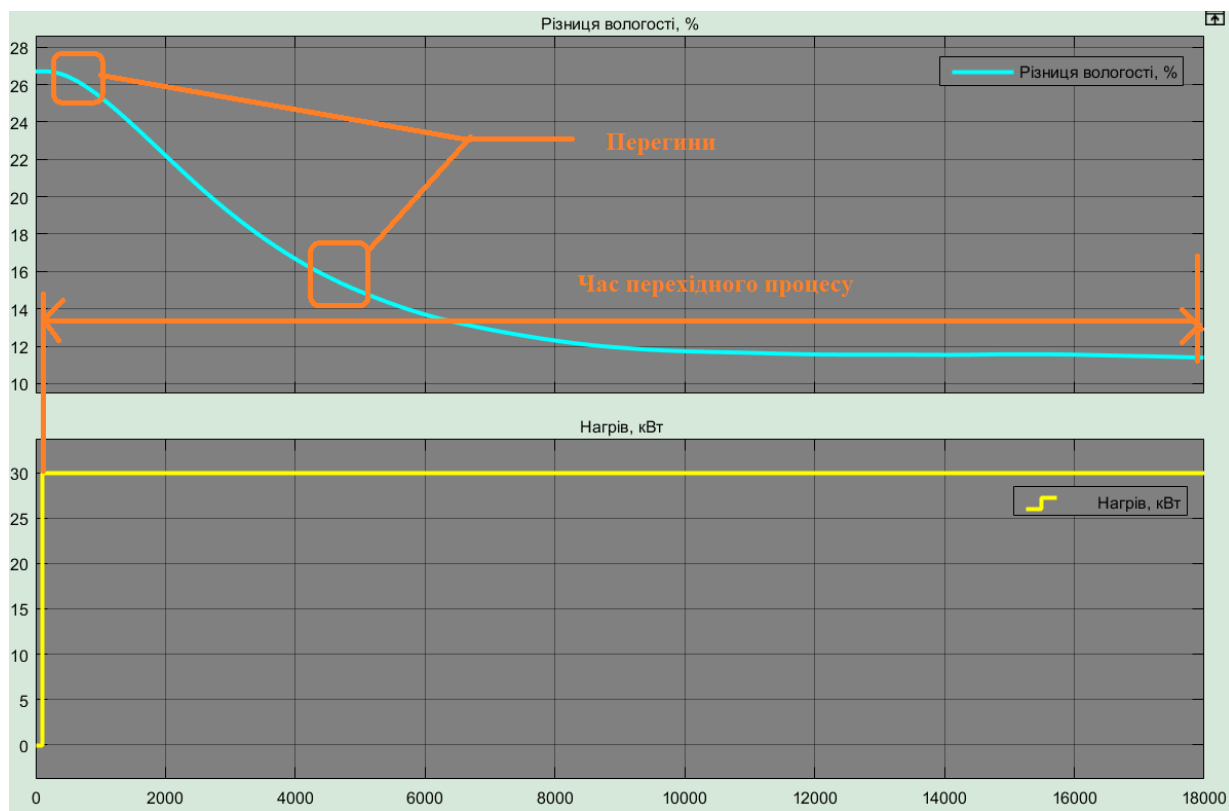
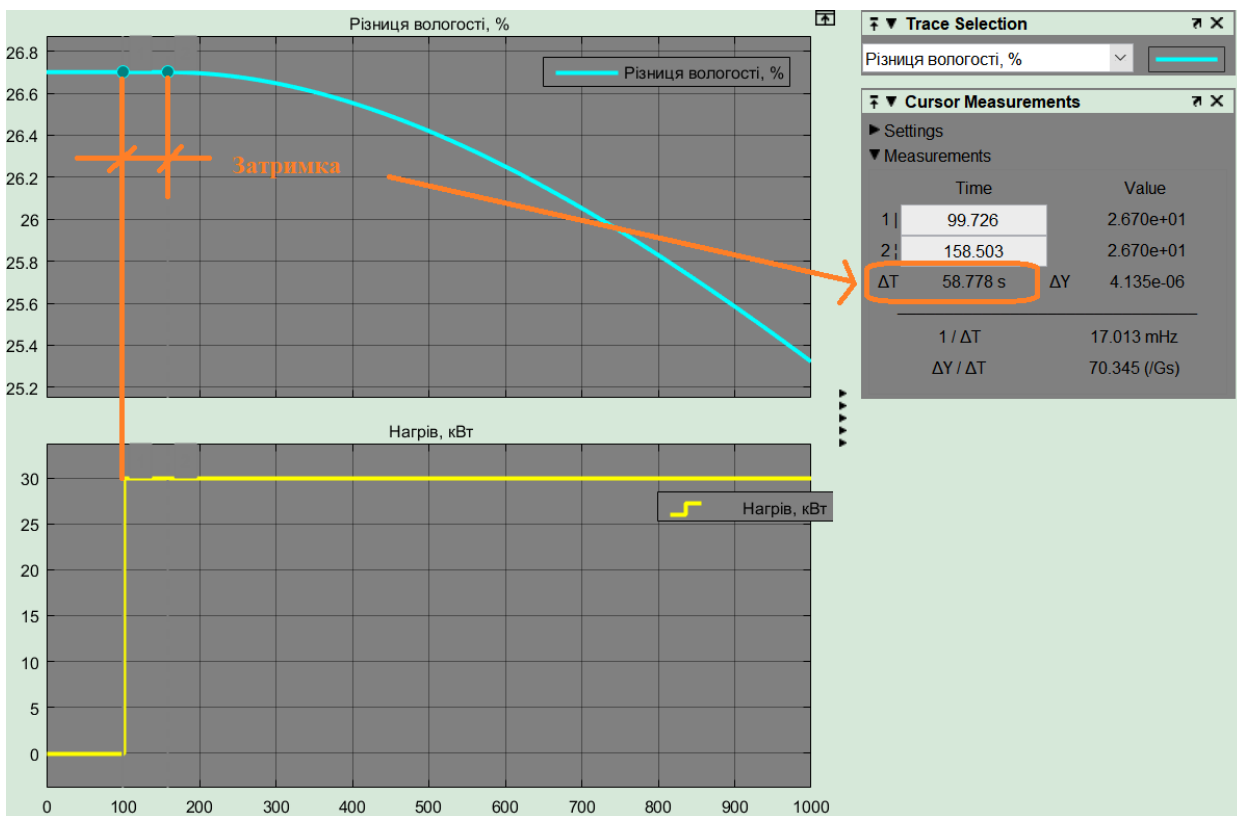


Рисунок 3.9 – Аналіз динамічної характеристики

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.10).

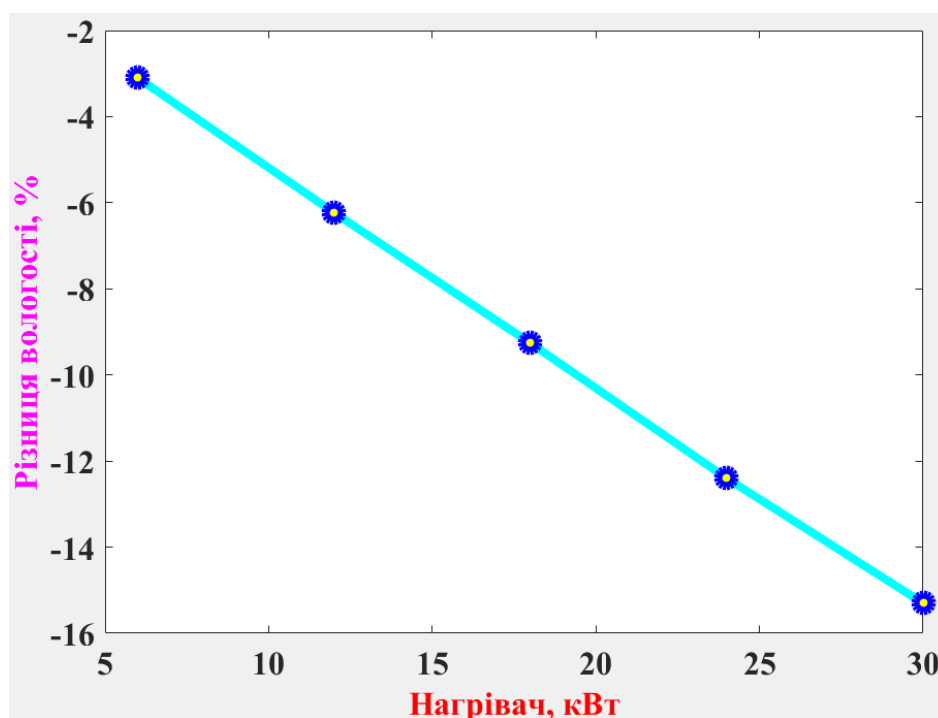
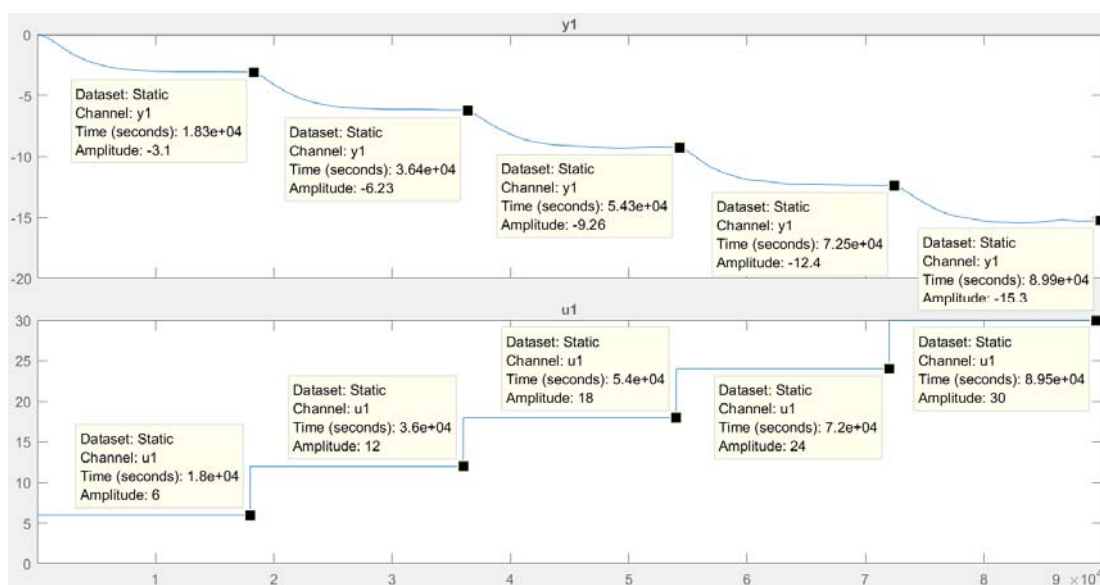


Рисунок 3.10 – Статична характеристика

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх точок крім нульових:

Static Gain =  
 -0.5167    -0.5192    -0.5144    -0.5167    -0.5100  
 Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 1.80

За статичною характеристикою та отриманими коефіцієнтами посилення об'єкт керування є лінійним в усьому досліджуваному діапазоні керуючих впливів та для його опису можуть бути використані лінійні моделі, так як відхилення

коефіцієнту посилення у всьому діапазоні менше ніж величина технічної похибки 10 %.

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 3.11).

Збільшення керуючого впливу з 0 % (0 кВт) до 100 % (30 кВт) приводить до відповідного зменшення дійсного значення, а зменшення керуючого впливу з 100 % (30 кВт) до 0 % (0 кВт) приводить до відповідного збільшення дійсного значення. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

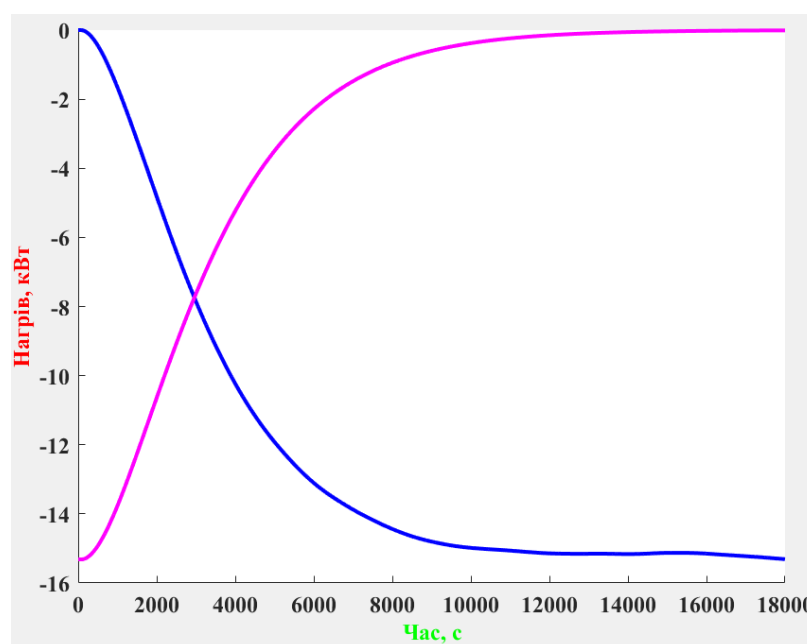


Рисунок 3.11 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

З метою аналізу симетричності об'єкта керування його характеристика, яка отримана при П-образному впливі була поділена на ділянки підйому та спаду з метою порівняння ділянок підйому та спаду, яке виконувалося через порівняння стандартних середнє квадратичних відхилень:

**Порівняння ділянок підйому та спаду: 1.27 %**

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності середнє квадратичне відхилення менше ніж величина технічної похибки 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартне середнє

квадратичні відхилення ділянок підйому та спаду співпадають, таким чином об'єкт керування є симетричним та може бути представлений однією лінійною моделлю.

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (3.1)$$

де  $W(s)$  – передавальна функція моделі об'єкта керування;  $s$  – оператор диференціювання;  $k$  – коефіцієнт посилення;  $\tau$  – час запізнення, с;  $T_1, T_2$  – постійні часу, с.

### 3.5.3 Параметрична ідентифікація

Параметрична ідентифікація виконувалася у програмному забезпеченні System Identification Toolbox яке входить до складу математичного пакета MATLAB.

До програмного забезпечення System Identification Toolbox (рис. 3.12) імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic».

Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.12.

Розрахунок параметрів виконувався через метод Process Models для аперіодичних ланок першого, другого та третього порядку з запізненням.

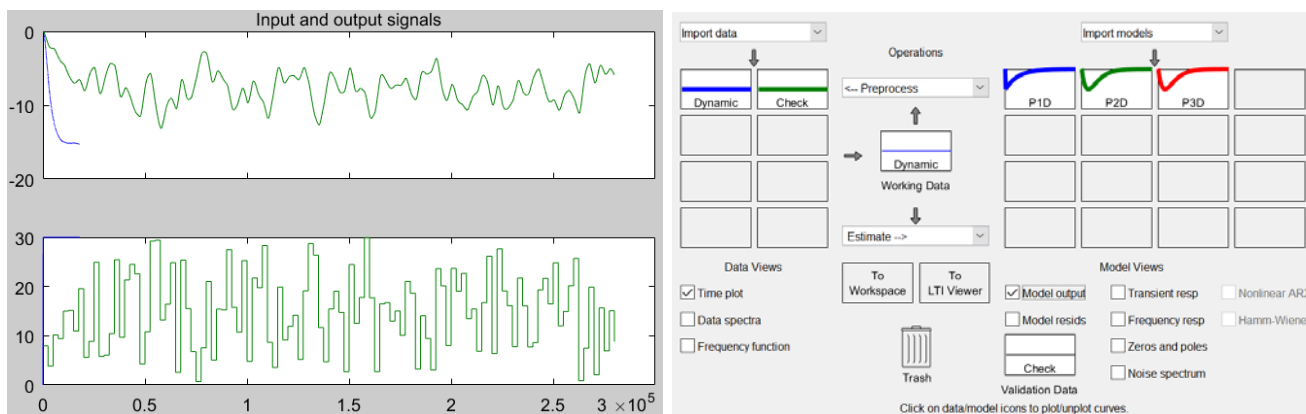


Рисунок 3.12 – Налаштування System Identification Toolbox

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.13 та в табл. 3.1.

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned} K_p &= -0.52139 \text{ +/- } 0.00021028 \\ T_{p1} &= 3336.2 \text{ +/- } 5.9997 \\ T_d &= 57.5 \end{aligned}$$

Fit to estimation data: 89.43%  
FPE: 0.2272, MSE: 0.2271

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned} K_p &= -0.50695 \text{ +/- } 3.1679e-05 \\ T_{p1} &= 1733.6 \text{ +/- } 7753.6 \\ T_{p2} &= 1733.1 \text{ +/- } 7754.2 \\ T_d &= 57.5 \end{aligned}$$

Fit to estimation data: 98.84%  
FPE: 0.002734, MSE: 0.002732

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned} K_p &= -0.50753 \text{ +/- } 0.01959 \\ T_{p1} &= 0.0077722 \text{ +/- } 25.532 \\ T_{p2} &= 1744 \text{ +/- } 1.0116e+05 \\ T_{p3} &= 1743.1 \text{ +/- } 1.0104e+05 \\ T_d &= 57.5 \end{aligned}$$

Fit to estimation data: 98.84%  
 FPE: 0.002743, MSE: 0.002741

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1D, P2D та P3D до перевірочних даних Check, отриманих на об'єкті керування, наведена на рис. 3.13 та представлена у табл. 3.1.

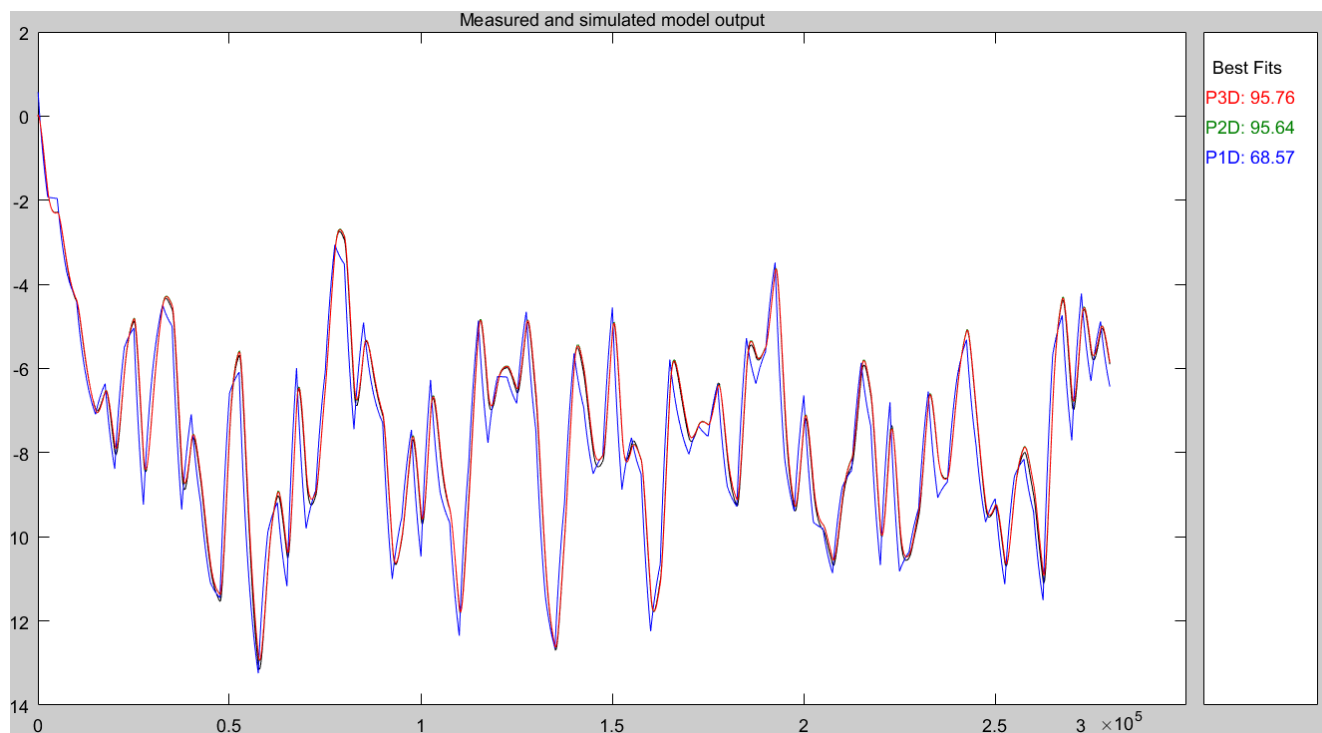


Рисунок 3.13 – Перевірка результатів розрахунків

Таблиця 3.1 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P1D	P2D	P3D
$k$	-0,52139	-0,50695	-0,50753
$T_1, c$	3336,2	1733,6	0,0077722
$T_2, c$	-	1733,1	1744
$T_3, c$	-		1743,1
$\tau$	57,5	57,5	57,5
НСКП, %	89,43	98,84	98,84
ПОП	0,2272	0,002734	0,002743
СКП	0,2271	0,002732	0,002741
НСКП, %	68,57	95,64	95,76

Аналіз відмінностей між оцінками отриманих моделей по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), всього підходять моделі P2D та P3D з однаковим показником у 98.84 %, а

помилка остаточного передбачення (ПОП) для P2D і P23 теж майже однакова ( $0.002741 / 0.002734 \approx 1$ ).

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними. Найкращі показники мають ті самі модель P2D та P3D з майже с однаковими показниками НСКП відповідності за перевірочними даними у 95,64 % та 95,76 % відповідно.

Враховуючі той факт, що для моделі P3D один показників постійної часу  $T_1$ , дорівнює нулю, то можна сміливо обрати більш простішу модель P2D.

Виходячи з усього, що наведено вище можна стверджувати, що обрана модель P2D має достатню відповідність до перевірочних даних, яка значно більше ніж граничне неприпустиме значення у 80 %.

Для параметричної перевірки обраної моделі P2D можна звернути увагу на наступні показники, отримані за динамічною характеристикою (рис. 3.9) - коефіцієнт посилення -0,58, час перехідного процесу близько  $\sim 18\ 000$  с, постійна часу 3 600 с, затримка  $\approx 60$  с. Для отриманої моделі другого порядку P2D коефіцієнт посилення дорівнює -0,50695, постійна часу становить  $1733,6 + 1733,1 = 3\ 466,7$  с, а затримка 57,5 с, що додатково підтверджує, що об'єкту керування дійсно краще всього відповідає обрана модель P2D - аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 95,6 %:

$$W(s) = \frac{-0,51 \cdot e^{-57,5s}}{(1734s + 1) \cdot (1733 + 1)} \quad (3.2)$$

### 3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Використовуючи передавальну функцію (3.2) у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблена модель сушарки G1000-D2 (рис. 3.15) та схема складена схема отримання даних для перевірки на адекватність (рис. 3.15).



При налаштуванні схеми час моделювання задано 280 000 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 с, що відповідає первинним даним.

На виході моделі сушарки G1000-D2 додано статичний зсув характеристики дійсного значення, який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування: для мінімально-можливої потужності нагрівача на вході моделі об'єкту керування у 15 кВт (керуючий вплив 0 %), різниця вологості макаронних виробів при цьому керуючому впливі максимальна і становить 26,7 % (дійсне значення).

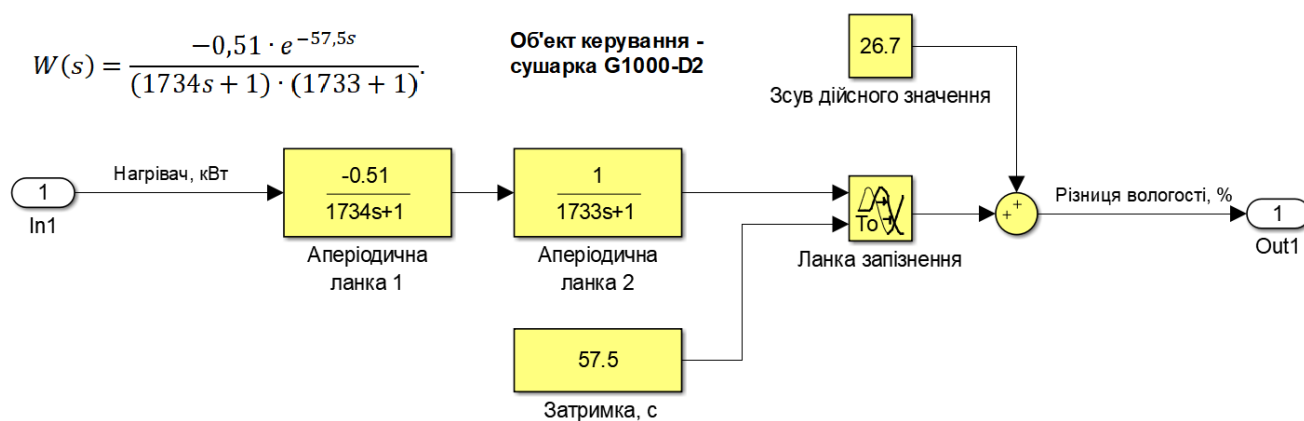


Рисунок 3.14 – Модель об'єкту керування (сушарка G1000-D2)

На рис. 3.15 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність. На вихід моделі P2D також доданий статичний зсув дійсного значення, який відповідає за початкове значення дійсного значення – різниці вологості макаронних виробів 26,7 % при початковому входньому сигналі 15 кВт (0 %) – мінімально можлива потужність нагрівача.

Порівняння відбувається з чистими перевірочними даними над якими не виконувалися дії які б могли їх «скомпрометувати».

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.16).

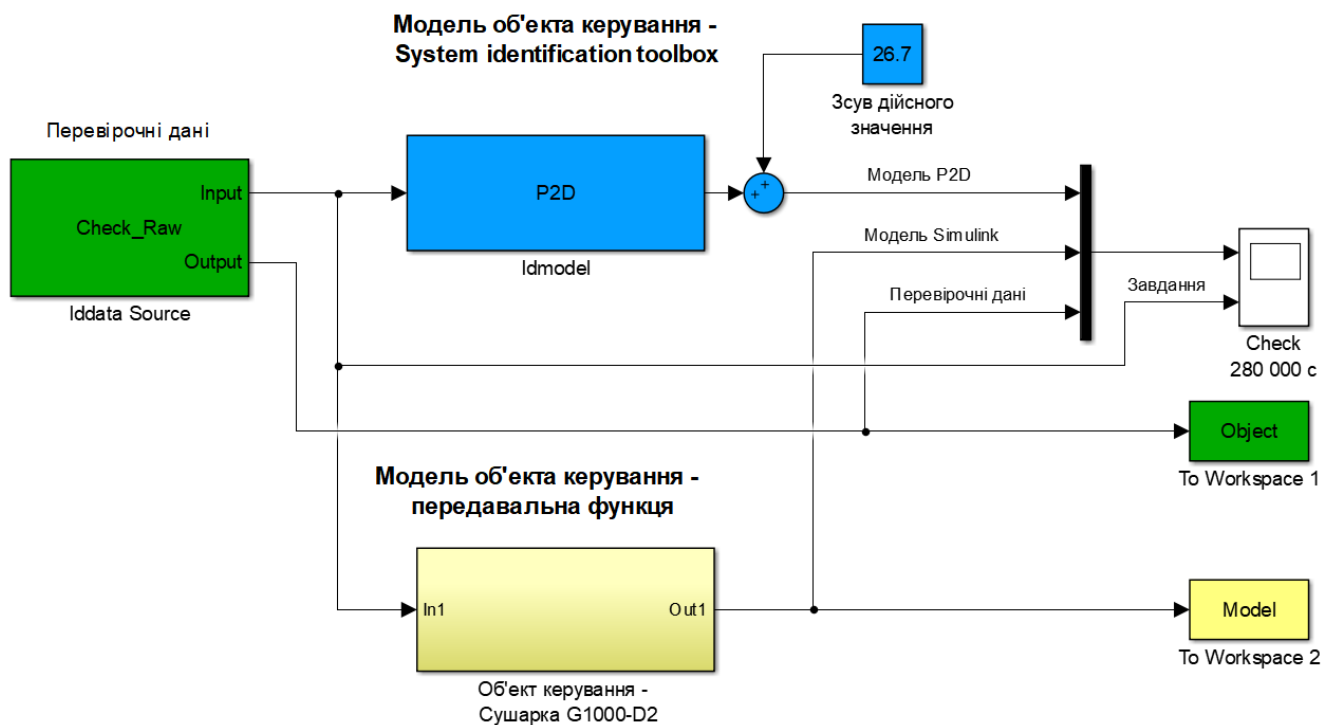


Рисунок 3.15 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

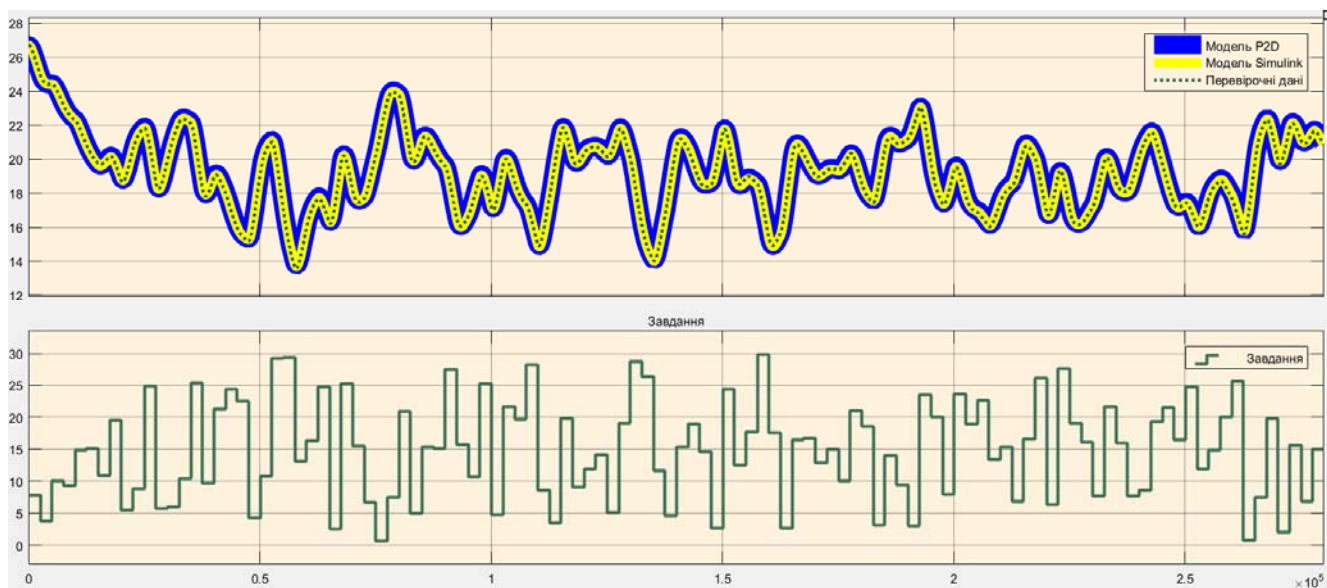


Рисунок 3.16 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

### 3.5.5 Перевірка моделі на адекватність

При перевірці на відповідність її значення у більшості випадків повинні бути вище 80 %, при перевірці на адекватність коефіцієнт кореляції повинен бути вище 0,8, а довірчий інтервал відповідати 0,9. У деяких випадках ці значення можуть бути змінені.

Перевірка на адекватність виконувалася за допомогою скрипту GetAdequacy.m, який реалізує відповідний розрахунок перевірки на адекватність.

Результат виконання статистичного аналізу (виклику функції):

**Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0**

**Коефіцієнт кореляції: 1.000**

**Статистичний критерій Фішера: 328593871.300**

**Критичне значення статистики Фішера: 2.706**

**Статистичний критерій Фішера більший критичного значення, модель є адекватною до об'єкта керування.**

Використовуючи скрипт GetAdequacy.m встановлено, що між перевірочними даними та результатами моделювання присутній дуже високий зв'язок, коефіцієнт кореляції близький до 1,0. Статистичний критерій Фішера 328 593 871 більший критичного значення 2,706, тобто модель є адекватною до об'єкта керування.

Схема для отримання динамічної характеристики модель об'єкта керування наведена на рис. 3.16, а результат моделювання динамічної характеристики моделі об'єкта керування наведено на рис. 3.17.

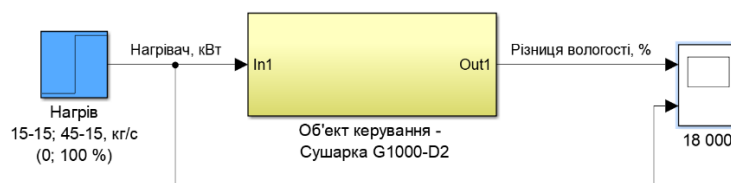


Рисунок 3.16 – Схема отримання динамічної характеристики об'єкта керування

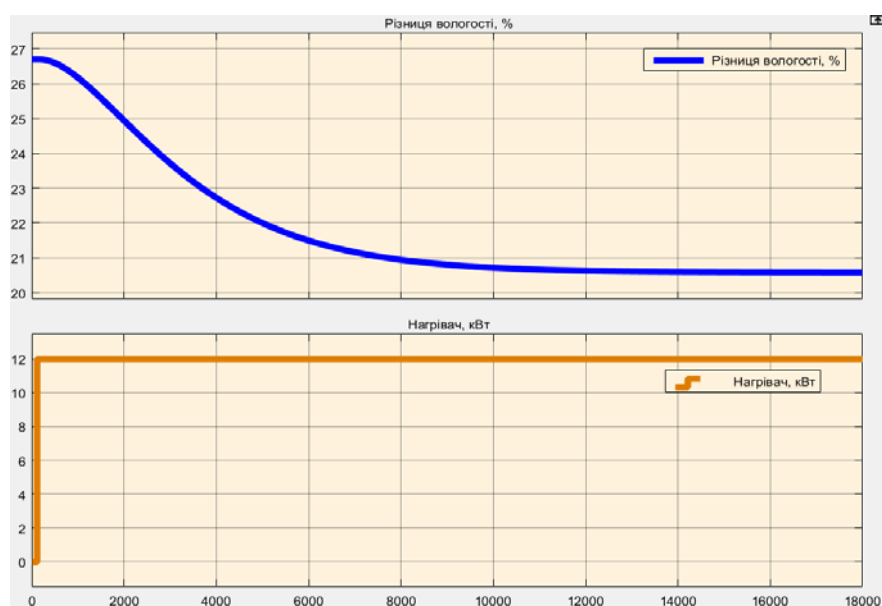


Рисунок 3.17 - Динамічна характеристика моделі об'єкта керування

### 3.6 Висновки за розділом

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування - сушарки G1000-D2 відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням з наступними розрахованими параметрами: коефіцієнт підсилення  $-0,51$ , постійні часу  $1734$  с та  $1733$  с, а запізнення становить  $57,5$  с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у  $95,6$  %, сильний кореляційний зв'язок  $1,0$  та статистичний критерій Фішера  $328\ 593\ 871$  значно більшу критичного значення  $2,706$ . Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування - сушарки макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка призначена для сушіння широкого асортименту макаронних виробів.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом автоматизації обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка використовується ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» (м. Луцьк).

Слово «макарони» зазвичай використовується для позначення різноманітності страв з макаронних виробів. Зазвичай макарони готують з прісного тіста твердих сортів пшеничного борошна, змішаного з водою і сформованого в листи або різні форми, потім готують і подають в будь-якій кількості страв. Він може бути виготовлений з борошна з інших злаків або зерна, а яйця можна використовувати замість води. Макарони можна розділити на дві великі категорії: сушені (*pasta secca*) і свіжі (*pasta fresca*).

Залежно від виробничої потужності та формату продукції, виробничі лінії з сушкою макаронних виробів вимагають змінної кількості операторів. Ця потреба стосується необхідністю керування процесами з особливою увагою відповідно до технологічної програми та якості, керування зміною форматів, обробки макаронних виробів на всьому шляху, від обробки тіста до упаковки та зберігання.

Автоматизація технологічних ланок відноситься до окремих фаз або послідовних етапів: це стосується автоматизації тіста (без будь-якого втручання людини) - дозволяють дозувати, попередньо змішувати та замішувати різні інгредієнти відповідно до рецептур, визначених та керованих ПЛК.

Лінії з сушкою макаронних виробів характеризуються сильним компонентом навантаження операторів техпроцесу, внаслідок чого оператору доводиться переривати виробництво, щоб усунути проблему. Завдяки сучасним системам керування ці технологічні операції можуть бути автоматизовані, в наслідок чого макаронна фабрика отримає такі переваги, як: покращення часу виробництва та

зміни формату, скорочення часу простою, спрощення виробничої програми або просто: «спрощення» та «зниження витрат».

## 4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування

Розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (4.1)$$

де  $K_{\text{ПКВ}}$  – проектні капітальні витрати, грн.;  $C_{\text{ОБ}}$  – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.;  $D_{\text{ТР}}$  – транспортно-заготівельні витрати, грн.;  $M_{\text{МН}}$  – витрати на монтаж і налагодження системи, грн.;  $K_{\text{ПЗ}}$  – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат  $C_{\text{ОБ}}$  [4...13]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Модуль ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	36 794,40	36 794,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	1	25 249,10	25 249,10
3	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	26 155,50	26 155,50
4	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	48 735,90	48 735,90
5	Датчик температури SITRANS TF	од.	2	44 200,00	88 400,00
6	Датчик вологи UBX PCE Instruments PCE-MWM 240	од.	2	4 400,00	8 800,00
7	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 276,00	4 552,00
8	Шафа монтажна	од.	1	15 000,00	15 000,00
9	Монтажні дроти	м	80	12,50	1 000,00
10	Мережний кабель	м	420	26,00	10 920,00
11	Програмне забезпечення	разом	1	80 000,00	80 000,00
	Разом				345 606,90

Вартість обладнання складає  $C_{\text{ОБ}} = 345\,606,90$  грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

$$D_{\text{ТР}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,08. \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{\text{ТР}} = 345\,606,90 \cdot 0,08 = 27\,648,56 \text{ (грн.)}.$$

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{\text{МН}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,07. \quad (4.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{\text{МН}} = 345\,606,90 \cdot 0,07 = 24\,192,49 \text{ (грн.)}$$

### 4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

#### 4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{\text{ОТ}} + t_g. \quad (4.4)$$

де  $t$  – трудомісткість розробки програмного забезпечення (люд.-год.);  $t_o$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (люд.-год.);  $t_u$  – витрати праці на дослідження алгоритму керування (люд.-год.);  $t_a$  – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.);  $t_n$  – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму (люд.-год.);  $t_{\text{Н}}$  – витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.);  $t_g$  – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові витрати праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (4.5)$$

де  $Q$  – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;

$q$  – кількість операторів у програмному забезпеченні (виходячи з програмного забезпечення розробленого на мові Structured Text типове значення має діапазон 400... 800, приймаємо  $q = 650$ );

$c$  – коефіцієнт складності програми (приймаємо  $c = 1,5$ );

$p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо  $p = 0,35$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 650 \cdot 1,5 \cdot (1 + 0,35) \approx 1\,317$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають  $t_o = 72$  (люд.-год.).

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k'} \quad (4.6)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо  $B = 1,6$ );  
 $k$  – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо  $k = 1,35$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 1\,317 \cdot 1,6 / (80 \cdot 1,3) \approx 21 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k'} \quad (4.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 1\,317 / (20 \cdot 1,35) \approx 49 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k'} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 1\,317 / (20 \cdot 1,35) \approx 49 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_{\text{н}} = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k'} \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{\text{н}} = 1\,317 / (4 \cdot 1,35) \approx 244 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{\text{ДР}} + t_{\text{ДО}}, \quad (4.10)$$

де  $t_{\text{ДР}}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;  
 $t_{\text{ДО}}$  – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{\text{ДР}} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k'} \quad (4.11)$$



Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 1\,317 / (15 * 1,35) \approx 66 \text{ (люд. – год.)}.$$

Трудовіткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др}. \quad (4.12)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 66 = 50 \text{ (люд. – год.)}.$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 66 + 50 = 116 \text{ (люд. – год.)}.$$

Таким чином трудовіткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 72 + 21 + 49 + 49 + 244 + 116 = 551 \text{ (люд. – год.)}$$

#### 4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначається як:

$$K_{ПЗ} = Z_{зп} + Z_{мч}, \text{ грн.} \quad (4.13)$$

де  $Z_{зп}$  – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.;  $Z_{мч}$  – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ, грн.

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн.}, \quad (4.14)$$

де  $t$  – час розробки ПЗ, год;  $C_{пр}$  – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо  $C_{пр} = 160,00$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{зп} = 551 * 160,00 = 88\,160,00 \text{ грн.},$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{мч} = t_n \cdot C_{мч}, \text{ грн.}, \quad (4.15)$$

де  $t_n$  – час налаштування ПЗ, год;

$C_{мч}$  – вартість машинного часу (приймаємо  $C_{мч} = 20,5$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$З_{\text{МІ}} = 49 * 20,5 = 1\,004,5 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 88\,160,00 + 1\,004,5 = 89\,164,5 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де  $T$  – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.);  $B_k$  – кількість розробників (приймаємо  $B_k = 1$ );  $F_p$  – місячний фонд робочого часу ( $F_p = 176$  (год./міс.)).

$$T = 551 / (1 * 176) = 3,14 \approx 3,5 \text{ (міс.)}$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = 345\,606,90 + 27\,648,56 + 24\,192,49 + 89\,164,5 \approx \\ \approx 486\,612,45 \text{ грн..}$$

#### 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{\text{РО}} + C_{ee} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (4.17)$$

де  $C_e$  – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, грн.;  $C_a$  – амортизація основних фондів, грн.;  $C_3$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.;  $C_c$  – відрахування на соціальні заходи, грн.;  $C_{\text{РО}}$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.;  $C_{ee}$  – вартість електроенергії, грн.;  $C_{\text{ІНШ}}$  – інші витрати, грн.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

##### 4.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років. При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.18)$$

де  $H_a$  – норма амортизації, %;  $T$  – термін корисного використання об'єкта, років.

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{ПВ \cdot H_a}{100 \%}, \quad (4.19)$$

де  $C_a$  – річна амортизація основних фондів, грн.; ПВ – первинна вартість (ПВ =  $K_{ПКВ}$ ), грн.

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%.$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = 486\,612,45 \cdot 40 / 100 = 194\,644,99 \text{ грн.}$$

#### 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{НР} = (T_K - T_{ВС} - T_B) \cdot T_3, \quad (4.20)$$

де  $T_{НР}$  – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год.;  $T_K$  – календарний фонд робочого часу, днів ( $T_K = 365$ );  $T_{ВС}$  – вихідні дні та свята, днів ( $T_{ВС} = 116$ );  $T_B$  – відпустка, днів ( $T_B = 21$ );  $T_3$  – тривалість зміни, год ( $T_3 = 8$ ).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{НР} = (365 - 116 - 21) \cdot 8 = 1\,824 \text{ год.}$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну, 1 інженер-технолог на зміну, та 1 наладчик електроустаткування на добу. Процес безперервний – 3 зміни на добу.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Номінальний річний фонд	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	135,05	1 824	738 993,60	59 119,49	51 729,55	849 842,64
2	Інженер-технолог	3	155,50	1 824	850 896,00	68 071,68	59 562,72	978 530,40
3	Наладчик	1	125,40	1 824	228 729,60	18 298,37	16 011,07	263 039,04
Разом								2 091 412,08

Заробітна плата персоналу проектної системи керування  $C_3 = 2\,091\,412,08$  грн.

#### 4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн.} \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 * 2\,091\,412,08 = 460\,110,66 \text{ грн.}$$

#### 4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB} \cdot (K_{ПКВ}) \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 486\,612,45 = 24\,330,63 \text{ грн.}$$

#### 4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{PD} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (4.23)$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите системою керування (приймаємо  $K_e = 1,65$  (кВт · год.));  $T_3$  – кількість часу роботи за сутки ( $T_3 = 24$  (год.));  $K_{рД}$  – кількість робочих днів у році ( $K_{рД} = 365$  (день));  $T_e$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 4,48907 грн·кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф  $T_e = 4,48907 * 1,2 = 5,39$  (грн.)).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 1,65 * 365 * 24 * 5,39 = 77\,907,06 \text{ грн.}$$

#### 4.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = 0,04 \cdot C_3. \quad (4.24)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{інш} = 0,04 * 2\,091\,412,08 = 83\,656,49 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (табл. 4.4):

$$C = 194\,644,99 + 2\,091\,412,08 + 460\,110,66 + 24\,330,63 + 77\,907,06 + 83\,656,49 = 2\,932\,061,91 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	194 644,99
2	Фонд заробітної плати	2 091 412,08
3	Відрахування на соціальні виплати	460 110,66
4	Ремонт та технічне обслуговування	24 330,63
5	Електроенергія	77 907,06
6	Інше	83 656,49
7	Загалом	2 932 061,91

#### 4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають майже 490 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 3,5 місяці. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть до 3 млн. грн.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Оцінка умов, у яких проводилась кваліфікаційна робота

Робота над кваліфікаційною роботою проводилась в житловій кімнаті гуртожитка, яка розташована на п'ятому поверсі десятиповерхового будинку, з використанням персонального комп'ютера і полягала у проектуванні та розробці дипломного проекту на тему “Автоматизація устаткування для сушіння макаронних виробів”.

Під час роботи за комп'ютером на людину впливають наступні групи небезпечних і шкідливих виробничих факторів: фізичні, хімічні і психофізіологічні.

До фізичних відносяться:

- підвищений рівень шуму на робочому місці (при використанні застарілих моделей комп'ютерів чи друкувальних пристроїв), що може привести до ураження органів слуху;
- підвищений рівень іонізованих випромінювань на робочому місці, які утворюються при використанні принтера, може викликати підвищене серцебиття;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання, яке може відбутися через тіло людини, що може привести до ураження людини електричним струмом;
- підвищений рівень статичної електрики, має загальний негативний вплив на здоров'я людини;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань (при використанні принтерів, сканерів), що приводить до швидкого стомлення;
- підвищена напруженість електричних і магнітних полів, спричиняє негативний вплив на загальне самопочуття людини;
- недостатнє освітлення робочої зони, приводить до погіршення зору;
- знижена контрастність також має негативний вплив на зір користувача, зниження зору і т. д.

До хімічних шкідливих факторів можна віднести:

- рівень іонізуючих випромінювань який перевищує встановлену норму;
- небезпечні речовини які виділяються при роботі з принтерами;

До психофізіологічних шкідливих факторів можна віднести наступні:

- постійна статична напруга, тобто перенавантаження;
- нервово-психічні перевантаження;
- монотонність праці.

## **5.2 Заходи по створенню безпечних і здорових умов праці**

### **5.2.1 Раціональна організація робочого місця**

Приміщення, де виконувалась дипломна робота має площу 24 м<sup>2</sup>, при висоті стелі 3 м, об'єм приміщення становить 72 м<sup>3</sup>. У ньому працює 2 людини. Крім природного освітлення в приміщенні розташовані три світильника по чотири люмінесцентні лампи в кожному.

Головними елементами робочого місця програміста є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці і документації.

Оптимальним розміщенням предметів праці і документації в зонах досяжності рук є наступне:

- дисплей – розміщується по центру в зоні максимальної досяжності (до 800 мм);
- клавіатура – розміщується в зоні оптимальної для тонкої ручної роботи (до 300 мм).
- системний блок – розміщується ліворуч у зоні досяжності пальців при витягнутій руці (до 600 мм).
- документація – розташовується ліворуч, у зоні легкої досяжності долоні.

З огляду на основні вимоги до конструкції робочого місця, оптимальними параметрами столу програміста є наступні:

- висота столу - 750 мм;

- довжина столу - 1 300 мм;
- ширина столу – 650 мм;
- глибина столу – 450 мм.

Також важливим моментом є раціональне розміщення на робочому місці документації, канцелярського приладдя, що повинно забезпечувати працюючому зручну робочу позу, найбільш економічні маршрути і мінімальні траєкторії переміщення працюючого і предмета праці на даному робочому місці.

Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці програміста передбачають аналіз питань освітленості робочого простору.

### 5.2.2 Розрахунок штучного освітлення

Розрахунок штучного освітлення виконуємо методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Кімната має наступні розміри:

- $A = 6$  м – довжина кімнати;
- $B = 4$  м – ширина
- $P = 3$  м – висота

Необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику  $\Phi$  визначимо по формулі:

$$\Phi = \frac{ES k z}{N \eta}, \quad (5.1)$$

де  $E$  - нормована мінімальна освітленість, лк;  $S$  - освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  $k$  - коефіцієнт запасу;  $z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості;  $N$  - число світильників в приміщенні;  $\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

Враховуючи геометричні розміри ділянки, висоту робочого приміщення, а також умови роботи, передбачаємо вживання як джерела світла світильники з люмінесцентними лампами.

Відповідно до норм освітленості, характеристики зорової роботи, розміру об'єкту розрізнення і вживанні вибраної системи штучного освітлення при



використанні люмінесцентних ламп, приймаємо:  $E = 150$  лк;  $k = 1,5$ ;  $z = 1,1$ ;  $l_c = 1,36$ ;  $\lambda = 2,0$ .

Освітлювана площа ділянки  $S = 6 \times 4 = 24$  м<sup>2</sup>.

Для визначення числа світильників в приміщенні визначимо розрахункову висоту підвісу:

$$h = H - h_{c\text{в}} - h_{pn}, \quad (5.2)$$

де  $h_{c\text{в}} = 0,102$  м - висота зв'язу світильників від перекриття (табл. 3.2);  $h_{pn} = 0,75$  м - висота робочої поверхні над підлогою, м.

$$h = 3 - 0,102 - 0,75 = 2,148 \text{ м.}$$

Відстань між рядами світильників:

$$L_p = \lambda h = 2,0 \cdot 2,148 = 4,296 \text{ м,} \quad (5.3)$$

де  $\lambda = 2,0$  - найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу, для світильників типу ЛСПО2. Число рядів світильників в приміщенні

$$N_p = \frac{A(B)}{L_p} = \frac{4}{4,296} \approx 0,93 \text{ рядів.} \quad (5.4)$$

Приймаємо  $N_p = 1$  ряд

кількість світильників в ряду ( $l_c = 1,36$  табл. 3.2)

$$N_{CB} = \frac{A(B) - l_c}{l_c} = \frac{6 - 1,36}{1,36} = 3,4 \quad (5.5)$$

Приймаємо  $N_{CB} = 3$  світильників.

Загальна кількість світильників:

$$N = N_p N_{CB} / 4 = 4 \times 3 / 4 = 3 \text{ світильника} \quad (5.6)$$

(кожний світильник має по 4 лампи).

Розташування світильників показано на рис. 5.1.

Для визначення коефіцієнт використання світлового потоку знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{6 \cdot 4}{2,148 (6+4)} = 0,466 \quad (5.7)$$

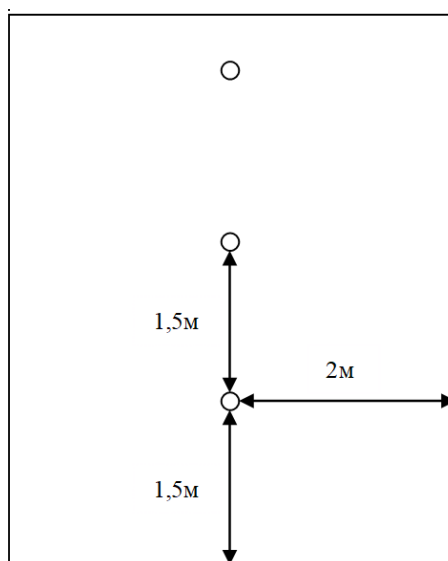


Рисунок 5.1 - Розташування світильників на ділянці

Виходячи з приведеної характеристики відзеркалювальних поверхонь приміщення визначуваний коефіцієнт віддзеркалення поверхонь: стелі  $\rho_n = 70\%$ ; стін  $\rho_c = 50\%$ ; підлоги  $\rho_e = 30\%$ .

Для вказаних раніше світильників, з врахуванням набутих значень  $i$  і індексу приміщення визначуваний коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,47$ .

Тоді світловий потік ламп в кожному світильнику складе

$$\Phi = \frac{ESkz}{N\eta} = \frac{150 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,47} = 4212,8 \quad \text{ЛМ} \quad (5.8)$$

Оскільки в світильнику міститься 4 лампи необхідне світлопоток розділити на 4, тоді:

$$\Phi = \frac{4212,8}{4} = 1053,2 \quad \text{ЛМ}$$

Виходячи з отриманого світлового потоку вибираємо лампи типу ЛДЦЗО-4 з наступними технічними даними:

- потужність лампи 30 Вт;
- Напруга на лампі 104 В
- світловий потік після 100 годин роботи 1 450 лм.

Загальна потужність споживана світильниками складе:

$$P=0,03 \times 12 = 0,36 \text{ кВт.}$$

Відхилення фактичної освітленості від заданої складе:

$$\Delta = \frac{1450-1053}{1450} 100\% = 27,4 \%$$

При розрахунках освітленості допустима величина відхилень від нормованої складає -10%...+20%.

### 5.2.3 Заходи по нормалізації параметрів мікроклімату

Системи опалення і системи кондиціонування варто встановлювати так, щоб ні тепле, ні холодне повітря не направлялося на людей. Для забезпечення 3-кратного обміну повітря за 1 годину приміщення з ЕОМ необхідно обладнати системою вентиляції та кондиціонування.

У приміщенні присутня штучна вентиляція. До якої відносяться кондиціонери, які окрім вентилявання повітря, здійснюють його очищення.

Системи опалення являють собою комплекс елементів, необхідних для нагрівання приміщень в холодний період року. До основних елементів системи опалення належать джерела тепла, теплопроводи, нагрівальні прилади. Теплоносіями можуть бути нагріта вода, пара чи повітря.

Опалення є одним з найважливіших факторів нормальних умов роботи поряд з освітленням та електробезпекою. Опалення приміщення складається із системи батарей.

Метеорологічні умови: в холодний період року – 18С°, відносна вологість - 63%, швидкість руху повітря – 0,2 м/с. В теплий період року – 23С°, відносна вологість - 60%, швидкість руху повітря – 0,3м/с.

Водопровідні крани встановлені в місцях суспільного користування. Водопостачання відповідає вимогам.

### 5.3 Характеристика приміщення по пожежній небезпеці

Серед основних причин виникнення пожежі можна виділити наступні: несправність електрообладнання, вихід з ладу вузлів автоматичного захисту від коротких замикань в електрообладнанні, невиконання умов електробезпеки при

проектуванні електрообладнання або при виконанні електромонтажних робіт, неправильне вирішення систем витяжної вентиляції, порушення правил пожежної безпеки. Приміщення відноситься до категорії В, тому що це приміщення, де перебувають тверді горючі та важкогорючі речовини та матеріали (дерево, папір, картон), а також має зону класу П-Па.

#### **5.4 Протипожежні заходи**

Приміщення відноситься до III ступеня вогнестійкості, тобто це горючі (спалювані) речовини та матеріали, які здатні самозайматися від джерела запалення і самостійно горіти після його віддалення. Виходячи з установленого ступеня вогнестійкості, можна зробити висновок, що мінімальна протипожежна відстань між сусідніми будівлями повинна складати не менш дванадцяти метрів. В даному випадку ця відстань перевищує дванадцять метрів.

Будівля складається із десяти поверхів; ширина сходів, дверей і евакуаційних шляхів складає 1,5 м, 1 м, 1,1 м - відповідно. Евакуація людей здійснюється через евакуаційні виходи; на кожний поверх будинку приходиться по два евакуаційних входи.

Блискавкозахист будівлі здійснюється відповідно до третьої категорії організації захисту будинків від блискавок. До третьої категорії відносяться будинки, для яких прямий удар блискавки може викликати пожежу, механічні ушкодження будівель й ураження людей. Блискавкозахист будівель цієї категорії досягається блискавковідводами будь-якої модифікації.

#### **5.5 Засоби гасіння пожеж**

Для гасіння пожежі в початковій стадії у приміщенні є такі первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники ВВ-5, що спеціально призначені для гасіння горючих електроустановок, що знаходяться під струмом

У коридорному приміщенні будівлі застосовано спеціальні пожежні крани, їх слід установлювати на висоті 1,35 м над підлогою приміщення, переважно біля виходів з приміщень або на сходових клітках, що опалюються, у вестибюлях,

коридорах або проходах. Вони повинні розташовуватись у спеціальних шафах та споряджатися пожежними рукавами завдовжки 10 або 20 м разом зі стволами. Пожежні крани гасять пожежу водою витратою 2,5 л/с; довжина шлангу – 10 м, а також ящик з піском, лопата. Пожежні крани відносяться до стаціонарних технічних засобів тушіння пожеж. Приміщення обладнане автоматичною системою протипожежної сигналізації.

### **5.5 Висновки за розділом**

В розділі охорона праці проведена оцінка умов, у яких проводилась кваліфікаційна робота, розроблені заходи по створенню безпечних і здорових умов праці, раціональної організації робочого місця, розраховане штучне освітлення, розглянуті заходи по нормалізації параметрів мікроклімату, оцінена характеристика приміщення по пожежній безпеці, розроблені протипожежні заходи та обрані засоби гасіння пожеж.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка використовується ТОВ «Продовольча компанія «Заграва».

Автоматизація сушарки G1000-D2 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація сушарки G1000-D2 повинна забезпечувати надійний і ефективний процес сушки макаронних виробів для заданих технологічних параметрів, а також і безпечні умови праці для персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи сушарки G1000-D2 повинна здійснюватися за такими основними параметрами:

- підтримка заданої вологості макаронних виробів;
- підтримка заданої продуктивності сушарки G1000-D2.

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - сушарки G1000-D2 для регульованої вологості макаронних виробів, в залежності від потужності нагрівачів. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

Для синтезу системи керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2 обрані необхідні сучасні апаратні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування - сушарки G1000-D2 відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням з наступними розрахованими параметрами: коефіцієнт підсилення  $-0,51$ , постійні часу  $1734$  с та  $1733$  с, а запізнення становить  $57,5$  с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у  $95,6$  %, сильний кореляційний зв'язок  $1,0$  та статистичний критерій Фішера  $328\ 593\ 871$  значно більшу критичного значення  $2,706$ . Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування - сушарки макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії

TF GROUP – PASTA G1000, яка призначена для сушіння широкого асортименту макаронних виробів.

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають майже 490 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 3,5 місяці. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть до 3 млн. грн.

В розділі охорона праці проведена оцінка умов, у яких проводилась кваліфікаційна робота, розроблені заходи по створенню безпечних і здорових умов праці, раціональної організації робочого місця, розраховане штучне освітлення, розглянуті заходи по нормалізації параметрів мікроклімату, оцінена характеристика приміщення по пожежній безпеці, розроблені протипожежні заходи та обрані засоби гасіння пожеж.



**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. О компанії UTF GROUP. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://utf-group.com/about-company/>
2. Гвоздев А.В. Механізація виробництва хлібобулочних, мучних кондитерських і макаронних виробів. Курс лекцій. Мелітополь, ТГАТА, 2002. – 64 с.
3. Способи сушіння макаронних виробів. Десятов С.В., Буденко С.Ф., Антонова Г.В., Таврійський державний агротехнологічний університет
4. Як у Луцьку виготовляють макарони. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://konkurent.ua/publication/4245/ak-u-lucku-vigotovlyayut-makaroni/>
5. Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8834582/>
6. Robotic automation for food packaging systems. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.syntegon.com/solutions/food/robotic-automation-in-food-packaging/>
7. SITRANS TF Temperature Transmitter. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://gms-instruments.com/product/sitrans-tf-temperature-transmitter/>
8. PCE Instruments PCE-MWM 240-A вологомір сипучих матеріалів  
Режим доступу: [https://pragmatic.com.ua/pce\\_mwm240](https://pragmatic.com.ua/pce_mwm240)
9. e-protection (частотні перетворювачі Altivar 930). Режим доступу: <https://e-protection.com.ua/product-category/elektrooborudovanie/preobrazovateli-chastoty/preobrazovateli-chastoty-schneider-electric/altivar-930-preobrazovatel-chastoty/>
10. Autonics DPU Series - Digital Thyristor Power Controllers. Режим доступу: <https://www.tequipment.net/Autonics/DPU34A-040N/Power-Quality-Analyzer/>
11. УДК 664.123.6.047 Штангеев К.О. СУШКА (Сушка цукру та жому в бурякоцукровій галузі). Київ, © ЮНІДО 2015, с. 44.

12. Сушіння жому на пару під тиском. [Електронний ресурс], Режим доступу: <http://www.ukrsugar.com/uk/post/section/novini>
13. SITRANS P Z, ZD и P COMPACT, [Електронний ресурс], Режим доступу: [http://www.eleten.com.ua/SITRANS\\_P\\_Z,\\_ZD\\_P\\_COMPACT.html](http://www.eleten.com.ua/SITRANS_P_Z,_ZD_P_COMPACT.html)
14. Заняття по темі «Вологість». [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://naurok.com.ua/uroki-po-temi-vologist-9434.html>
15. ELTA Вихровий витратомір SITRANS FX. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://eltald.com.ua/catalog/siemens-sitrans-fx300>
16. SITRANS TF. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/temperature-measurement/sitrans-tf.html>
17. ENVEA SolidFlow 2.0 – Throughput measuring. Режим доступу: <https://gts-swr.com/solids-flow-meters/solidflow/>
18. E40S\_E80H\_en\_EP-KE-09-006. [Електронний ресурс], Режим доступу: [chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.svaltera.ua/upload/manuals/E40S\\_E80H\\_en\\_EP-KE-09-0060M\\_110526.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.svaltera.ua/upload/manuals/E40S_E80H_en_EP-KE-09-0060M_110526.pdf)
19. Засувка 2с-Э-1 Ду150 Ру100. [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://www.energoarm74.ua/goods/21347734-zadvizhka\\_2s\\_e\\_1\\_du150\\_ru100#product-description](https://www.energoarm74.ua/goods/21347734-zadvizhka_2s_e_1_du150_ru100#product-description)
20. MOUSER, TE-Connectivity SSR-240A10 [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://www.mouser.fr/ProductDetail/TE-Connectivity-AMP/SSR-240A50?qs=K9Yj7M8cmB7ISkZYhrRVrg%3D%3D&mgh=1&vip=1&gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQt6Q0KIPeNgwLQRvv72kkfXBvd3ewFaMDdp5DIPLal27g2Q9\\_X1dbRoCv2YQAvD\\_BwE](https://www.mouser.fr/ProductDetail/TE-Connectivity-AMP/SSR-240A50?qs=K9Yj7M8cmB7ISkZYhrRVrg%3D%3D&mgh=1&vip=1&gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQt6Q0KIPeNgwLQRvv72kkfXBvd3ewFaMDdp5DIPLal27g2Q9_X1dbRoCv2YQAvD_BwE)
21. Перетворювач частоти VLT AQUA Drive FC202. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://k-r.com.ua/pryvodna-tekhnika/peretvoriuvachi-chastoty/item/12-peretvoriuvach-chastoty-vlt-aqua-drive-fc202>
22. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

23. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.

24. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

25. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

26. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.

27. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.

28. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.

29. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин

30. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки

31. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.

32. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги

33. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції

34. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (затверджено наказом МОЗ України від 27.12.2001р № 528).

## ДОДАТОК А

## Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документу	Примітка
1			<u>Документація</u>			
2						
3	A4	КФІВС.КВР.151.20.02.ПЗ	Пояснювальна записка		ПЗ	
4						
5			<u>Графічна частина</u>			
6						
7	A2	КФІВС.КВР.151.20.02.Е2	Функціональна схема			
8			автоматизації	1	Е2	
9						
10	A2	КФІВС.КВР.151.20.02.Е3	Схема електрична			
11			принципова	1	Е3	
12						
13	A4	КФІВС.КВР.151.20.02.ПЕ3	Перелік елементів	1	ПЕ	
14						
15	A4	КФІВС.КВР.151.20.02.Д	Презентація		Д	
16						
17		КФІВС.КВР.151.20.02.ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ	
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
			Підп.	Дата	КФІВС.КВР.151.20.02.ТП	
Зм.	Арк.	№ докум.				
Розробив		Дворник		18.05.23	Літ.	Аркуш
П. конс.		Карпенко				1
						1
					Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-20ск-1	
Н. контр.		Славінський				

**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**



## ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація устаткування для сушіння макаронних виробів», студент гр. 151-20ск-1 Дворник Олександр Олександрович.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування безперервною сушаркою макаронних виробів G1000-D2.

Об'єкт дослідження - сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка використовується ТОВ «Продовольча компанія «Заграва» м. Луцьк.

Предмет дослідження – модель сушарки макаронних виробів G1000-D2.

Мета роботи - розробка моделі об'єкта керування для регульованої вологості макаронних виробів в залежності потужності електронагріву. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування сушарки макаронних виробів G1000-D2.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з професійною діяльністю фахівця спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.



Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані.

ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог, зауважень до проекту немає.

При виконанні кваліфікаційної роботи і ухваленні рішень проявлена висока міра самостійності, технічної грамотності.

Оцінки по розділах кваліфікаційної роботи - « \_\_\_\_\_ ».

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінку « \_\_\_\_\_ », а студент Дворник О.О. привласнення освітнього рівня «бакалавр» в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування.

**Керівник кваліфікаційної роботи, \_\_\_\_\_ ас. Карпенко О.В.**

\_\_\_\_.06.2023

## РЕЦЕНЗІЯ

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація устаткування для сушіння макаронних виробів», студент гр. 151-20ск-1 Дворник Олександр Олександрович.

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірці знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків технологічного обладнання.
3. Отримана модель може бути використана за для розробки програмного забезпечення системи керування.
4. Повнота і глибина вирішення завдань, поставлених в завданні на кваліфікаційну роботу достатня.
5. В рамках кваліфікаційної роботи було визначено структуру об'єкта керування та побудована його модель.
6. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «\_\_\_\_\_», за умови відповідного захисту.
7. Студент Дворник О.О. присвоєння їй кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.06.2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

### **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація устаткування для сушіння макаронних виробів», здобувача вищої освіти, групи 151-20ск-1 Дворник Олександра Олександровича.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає \_\_\_\_\_ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichack.com>”. Рівень запозичень у роботі складає \_\_\_\_\_ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,  
посада, ас. каф. КФІВС  
ступінь

\_\_\_\_\_

(підпис)

Славінський Д.В.

\_\_\_\_\_

(дата)