

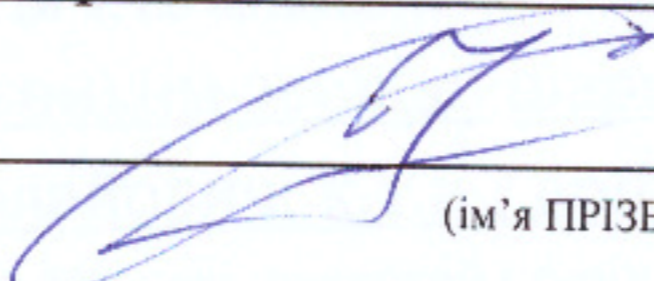
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

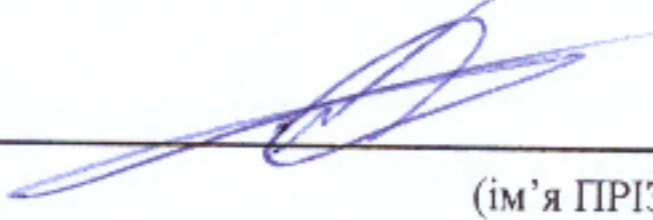
на тему:

«Система керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03»

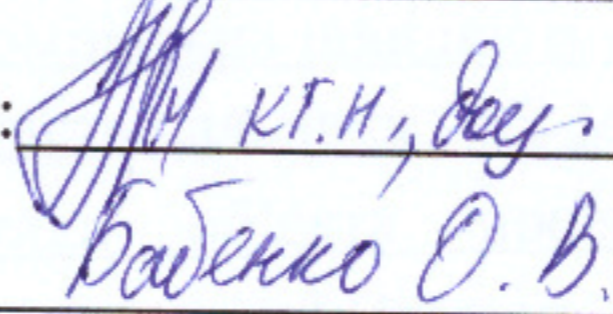
Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-22м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

  
Сергій ГЛУШАНЬ  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. КЕМСК

  
Сергій БАБІЙ  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« 21 » 11 2023 р.

Опонент:   
к.т.н., доц., каф. ЕЕЕМ  
Бабенко О. В.  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« 11 » 12 2023 р.

Допущено до захисту  
кафедрою КЕМСК

Зав. кафедри Микола МОШНОРИЗ

« 23 » 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік



Львівський національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувача кафедри**

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

« 24 » 10 2021 року

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Глушаню Сергію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Система керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03

керівник роботи Бабій Сергій Миколайович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 18 » 09 2021 року № 287

2. Строк подання студентом роботи 18.11.2021

3. Вихідні дані до роботи: модель сушарки – Phoenix ЗСК-03; кількість модулів – 2; кількість пальників – 2; вентилятор пальника – осьовий; продуктивність вентилятора – 400 м<sup>3</sup>/год; повний тиск вентилятора – 570 Па; номінальна швидкість обертання вентилятора – 1450-1500 об/хв; ККД вентилятора – 0,6; max потужність пальника - 1,2 МВт.

4. Зміст текстової частини: 1 Характеристика об'єкта проектування. 2 Розрахунок електропривода вентилятора пальника зерносушарки. 3 Система керування пальником зерносушарки. 4 Практична реалізація системи керування. 5 Економічна частина. 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1 Мета та задачі дослідження. 2 Загальна характеристика зерносушарки. 3 Технічні характеристики вентилятора пальника сушарки. 4 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода вентилятора пальника. 5 Технічні характеристики приводного двигуна вентилятора пальника. 6 Технічні характеристики силового перетворювача привода вентилятора пальника. 7 Схема функціональна ЕП вентилятора пальника. 8 Моделювання ЕП вентилятора пальника. 9 Схема функціональна системи керування пальником сушарки. 10 Вибір автомата управління та сервопривода пальника. 11 Вибір керуючого пристрою та засобів НМІ. 12 Схема електрична принципова системи керування пальником. 13 Розробка програми керування. 14 Практична реалізація. 15 Налаштування параметрів ПІД-регулятора сервопривода пальника. 16 Висновки.



6. Консультанти розділів роботи

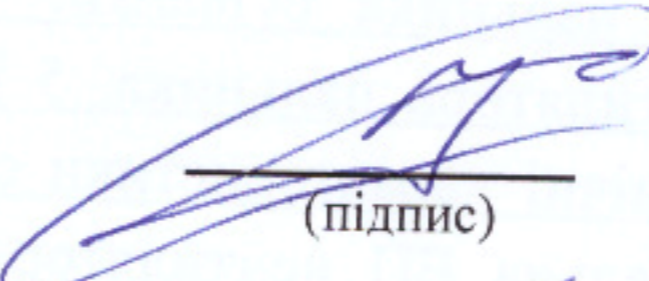
| Розділ  | Прізвище, ініціали та посада консультанта                      | Підпис, дата   |                   |
|---|--|----------------|-------------------|
|   |  | завдання видав | виконання прийняв |
| Спеціальна частина                                | Бабій С. М.,<br>к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ                       | 24.10.2023     | 21.11.2023        |
| Економічна частина                                | Шулле Ю. А.<br>к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ                         | 24.10.2023     | 21.11.2023        |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Кобилянський О.В.,<br>д. пед. н., професор,<br>зав. каф. БЖДПБ | 24.10.2023     | 28.11.2023        |

7. Дата видачі завдання 24.10.23

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

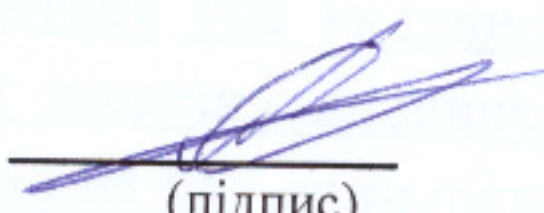
| № з/п | Назва етапів роботи  | Строк виконання етапів роботи | Примі |
|-------|--|-------------------------------|-------|
| 1     | Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) | 03.10.2023 р.                 |       |
| 2     | Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР  | 21.11.2023 р.                 |       |
| 3     | Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР  | 28.11.2023 р.                 |       |
| 4     | Виконання розділу «Економічна частина»                                     | 21.11.2023 р.                 |       |
| 5     | Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»      | 28.11.2023 р.                 |       |
| 6     | Попередній захист МКР  | 28.11.2023 р.                 |       |
| 7     | Нормоконтроль МКР  | 28.11.2023 р.                 |       |
| 8     | Рецензування МКР   | 11.12.2023 р.                 |       |
| 9     | Захист МКР   | 13.12.2023                    |       |

Студент

  
(підпис)

Глушань С. Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Бабій С. М.  
(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

УДК: 62-83

Глушань С. Ю. Система керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця : ВНТУ, 2023. – 135 с.

На укр. мові. Бібліогр. : 41 назв; рис. : 57; табл. : 25.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо підвищення рівня стабільності температури в камері нагрівання зерносушарки Phoenix ЗСК-03 за рахунок використання системи керування пальником, яка забезпечує плавне регулювання подачі газу на пальник зерносушарки і характеризує високим ступенем надійності та високими енергетичними показниками. В основній частині роботи дано загальну характеристику зерносушарки, розраховано електропривод вентилятора пальника зерносушарки та розроблено систему керування пальником зерносушарки. Коректність отриманих результатів перевірено шляхом комп'ютерного моделювання та у реальних умовах експлуатації.

Графічна частина складається з 16 плакатів із результатами роботи.

В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: зерносушарка,, пальник, електропривод, система керування, моделювання.



## **ABSTRACT**

Glushan S. Yu. Grain dryer burner control system Phoenix ZSK-03. Master's thesis in specialty 141 – Electricity, electrical engineering and electromechanics, ducational program – Electromechanical systems of automation and electric drive. Vinnitsa : VNTU, 2023. – 135 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 41 titles; fig. : 57; tabl. : 25.

In the master's qualification work, solutions were proposed to increase the level of temperature stability in the heating chamber of the grain dryer Phoenix ZSK-03 due to the use of the burner control system, which provides smooth regulation of gas supply to the burner of the grain dryer and is characterized by a high degree of reliability and high energy performance. In the main part of the work, the general characteristics of the grain dryer are given, the electric drive of the fan of the grain dryer burner is calculated, and the control system of the grain dryer burner is developed. The correctness of the obtained results was verified by computer simulation and in real operating conditions.

The graphic part consists of 16 posters with the results of the work.

In the section on labor protection, the main provisions regarding the safe operation of the studied electrotechnical complex under the influence of harmful factors of the surrounding environment are defined.

**Key words:** grain dryer, burner, electric drive, control system, modeling.



## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| <b>ВСТУП</b> .....   | 6  |
| <b>1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ</b> .....   | 9  |
| 1.1 Аналіз функціонування об’єкта, що досліджується, та режимів його роботи .....            | 9  |
| 1.2 Постановка задачі дослідження.....   | 16 |
| <b>2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ПАЛЬНИКА ЗЕРНОСУШАРКИ</b> .....                   | 17 |
| 2.1 Розрахунок потужності приводного двигуна.....  | 17 |
| 2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода вентилятора пальника..... | 19 |
| 2.3 Вибір приводного двигуна вентилятора пальника сушарки .....                              | 25 |
| 2.4 Вибір силового перетворювача привода вентилятора пальника .....                          | 32 |
| 2.5 Моделювання перехідних процесів електропривода вентилятора пальника .....                | 36 |
| <b>3 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПАЛЬНИКОМ ЗЕРНОСУШАРКИ</b> .....                                      | 44 |
| 3.1 Структура газової магістралі пальника зерносушарки .....                                 | 44 |
| 3.2 Розробка функціональної схеми .....  | 45 |
| 3.3 Вибір автомата горіння.....  | 46 |
| 3.2.1 Вибір автомата горіння пальника з ступінчастим регулюванням .....                      | 48 |
| 3.2.2 Вибір автомата горіння пальника з модуляційним регулюванням .....                      | 50 |
| 3.3 Вибір сервопривода пальника з модуляційним регулюванням .....                            | 52 |
| 3.4 Вибір керуючого пристрою та модулів розширення.....                                      | 53 |
| 3.5 Вибір засобів НМІ-інтерфейсу .....   | 59 |
| 3.6 Вибір датчика тиску.....   | 60 |
| 3.7 Розробка схеми електричної принципової керування пальником .....                         | 61 |



|  |           |
|--|-----------|
| 3.8 Розробка програми керування .....  | 65        |
| <b>4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ .....</b>  | <b>69</b> |
| 4.1 Виконаний монтаж.....  | 69        |
| 4.2 Налаштування параметрів ПД-регулятора сервопривода крану<br>подачі газу.....   | 72        |
| <b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>  | <b>77</b> |
| 5.1 Розрахунок капітальних вкладень .....  | 77        |
| 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат .....  | 79        |
| 5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань .....  | 79        |
| 5.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу.....  | 79        |
| 5.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію .....   | 81        |
| 5.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання .....  | 82        |
| 5.2 Інші витрати.....  | 84        |
| <b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ<br/>СИТУАЦІЯХ.....</b>  | <b>85</b> |
| 6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту .....  | 86        |
| 6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в<br>пожежонебезпечних зонах .....  | 86        |
| 6.1.2 Електробезпека.....  | 88        |
| 6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....  | 90        |
| 6.2.1 Мікроклімат .....  | 90        |
| 6.2.2 Склад повітря робочої зони .....   | 91        |
| 6.2.3 Виробниче освітлення .....   | 91        |
| 6.2.4 Виробничий шум.....  | 93        |
| 6.2.5 Виробничі вібрації .....   | 94        |
| 6.2.6 Психофізіологічні фактори .....  | 94        |
| 6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки<br>роботи системи керування пальником зерносушарки в умовах дії<br>загрозливих чинників надзвичайних ситуацій..... | 96        |



|  |     |
|--|-----|
| 6.3.1 Дослідження безпеки роботи системи керування пальником зерносушарки в умовах дії іонізуючого випромінювання..... | 96  |
| 6.3.2 Дослідження безпеки роботи системи керування пальником зерносушарки в умовах дії електромагнітного імпульсу..... | 98  |
| <b>ВИСНОВКИ</b> .....  | 102 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....  | 104 |
| Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання .....  | 109 |
| Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина.....  | 113 |



## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Україна – передусім сільськогосподарська країна. Її потенціал в цьому напрямку коротко можна було б описати так: «Хлібом може нагодувати пів світу». Однак, для того щоб зберегти зерно від псування необхідно його параметри, зокрема вологість, довести до базового значення. З цією метою використовують зерносушарки різних типів та конструкцій.

На елеваторах, сільськогосподарських підприємствах та фермерських господарствах зазвичай використовують зерносушарки закордонних виробників. Однак важливо розвивати і в даному напрямку вітчизняне виробництво.

Таким чином, робота присвячена важливому питанню розвитку виробництв зерносушарок в Україні. Зокрема в роботі розробляється система керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03, яка виробляється на підприємстві ТОВ «Фенікс Технолоджи», яке знаходиться у м. Вінниця.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів ВНТУ.

**Об'єкт дослідження** – процес сушіння зерна зерносушаркою Phoenix ЗСК-03.

**Предметом дослідження** є система керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03.

**Метою** магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення рівня стабільності температури в камері нагрівання зерносушарки Phoenix ЗСК-03 за рахунок використання системи керування пальником, яка б забезпечувала плавне регулювання подачі газу на пальник зерносушарки і характеризувалась високим ступенем надійності та високими енергетичними показниками.



В процесі реалізації мети роботи необхідно виконати такі **завдання**:

1. Здійснити загальну характеристику об'єкта проектування та режимів його роботи.
2. Розрахувати привод вентилятора пальника зерносушарки, вибрати елементи силового привода з врахуванням результатів техніко-економічного обґрунтування.
3. Розробити систему керування пальником зерносушарки та вибрати її елементу базу.
4. Перевірити правильність прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання та в реальних умовах експлуатації.
5. Провести економічні розрахунки.
6. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

**Методи дослідження.** У процесі роботи застосовувалися такі методи дослідження: теорії електричного привода – для розрахунку потужності приводного двигуна; теорії автоматичного керування та систем керування – для синтезу системи керування; аналітичні можливості комп'ютерної алгебри – для перевірки прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Розроблено систему керування пальником зерносушарки з модуляційним регулюванням, яка в сукупності із використанням сучасного енергоефективного обладнання забезпечила підтримання більш стабільної температури в камері сушарки.

2. Отримано графіки перехідних процесів зміни температури в камері сушарки при різних параметрах налаштування ПІД-регулятора сервопривода крана подачі газу пальника сушарки. Їх аналіз дозволяє зробити висновок, що система найбільш точно підтримує і стабілізує температуру в камері сушарки при таких параметрах налаштування ПІД-регулятора сервопривода крана подачі газу пальника сушарки:  $P = 1$ ;  $I = 40$ ;  $D = 2$ .



**Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в наступному:**

– результати отриманих досліджень можуть бути використані в задачах проектування та оптимізації режимів роботи зерносушарок;

– результати досліджень можуть бути використанні під час вивчення фахових дисциплін таких освітніх програм як «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2024).

**Публікації.** За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

– Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, ВНТУ. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19693>



## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

### 1.1 Аналіз функціонування об'єкта, що досліджується, та режимів його роботи

Зерносушарка Phoenix ЗСК-03 (рисунок 1.1) є продуктом виробництва ТОВ «Фенікс технолоджи» [1], яке територіально знаходиться у місті Вінниця.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд зерносушарки ЗСК-03



Зерносушарка Phoenix ЗСК-03 – це мобільна, модульна зерносушарка, яка передбачає сушіння зерна в режимі потоку. Технічні характеристики зерносушарки наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики зерносушарки [1]

| Характеристики  | Значення                            |
|---|-------------------------------------|
| Модель  | Phoenix ЗСК-03                      |
| Тип   | модульна                            |
| Режим роботи  | потік                               |
| Кількість модулів   | 2                                   |
| Кількість пальників   | 2/3                                 |
| Спосіб сушки  | конвективна нагрітим повітрям       |
| Місткість   | 30 м <sup>3</sup>                   |
| Продуктивність, кукурудза (25%-15%), нагрів + охолодження           | 300 т/добу                          |
| Продуктивність, кукурудза (20%-15%), нагрів + охолодження           | 400 т/добу                          |
| Продуктивність, кукурудза (25%-15%), повний нагрів                  | 375 т/добу                          |
| Продуктивність, кукурудза (20%-15%), повний нагрів                  | 450 т/добу                          |
| Кількість вентиляторів, шт  | 3                                   |
| Зона попереднього нагріву:<br>- повітряний потік:<br>- повний тиск: | 42400 м <sup>3</sup> /год<br>570 Pa |
| Зона нагріву:<br>- повітряний потік:<br>- повний тиск:              | 42400 м <sup>3</sup> /год<br>570 Pa |
| Зона охолодження:<br>- повітряний потік:<br>- повний тиск:          | 51200 м <sup>3</sup> /год<br>651 Pa |
| Загальна висота   | 7270 мм                             |
| Загальна довжина  | 5600 мм                             |
| Загальна ширина   | 2500 мм                             |
| Вид пального  | пропан-бутан                        |

Продуктивність вказано при температурі навколишнього середовища  $+10^{\circ}\text{C}$  та вологості повітря 75% [1].

Повітряний потік та повний тиск вказано при температурі навколишнього середовища  $+10^{\circ}\text{C}$  [1].

Конструктивними особливостями зерносушарки є наявність чотирьох зернових колон та штатного накопичувального бункера вологого зерна (рисунок 1.2), що дозволило відмовитись від штатного механізму завантаження сушарки.



Рисунок 1.2 – Заповнений бункер вологого зерна сушарки



Основні механізми та привода сушарки:

- привод вентиляторів;
- привод шнеків та скребкових транспортерів вивантаження (рисунок 1.3, рисунок 1.4);



Рисунок 1.3 – Привод шнеків та скребкових транспортерів сушарки



Рисунок 1.4 – Привод шнеків та скребкових транспортерів сушарки  
(зворотна сторона сушарки)

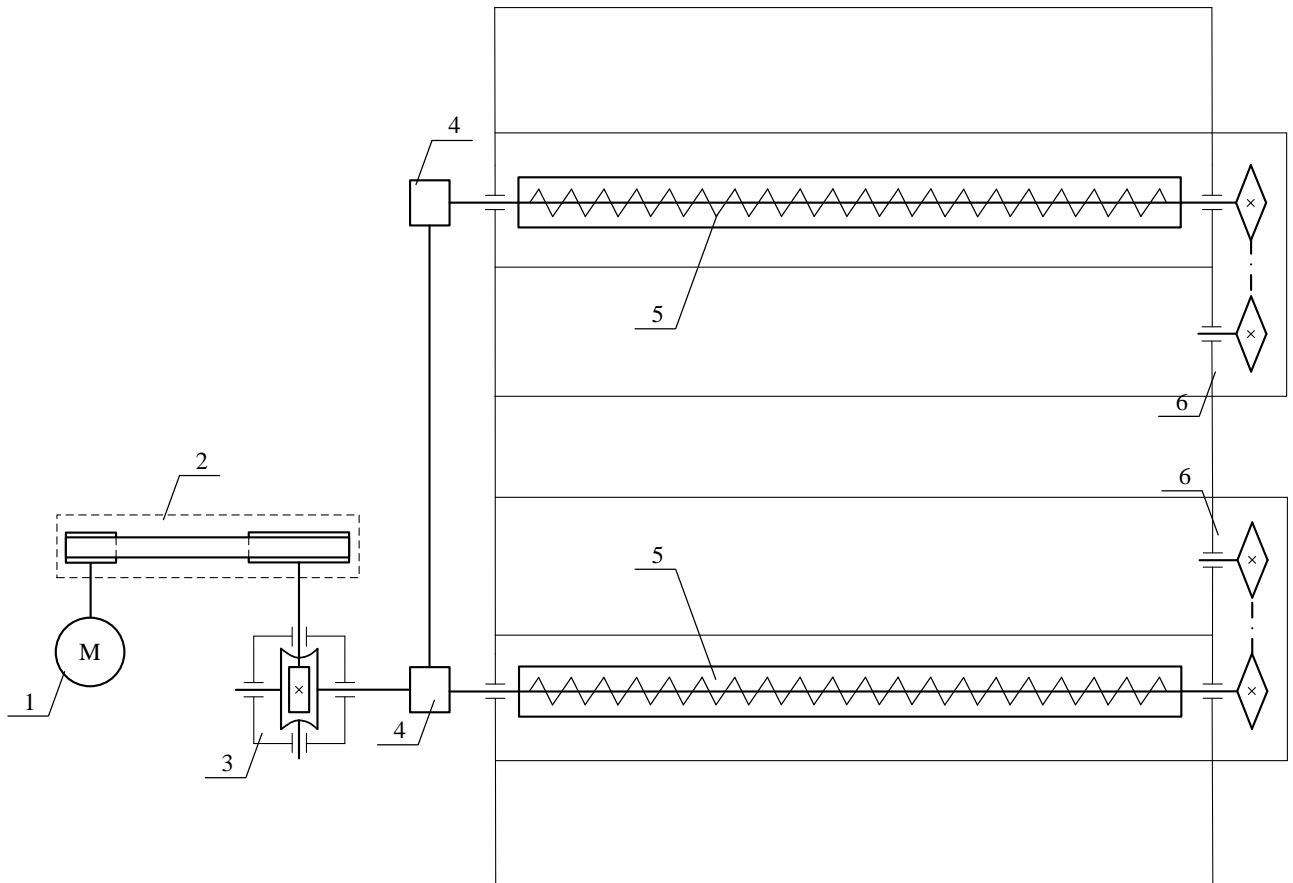


Рисунок 1.5 – Кінематична схема привода шнеків та скребоквих транспортерів вивантаження сушарки

На рисунку 1.5: 1 – приводний двигун; 2 – пасова передача; 3 – черв’ячна передача; 4 – трьохосьові редуктори; 5 – шнеки; 6 – ланцюгова передача привода скребоквих транспортерів.

– привод дозуючих вальців (рисунок 1.6).



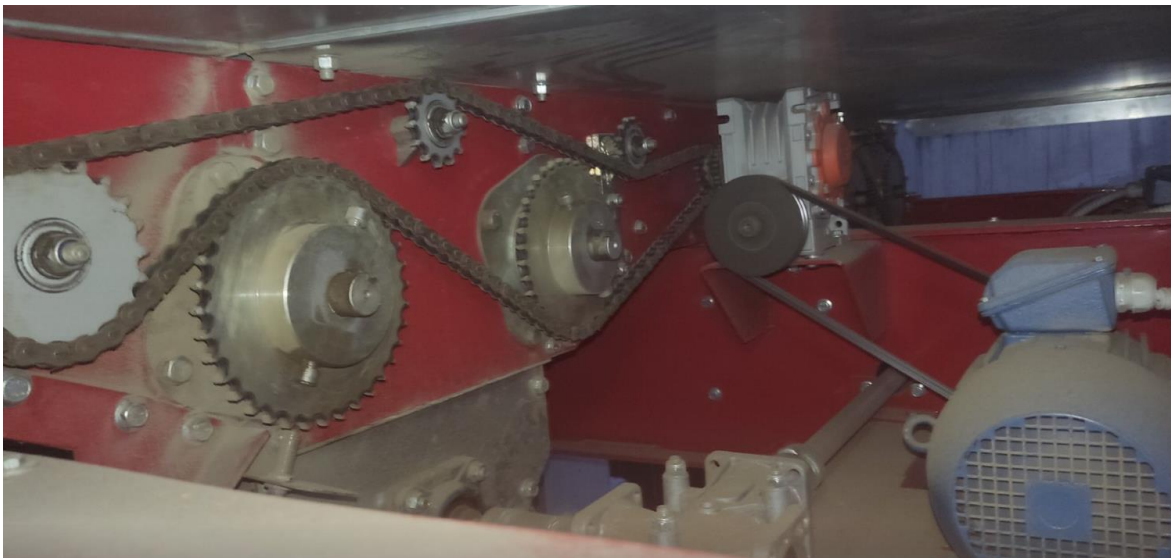


Рисунок 1.6 – Привод дозуючих вальців сушарки

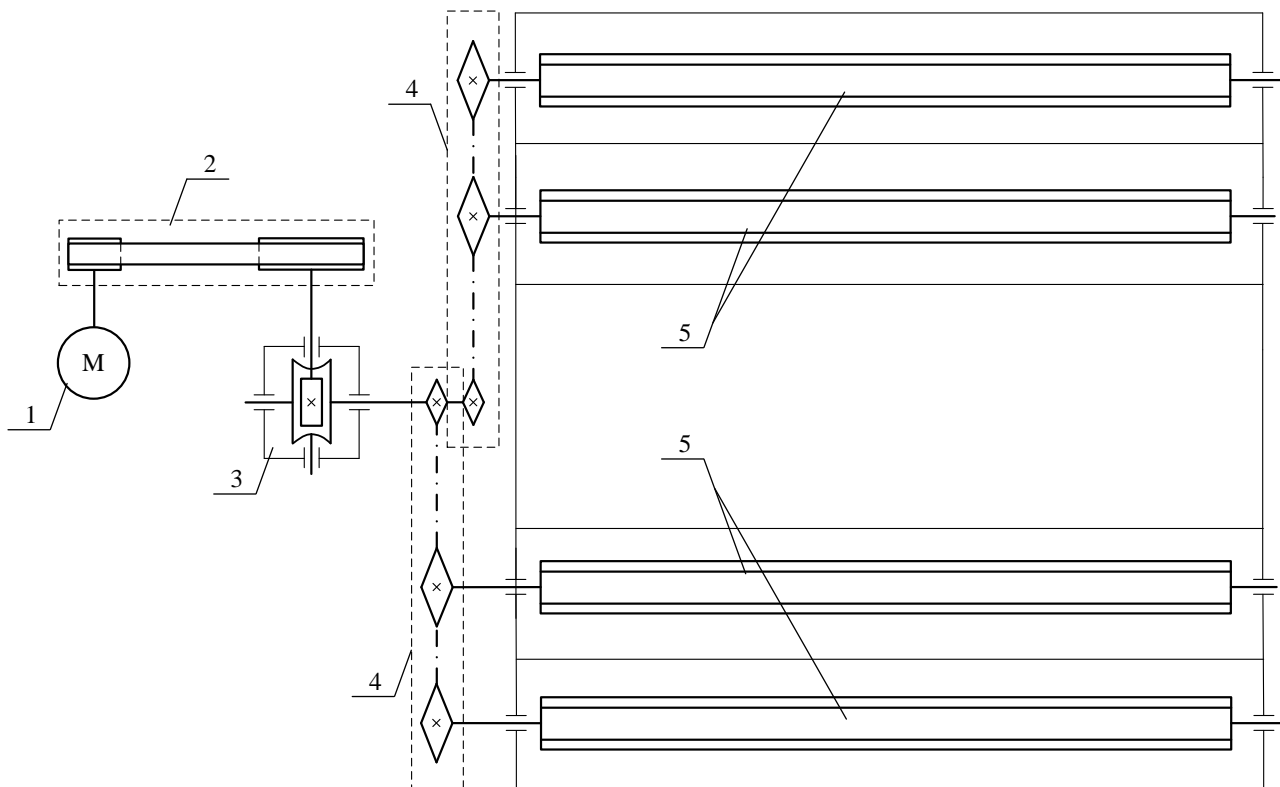


Рисунок 1.7 – Кінематична схема привода дозуючих вальців сушарки

На рисунку 1.7: 1 – приводний двигун; 2 – пасова передача; 3 – черв'ячна передача; 4 – ланцюгова передача привода вальців; 5 – дозуючі вальці.

Шнеки та скребкові транспортери вивантаження, а також дозуючі вальці в сукупності являють собою механізм вивантаження сушарки.

Залежно від комплектації зерносушарка може бути обладнана двома або трьома газовими пальниками (рисунок 1.8). Максимальна потужність одного пальника становить 1,2 МВт.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд газового пальника

Загальна електрична потужність зерносушарки становить: 52 кВт.



## 1.2 Постановка задачі дослідження

Розробити систему керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03.

Таким чином необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести перевірочний розрахунок електропривода вентилятора пальника зерносушарки, вибрати елементи силового привода з врахуванням результатів техніко-економічного обґрунтування.
2. Розробити систему керування пальником зерносушарки та вибрати її елементу базу.
3. Перевірити правильність прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання та в реальних умовах експлуатації.
4. Провести економічні розрахунки.
5. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.
6. Зробити загальні висновки.

## 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ПАЛЬНИКА ЗЕРНОСУШАРКИ

### 2.1 Розрахунок потужності приводного двигуна

В зерносушарці використовуються вентилятори фірми MULTI-WING (рисунок 2.1). Технічні характеристики вентилятора наведено в таблиці 2.1



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд вентилятора пальника

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики вентилятора пальника

| Характеристики                 | Значення                  |
|--------------------------------|---------------------------|
| Конструктивне виконання        | осьовий                   |
| Кількість лопатей              | 12                        |
| Кут атаки лопаті               | 36°                       |
| Продуктивність                 | 42400 м <sup>3</sup> /год |
| Повний тиск                    | 570 Па                    |
| Номінальна швидкість обертання | 1450-1500 об/хв           |
| ККД                            | 0,6                       |



Розрахункова потужність приводного двигуна вентилятора [2]:

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot \frac{H \cdot Q}{\eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (2.1)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт запасу ( $k_3=1,05 \div 1,3$ );

$H$  – тиск створюваний вентилятором, Па;

$Q$  – продуктивність вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\eta_{\text{в}}$  – ККД вентилятора;

$\eta_{\text{п}}$  – ККД механічної передачі ( $\eta_{\text{п}} = 1$ ).

Кінематична схема привода вентилятора пальника зображена на рисунку 2.2 (вентилятор знаходиться безпосередньо на валу приводного двигуна).

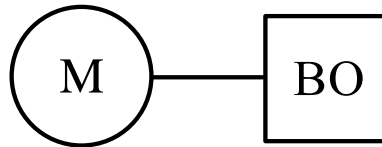


Рисунок 2.2 – Кінематична схема привода вентилятора пальника

Розрахункова потужність приводного двигуна вентилятора згідно формули 2.1:

$$P_{\text{роз}} = (1,05 \dots 1,3) \cdot \frac{42400}{0,6} \cdot 570 = 11,75 \dots 14,55 \text{ (кВт)}.$$

Отже, порівнюючи розрахунковий діапазон потужностей з номінальним рядом потужностей впливає, що для привода вентилятора доцільно вибрати приводний двигун з номінальною потужністю 15 кВт.

## 2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода вентилятора пальника

Електропривод вентилятора пальника працює в тривалому режимі роботи (S1) та не передбачає регулювання швидкості обертання робочого колеса, тому в якості приводного двигуна доцільно вибрати асинхронний двигун з КЗ ротором та, в найпростішому випадку, здійснювати прямий пуск при безпосередньому живленні від промислової мережі змінного струму. Однак, враховуючи важкі умови пуску, які обумовлені значним моментом інерції робочого колеса вентилятора, бажано, щоб система електричного привода вентилятора забезпечувала зниження пускових струмів.

Дані вимоги можуть забезпечити такі системи електричного привода:

- 1) електропривод зі схемою пуску шляхом переключення схеми з'єднань обмоток двигуна із «зірки» на «трикутник» (РКС-АД з  $Y - \Delta$ );
- 2) електропривод із системою плавного пуску (Softstart-АД);
- 3) частотно-регульований електропривод (ПЧ-АД).

При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, який передбачає мінімум приведених витрат [3, 4]:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (2.2)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

$K$  – капітальні вкладення, грн;

$C$  – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

Капітальні вкладення [3, 4]:

$$K = D + CK, \quad (2.3)$$

де  $D$  – вартість приводного двигуна ( $D = 54875$  грн [5]);



СК – вартість системи керування (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Вартість елементів системи керування електричного привода вентилятора

| Комплектуючі  | Вартість елементів системи керування електричного привода вентилятора, грн |                   |                 |                 |
|---|--|-------------------|-----------------|-----------------|
|   | РКС-АД з КЗ<br>Y – Δ   | Softstart-АД з КЗ |                 | ПЧ-АД           |
| Автоматичний вимикач:<br>– МРЕ25-32 [6]   | 2660   | 2660              |                 | 2660            |
| Силові контактори:<br>– СЕМ40.00-24V DC (2 шт.) [7]<br>– СЕМ25.00-24V DC (1 шт.) [8]                            | 4872×2<br>2004   | –<br>–            |                 | –<br>–          |
| Силовий перетворювач:<br>– Softstart: ATS01N232QN [9]<br>– Softstart: ATS22D32Q [10]<br>– ПЧ: ATV320D15N4C [11] | –<br>–<br>–  | 12909<br>–<br>–   | –<br>27705<br>– | –<br>–<br>48742 |
| Релейна апаратура:<br>– ETI CRM-2T UNI [12]   | 1496   | –                 |                 | –               |
| Всього:   | 15904  | 15569             | 30365           | 51402           |
| Електромонтажна оснастка (5%):  | 796  | 778               | 1518            | 2570            |
| Загальна вартість системи керування:  | 16700  | 16347             | 31883           | 53792           |

Проведемо розрахунки для системи ПЧ-АД.

$$K = 548759 + 53792 = 108667 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати [3, 4]:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (2.4)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 108667 = 18473,39 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування [3, 4]:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.5)$$

де  $C_A$  – амортизаційні відрахування, грн/рік;

$C_P$  – відрахування на ремонт, грн/рік;

$C_D$  – додаткові відрахування, грн/рік;

$C_O$  – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень [3, 4]:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (2.6)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 108667 = 10866,7 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень [3, 4]:

$$C_P = 0,02 \cdot K, \quad (2.7)$$

$$C_P = 0,02 \cdot 108667 = 2173,34 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії системі електричного привода у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (2.8)$$

де  $C_{D1}$  – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

$C_{D2}$  – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік [3, 4]:

$$C_{D1} = \Delta W_{\Sigma_{дв}} \cdot c, \quad (2.9)$$

де  $\Delta W_{дв}$  – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;



$c$  – вартість одного кіловата електроенергії для не побутових споживачів, які приєднані до електричних мереж АТ «Вінницяобленерго» ( $c = 6,493 \text{ грн}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ ) [13].

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [3, 4]:

$$\Delta W_{\Sigma \text{ДВ}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.10)$$

де  $\Delta P_{\text{ном}}$  – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{перех.}}$  – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

$\Phi$  – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи [3, 4]:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (2.11)$$

де  $P_{\text{ном}}$  – номінальна потужність електричного двигуна ( $P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$ );

$\eta_{\text{ном}}$  – номінальний ККД двигуна ( $\eta_{\text{ном}} = 0,893$ ),

$$\Delta P_{\text{ном}} = 15 \cdot \frac{1 - 0,893}{0,893} = 1,8 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних [3, 4]:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (2.12)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 1,8 = 0,18 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік [3, 4]:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (2.13)$$

де  $\varepsilon$  – відносна тривалість ввімкнення ( $\varepsilon = 1$ );

$Z_{\text{р.д.}}$  – кількість робочих днів за рік ( $Z_{\text{р.д.}} = 60 \text{ 1/рік}$ );

$Z_{p.z.}$  – кількість робочих змін ( $Z_{p.z.} = 2$ );

$t_{p.z.}$  – тривалість робочої зміни ( $t_{p.z.} = 12$  год),

$$\Phi = 1 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 12 = 1440 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (2.10):

$$\Delta W_{\Sigma_{дв}} = (1,8 + 0,18) \cdot 0,8 \cdot 1440 = 2277,6 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.9):

$$C_{д1} = 2277,6 \cdot 6,493 = 14788,16 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік [3, 4]:

$$C_{д2} = \Delta W_{\Sigma_{ск}} \cdot c, \quad (2.14)$$

де  $\Delta W_{ск}$  – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\Sigma_{ск}} = \Delta P_{ск} \cdot k_z \cdot \Phi, \quad (2.15)$$

де  $\Delta P_{ск}$  – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування [3, 4]:

$$\Delta P_{ск} = P_{сп} \cdot \frac{1 - \eta_{пп}}{\eta_{пп}}, \quad (2.16)$$

де  $P_{пп}$  – номінальна потужність перетворюючого пристрою ( $P_{пп} = 15$  кВт);

$\eta_{пп}$  – номінальний ККД перетворюючого пристрою ( $\eta_{пп} = 0,98$ ),

$$\Delta P_{ск} = 15 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,306 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (2.15):

$$\Delta W_{\Sigma_{ск}} = 0,306 \cdot 0,8 \cdot 1440 = 352,7 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.14):

$$C_{Д2} = 352,7 \cdot 6,493 = 2289,78 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.8):

$$C_{Д} = 14788,16 + 2289,78 = 17077,94 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат [3, 4]:

$$C_{O} = 0,05 \cdot (C_{A} + C_{P} + C_{Д}), \quad (2.17)$$

$$C_{O} = 0,05 \cdot (10866,7 + 2173,34 + 17077,94) = 1505,9 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (2.5):

$$C = 10866,7 + 2173,34 + 17077,94 + 1505,9 = 31623,88 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (2.2):

$$З = 0,17 \cdot 108667 + 31623,88 = 50097,27 \text{ (грн/рік)}.$$

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняльна таблиця

| Показники                                     | Системи електричного привода |                        |                        |          |
|---|------------------------------|------------------------|------------------------|----------|
|   | РКС-АД з КЗ<br>У – Δ         | Softstart1-<br>АД з КЗ | Softstart2-<br>АД з КЗ | ПЧ-АД    |
| Вартість двигуна Д, грн                       | 54875                        |                        |                        |          |
| Вартість системи керування СК, грн            | 16700                        | 16347                  | 31883                  | 53792    |
| Капітальні вкладення К, грн                   | 71575                        | 71222                  | 86758                  | 108667   |
| Річні капітальні витрати $K_{річн}$ , грн/рік | 12167,75                     | 12107,74               | 14748,86               | 18473,39 |
| Амортизаційні відрахування $C_A$ , грн/рік    | 7157,50                      | 7122,20                | 8675,80                | 10866,70 |



Продовження таблиці 2.3

| Показники   | Системи електричного привода |                        |                        |          |
|---|------------------------------|------------------------|------------------------|----------|
|   | РКС-АД з КЗ<br>Y – Δ         | Softstart1-<br>АД з КЗ | Softstart2-<br>АД з КЗ | ПЧ-АД    |
| Відрахування на ремонт $C_p$ ,<br>грн/рік         | 1431,50                      | 1424,44                | 1735,16                | 2173,34  |
| Додаткові відрахування $C_d$ ,<br>грн/рік         | 17077,94                     | 17077,94               | 17077,94               | 17077,94 |
| Відрахування на<br>обслуговування $C_o$ , грн/рік | 1283,35                      | 1281,23                | 1374,44                | 1505,90  |
| Загальні відрахування $C$ ,<br>грн/рік            | 26950,28                     | 26905,81               | 28863,34               | 31623,88 |
| Приведені витрати $Z$ , грн/рік                   | 39118,03                     | 39013,55               | 43612,20               | 50097,27 |

Згідно результатів проведених розрахунків впливає, що найбільш економічно вигідним є використання системи електропривода з пристроєм плавного пуску (Softstart1-АД з КЗ). Приведені витрати для даного варіанту є найменшими і становлять 39013,55 грн/рік.

### 2.3 Вибір приводного двигуна вентилятора пальника сушарки

Умова вибору приводного двигуна [3, 4]:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ n_{\text{дв.н}} \geq n_{\text{роз}}, \end{cases} \quad (2.18)$$

де  $P_{\text{дв.н}}$  – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$  – розрахункова потужність приводного двигуна, кВт;

$n_{\text{дв.н}}$  – номінальна кутова швидкість приводного двигуна,  $\text{с}^{-1}$ ;

$n_{\text{роз}}$  – розрахункова кутова швидкість,  $\text{с}^{-1}$ ?

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq 11,75 \dots 14,55 \text{ (кВт)}, \\ n_{\text{дв.н}} \geq 1450 \text{ (с}^{-1}\text{)}. \end{cases}$$

Отже, для привода вентиляторів пальників сушарки відповідно до умов (2.18) виберемо приводний двигун WEG w22 типу 160L-04 (рисунок 2.3). Його технічні характеристики наведені в таблиці 2.4 [14].



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд приводного двигуна WEG 160L-04

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики приводного двигуна [14]

| Параметри двигуна                         | Значення      |
|---|---------------|
| Бренд                                     | WEG           |
| Корпус                                    | W22 (чавун)   |
| Тип                                       | 160L-04       |
| Номінальна потужність $P_{дв.н}$          | 15 кВт        |
| Частота $f_1$                             | 50 Гц         |
| Номінальна напруги мережі $U_{дв.н}$      | 380 / 660 В   |
| Номінальний струм статора $I_{дв.н}$      | 30,2 / 17,4 А |
| Номінальна швидкість обертання $n_{дв.н}$ | 1475 об/хв    |
| Число пар полюсів $p$                     | 4             |
| Клас енергоефективності                   | IE1           |
| Коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н}$ , % | 88,9 %        |
| Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_n$     | 0,85          |

Продовження таблиці 2.4

| Параметри двигуна                          | Значення                  |
|--|---------------------------|
| Кратність пускового струму $\lambda_{I.п}$ | 7,1                       |
| Кратність пускового моменту $\lambda_{п}$  | 2,6                       |
| Кратність критичного моменту $\lambda_{к}$ | 3,1                       |
| Клас ізоляції                              | F                         |
| Температура навколишнього середовища       | -20°C...+40°C             |
| Режим роботи                               | S1                        |
| Рівень звукового тиску                     | 61dB                      |
| Момент інерції ротора $J_{рот}$            | 0,13245 кг·м <sup>2</sup> |
| Ступінь захисту                            | IP55                      |
| Режим роботи                               | S1                        |
| Маса                                       | 137 кг                    |

Синхронна кутова швидкість приводного двигуна [3]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (2.19)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна кутова швидкість обертання [3]:

$$\omega_{дв.н} = \frac{2\pi \cdot n_{дв.н}}{60}, \quad (2.20)$$

$$\omega_{дв.н} = \frac{2\pi \cdot 1475}{60} = 154,46 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальний момент приводного двигуна [3]:

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.н}}{\omega_{дв.н}}, \quad (2.21)$$



$$M_{\text{дв.н}} = \frac{15000}{154,46} = 97,1 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Критичний момент приводного двигуна [3]:

$$M_{\text{дв.к}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{к}}, \quad (2.22)$$

$$M_{\text{дв.к}} = 97,1 \cdot 3,1 = 301,01 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Пусковий момент приводного двигуна [3]:

$$M_{\text{дв.п}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.23)$$

$$M_{\text{дв.п}} = 97,1 \cdot 2,6 = 252,46 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Пусковий струм приводного двигуна [3]:

$$I_{\text{дв.п}} = I_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.24)$$

$$I_{\text{дв.п}} = 30,2 \cdot 7,1 = 214,42 \text{ (А)}.$$

Номінальне ковзання [3]:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0}, \quad (2.25)$$

$$s_{\text{н}} = \frac{157,08 - 154,46}{157,08} = 0,017.$$

Критичне ковзання [3]:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot (\lambda_{\text{к}} + \sqrt{\lambda_{\text{к}}^2 - 1}), \quad (2.26)$$

$$s_{\text{к}} = 0,017 \cdot (3,1 + \sqrt{3,1^2 - 1}) = 0,101.$$

Номінальна фазна напруга:

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{U_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.27)$$

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,4 \text{ (В)}.$$

Для побудови природної механічної характеристики приводного двигуна скористатись формулами Клоса та Чекунова.

Механічна характеристика згідно формули Клоса [3]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.28)$$

$$M(s) = \frac{2 \cdot 280 \cdot (1 + 0,33 \cdot 0,24)}{\frac{s}{0,24} + 2 \cdot 0,33 \cdot 0,24 + \frac{0,24}{s}}.$$

де  $a$  – розрахунковий коефіцієнт [3]:

$$a = \frac{R_1}{R_2'}, \quad (2.29)$$

де  $R_1$  – активний опір обмотки статора, Ом;

$R_2'$  – приведений активний опір обмотки ротора, Ом.

Механічні втрати приймають рівними 5% від номінальної потужності [3]:

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot P_{\text{дв.н}}, \quad (2.30)$$

$$P_{\text{дв.мех}} = 0,05 \cdot 15000 = 750 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунковий активний опір ротора приведений до статора [3]:

$$R_2' = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{дв.н}} + P_{\text{дв.мех}}}{I_{\text{дв.н}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{н}}}{s_{\text{н}}}}, \quad (2.31)$$

$$R_2' = \frac{1}{3} \cdot \frac{15000 + 750}{30,2^2 \cdot \frac{1 - 0,017}{0,017}} = 0,098 \text{ (Ом)}.$$

Розрахунковий активний опір статора [3]:

$$R_1 = \frac{U_{\phi.H} \cdot \cos\varphi_H \cdot (1 - \eta_{дв.н})}{I_{дв.н}} - C^2 \cdot R'_2 - \frac{P_{дв.мех}}{3 \cdot I_{дв.н}^2}, \quad (2.32)$$

де  $C$  – розрахунковий коефіцієнт ( $C = 1,018$ ),

$$R_1 = \frac{219,4 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,889)}{30,2} - 1,018^2 \cdot 0,098 - \frac{750}{3 \cdot 30,2^2} = 0,31 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно до формули (2.29):

$$a = \frac{0,31}{0,098} = 3,18.$$

Вираз механічної характеристика згідно формули Клоса (2.28):

$$M(s) = \frac{2 \cdot 301,01 \cdot (1 + 3,18 \cdot 0,101)}{\frac{s}{0,101} + 2 \cdot 3,18 \cdot 0,101 + \frac{0,101}{s}}.$$

Механічна характеристика згідно формули Чекунова [3]:

$$M(s) = M_K \cdot \frac{2 + (s^2 - s_K^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (2.33)$$

де  $K_s$  – розрахунковий коефіцієнт [3],

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{пуск}}{\lambda_K} \cdot \left( \frac{1}{s_K} + s_K \right) - 2}{1 - s_K^2}, \quad (2.34)$$

$$K_s = \frac{\frac{2,6}{3,1} \cdot \left( \frac{1}{0,101} + 0,101 \right) - 2}{1 - 0,101^2} = 6,489.$$

Згідно формули (2.33):



$$M(s) = 301,01 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,101^2) \cdot 6,489}{\frac{s}{0,101} + \frac{0,101}{s}}$$

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд [3]:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.35)$$

На рисунку 2.4 зображено природні механічні характеристики приводного двигуна побудовані за формулами Класа (1) та Чекунова (2).

На рисунку 2.5 наведено природні електромеханічну та механічну характеристики приводного двигуна згідно даних заводу виробника [15]. На даний графік накладено також і отриману механічну характеристику згідно формули Чекунова. Оскільки очевидними є їх розбіжності, то очевидно, що формула Чекунова дає досить таки наближені результати.

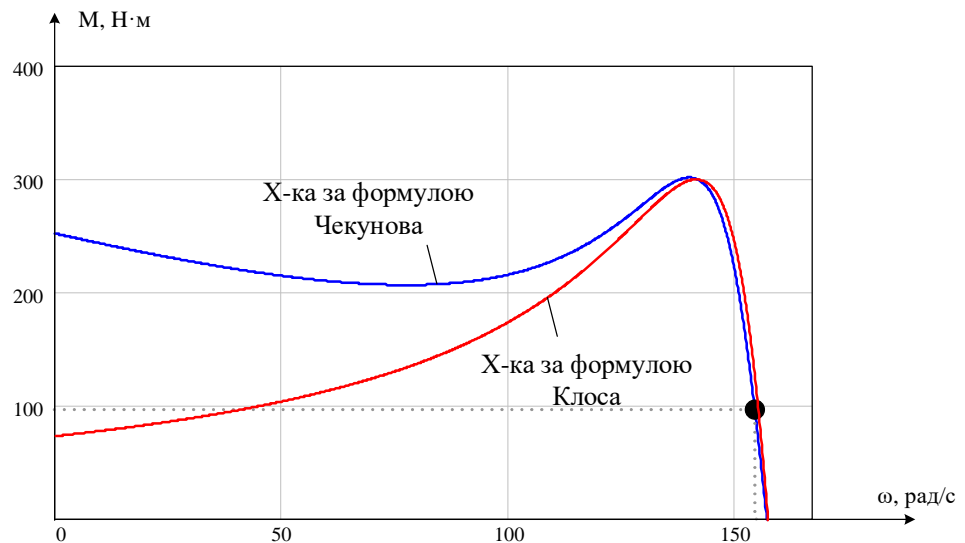


Рисунок 2.4 – Розрахункова природна механічна характеристика приводного двигуна згідно формули Чекунова

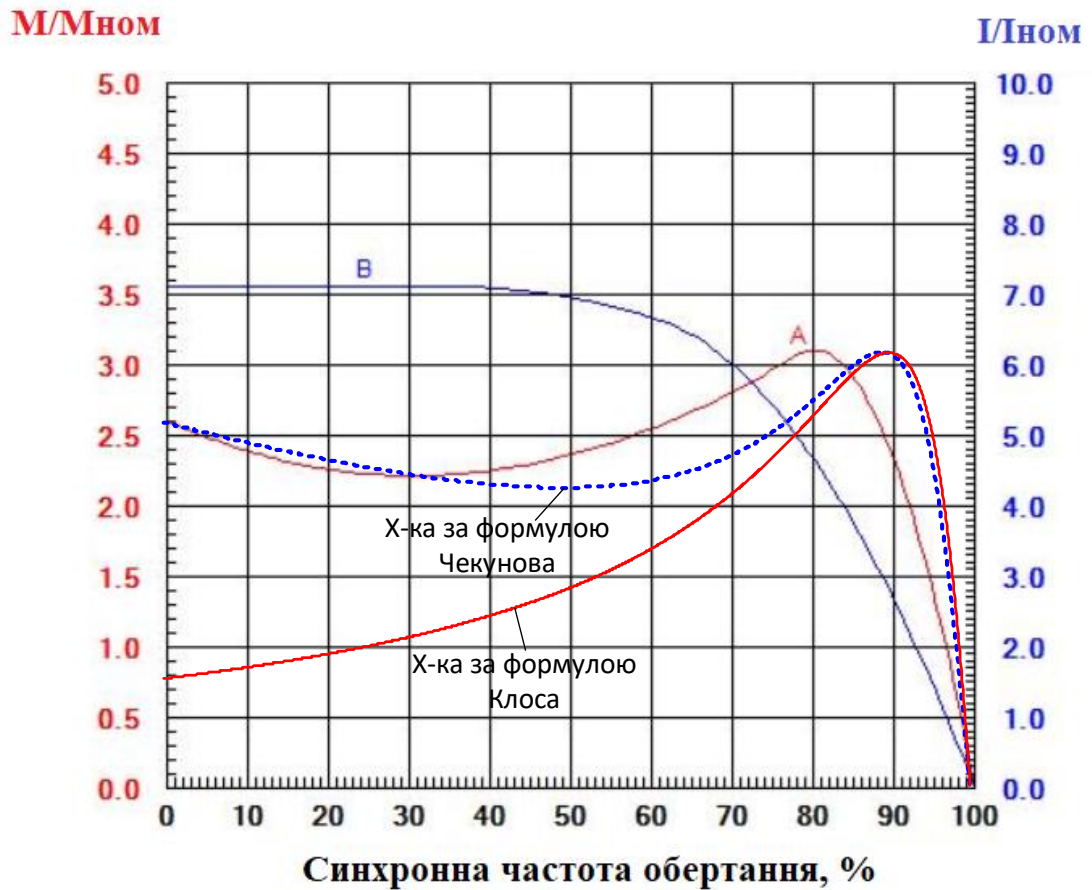


Рисунок 2.5 – Характеристики приводного двигуна WEG 160L-04 згідно документації заводу виробника [15]

#### 2.4 Вибір силового перетворювача привода вентилятора пальника

Згідно результатів техніко-економічного обґрунтування для привода вентилятора пальника економічно обґрунтованим є використовувати електропривод з пристроєм плавного пуску типу ATS01N232QN фірми Schneider Electric (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд пристрою плавного пуску фірми Schneider Electric типу ATS01N232QN

Технічні характеристики пристрою плавного пуску типу ATS01N232QN фірми Schneider Electric наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики пристрою плавного пуску [16]

| Характеристики                   | Значення  |
|----------------------------------|---|
| Бренд                            | Schneider Electric  |
| Серія                            | Altistart 01  |
| Модель                           | ATS01N232QN   |
| Струм номінальний                | 32 А  |
| Потужність регульованого двигуна | 15 кВт  |
| Число фаз                        | 3   |
| Номінальна напруга живлення      | 380...415 В ±10%  |
| Частота напруги мережі живлення  | 50...60 Гц ±5%  |
| Тип пуску                        | пуск у режимі регулювання напруги                         |
| Байпас                           | вбудований шунтуючий контактор                            |
| Час запуску                      | регулюється від 1 до 10 с<br>1 с / 50; 10 с / 5; 5 с / 10 |

Продовження таблиці 2.5

| Характеристики                                     | Значення   |
|--|--|
| Момент під час запуску                             | 30...80 % пуск. моменту двигуна  |
| Час уповільнення                                   | регулюється від 1 до 10 с  |
| Кількість дискретних входів                        | 2  |
| Тип дискретного входу                              | логічний (LI1, LI2, BOOST)<br>функції стоп, пуск та Boost (підвищ.<br>напруги при пуску)                                   |
| Напруга дискретного входу                          | 24...40 В  |
| Логіка дискретних входів                           | позитивний LI1, LI2, BOOST<br>при стані 0: < 5 В та ≤ 0,2 мА<br>при стані 1: > 13 В, ≥ 0,5 мА                              |
| Кількість дискретних виходів                       | 1  |
| Струм дискретного виходу                           | 2 А DC-13<br>3 А AC-15   |
| Тип дискретного виходу                             | логіка відкритого колектора LO1<br>(кінець пускового сигналу)  |
| Релейні виходи                                     | 1 ( R1A, R1C, нормально<br>розімкнений)  |
| Максимальний струм перемикання<br>релейного виходу | 2 А при 250 В AC, індуктивне<br>навантаження;<br>2 А при 30 В DC, індуктивне<br>навантаження                               |
| Тип дисплея  | 1 світлодіод (зелений) – пристрій<br>плавного пуску заживлений;<br>1 світлодіод (жовтий) – досягнута<br>номінальна напруга |
| Ступінь захисту                                    | IP 20  |
| Температура експлуатації                           | -10...+40°C  |
| Відносна вологість                                 | 5...95 % без конденсату або крапель<br>води  |



Схема підключення та часові діаграми роботи пристрою плавного пуску згідно документації заводу виробника зображена на рисунку 2.7.

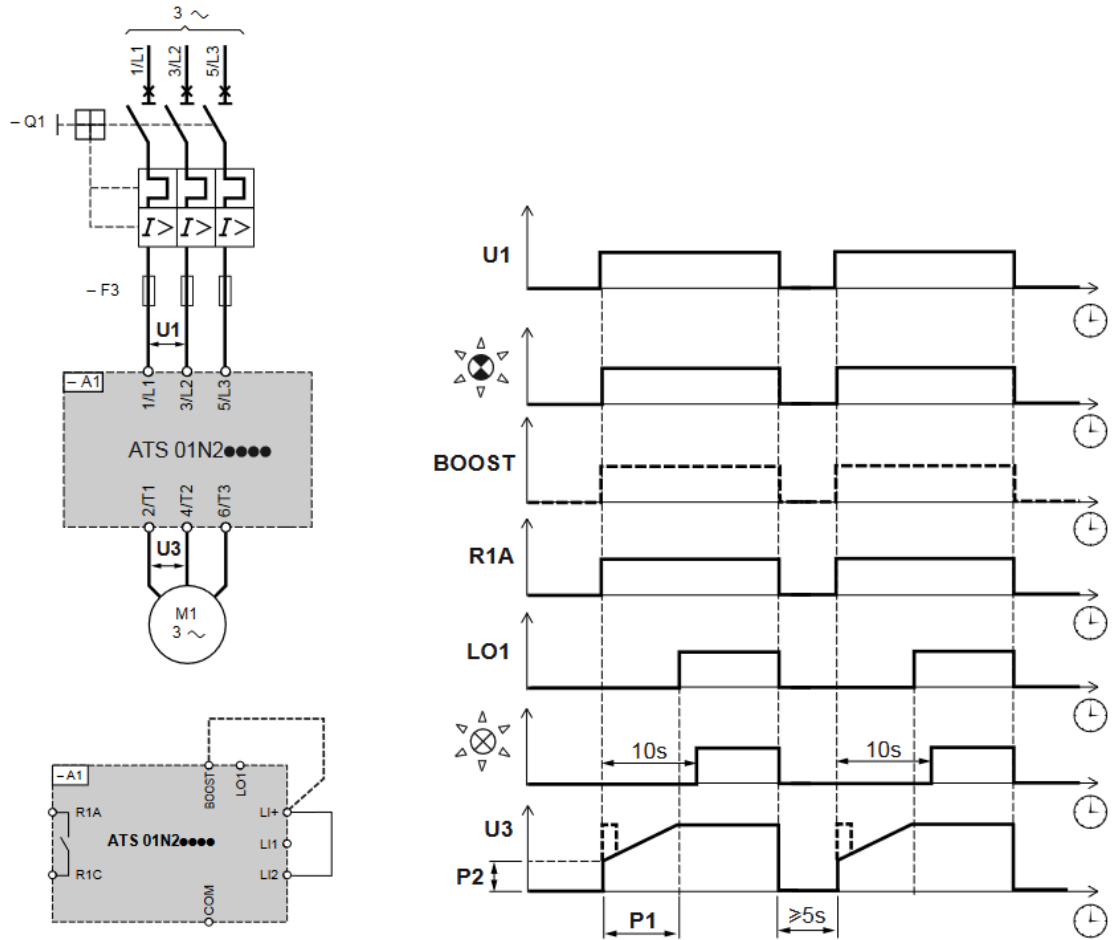


Рисунок 2.7 – Схема підключення та часові діаграми роботи пристрою плавного пуску ATS01N232QN

## 2.5 Моделювання перехідних процесів електропривода вентилятора пальника

Узагальнена функціональна схема електропривода з системою плавного пуску (Softstart-АД) зображена на рисунку 2.8.

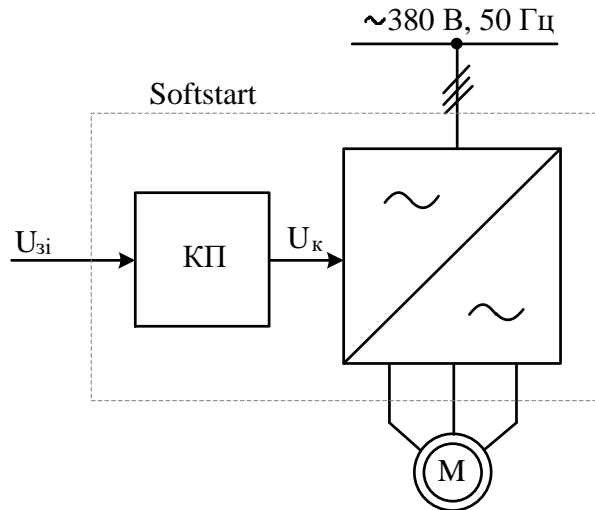


Рисунок 2.8 – Функціональна схема електропривода з системою плавного пуску

Здійснимо моделювання роботи такого електропривода в Matlab Simulink.

Навантаження (вентилятор пальника) наближено можна описати за допомогою емпіричної формули:

$$M_c = M_{c_0} + (M_{c_{\text{НОМ}}} - M_{c_0}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^\alpha, \quad (2.36)$$

де  $M_c$  – момент опору вентилятора при швидкості  $\omega$ ;

$M_{c_0}$  – момент опору тертя в рухомих частинах вентилятора;

$M_{c_{\text{НОМ}}}$  – момент опору при номінальній швидкості  $\omega_{\text{НОМ}}$ ;

$\alpha$  – показник степеня, який характеризує зміну моменту опору при зміні швидкості ( $\alpha = 2$ ) [2].

Момент опору при номінальній швидкості  $\omega_{\text{НОМ}}$ :

$$M_{c_{\text{НОМ}}} = \frac{H \cdot Q}{\eta_{\text{В}} \cdot \eta_{\text{П}} \cdot \omega_{\text{НОМ}}}, \quad (2.37)$$

$$M_{c_{\text{НОМ}}} = \frac{\frac{42400}{3600} \cdot 570}{0,6 \cdot 1 \cdot 154,46} = 72,44 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Момент статичного опору вентилятора при нерухомому робочому колесі:

$$M_{c_0} = 0,2 \cdot M_{c_{\text{НОМ}}}, \quad (2.38)$$

$$M_{c_0} = 0,2 \cdot 72,44 = 14,5 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Механічна характеристика, побудована згідно формули (2.36) зображена на рисунку 2.9.

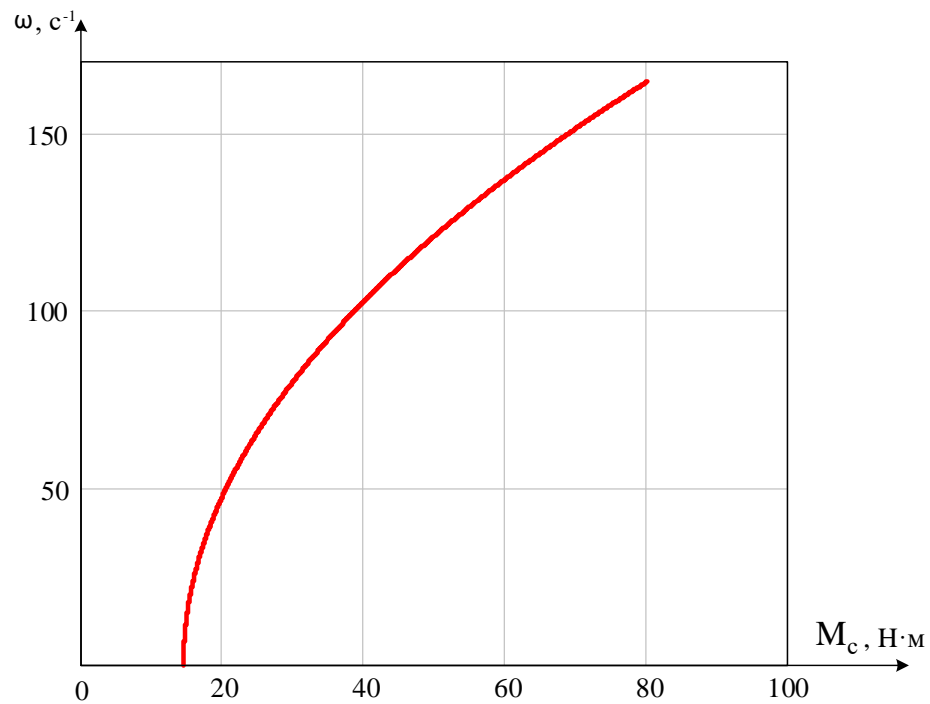


Рисунок 2.9 – Розрахункова механічна характеристика вентилятора пальника

Відповідно до формули (2.36) структурна схема моделі вентилятора пальника зображена на рисунку 2.10.

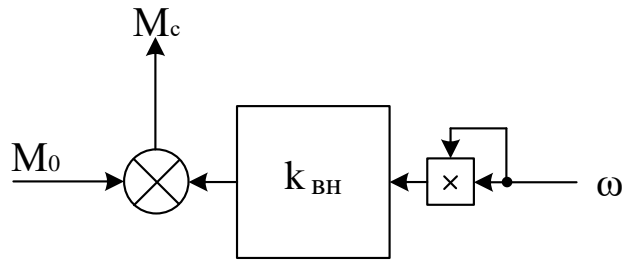


Рисунок 2.10 – Структурна схема моделі вентилятора пальника

Коефіцієнт, що характеризує навантаження:

$$k_{BH} = \frac{M_{c_{НОМ}} - M_{c0}}{\omega_{НОМ}^2}, \quad (2.39)$$

$$k_{BH} = \frac{72,44 - 14,5}{154,46^2} = 0,00243.$$

При побудові моделі електропривода вентилятора з системою плавного пуску використаємо стандартну модель асинхронного двигуна з бібліотеки Matlab Simulink (рисунок 2.11).

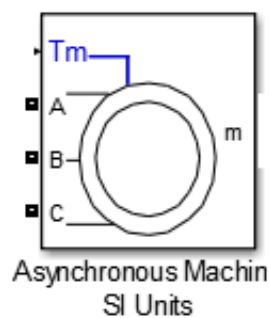


Рисунок 2.11 – Модель АД в Matlab Simulink



Для налаштування даної моделі необхідно розрахувати такі параметри АД:

– приведена індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L'_c = L'_p = \frac{U_{\phi.H}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \cdot \lambda_{I.P} \cdot I_{дв.н}}, \quad (2.40)$$

де  $C$  – розрахунковий коефіцієнт (його значення приймають в межах від 1,01 до 1,05, прийmemo  $C = 1,018$ ),

$$L'_c = L'_p = \frac{219,4}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,018^2) \cdot 7,1 \cdot 30,3} = 0,0008 \text{ (Гн)};$$

– індуктивність статора:

$$L_c = \frac{U_{\phi.H}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{дв.н} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{дв.к} \cdot s_H}{p_1 \cdot U_{\phi.H} \cdot s_K}}, \quad (2.41)$$

$$L_c = \frac{219,4}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 30,2 \cdot \sqrt{1 - 0,85^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 301,01 \cdot 0,017}{2 \cdot 219,4 \cdot 0,101}} = 0,0441 \text{ (Гн)};$$

– індуктивність кола намагнічування:

$$L_m = L_c - L'_c, \quad (2.42)$$

$$L_m = 0,0441 - 0,0008 = 0,04331 \text{ (Гн)}.$$

Вікно налаштування параметрів моделі АД зображені на рисунку 2.12.

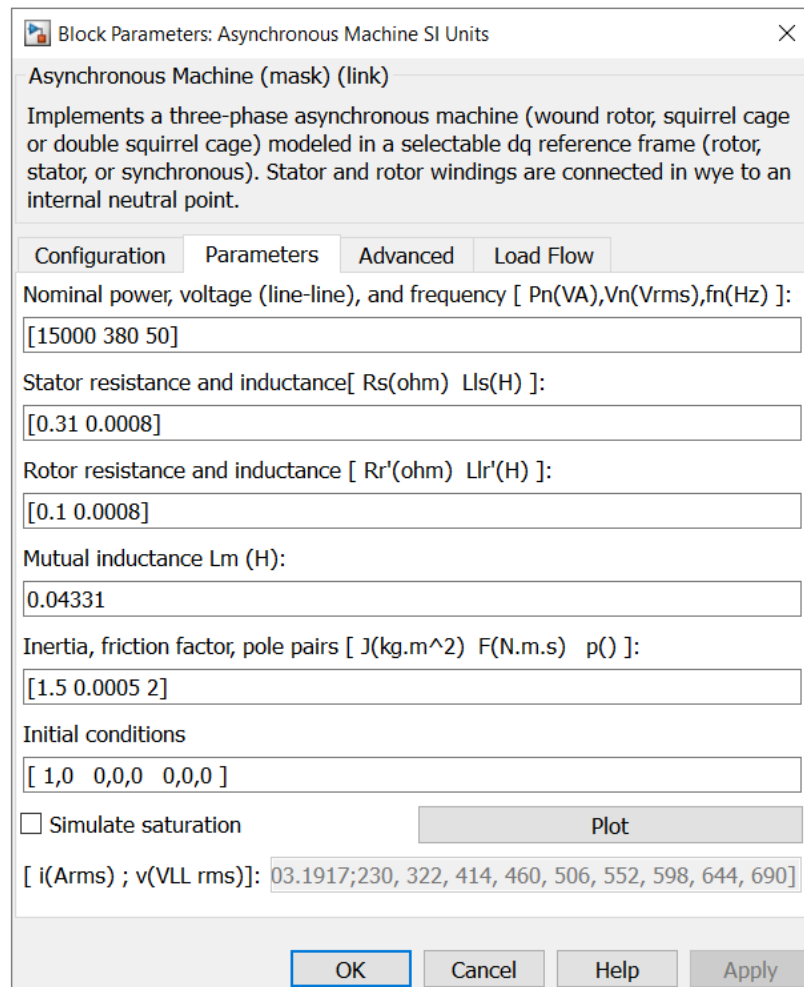


Рисунок 2.12 – Налаштування параметрів моделі АД

Таким чином модель електропривода вентилятора пальника з системою плавного пуску (з урахуванням: узагальненої функціональної схеми електропривода з системою плавного пуску, яка зображена на рисунку 2.8; моделі вентилятора, яка зображена на рисунку 2.10; моделі АД, яка зображена на рисунку 2.11) зображена на рисунку 2.13.

В результаті моделювання отримуємо такі графічні залежності:

- 1) динамічну механічну характеристику АД (рисунок 2.14);
- 2) перехідні процеси зміни моменту та швидкості АД при пуску (рисунок 2.15).

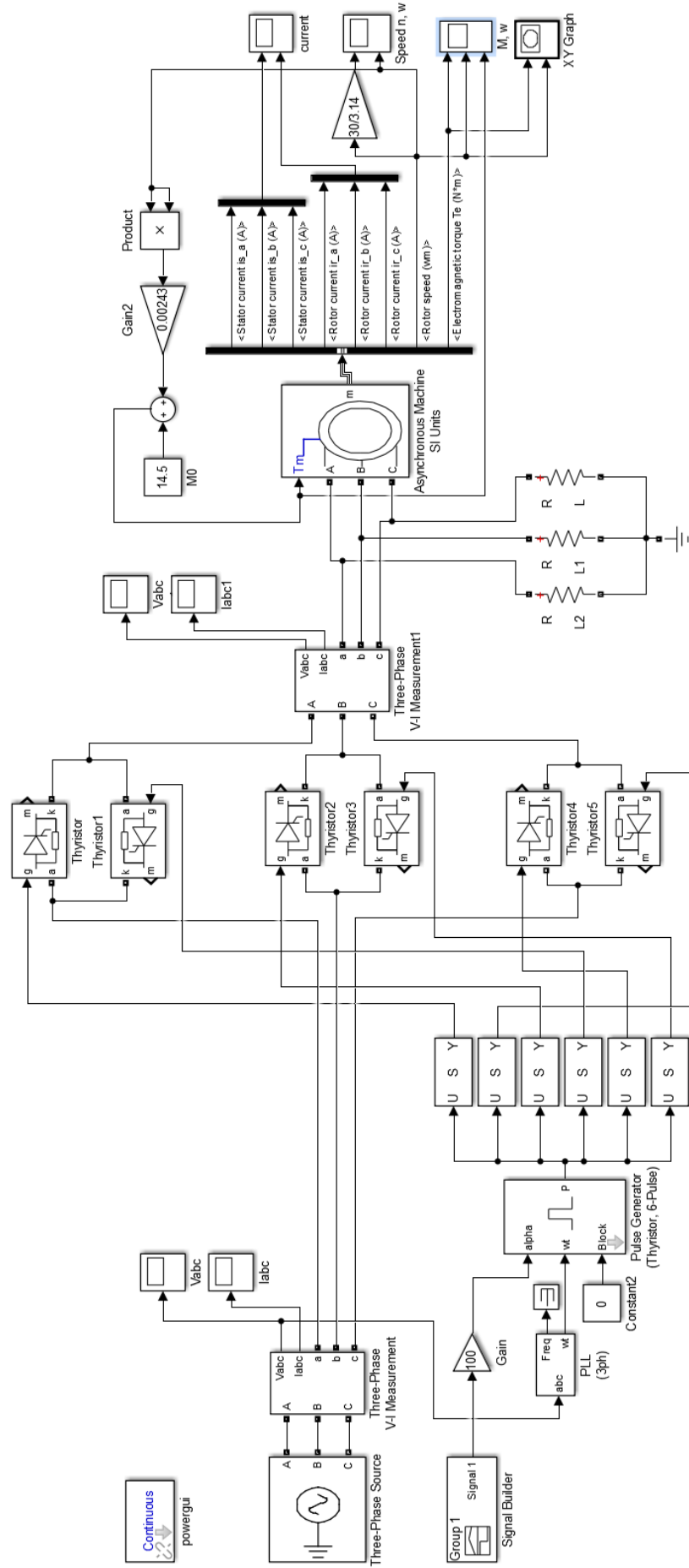


Рисунок 2.13 – Модель электропривода с системой плавного пуска в Matlab Simulink

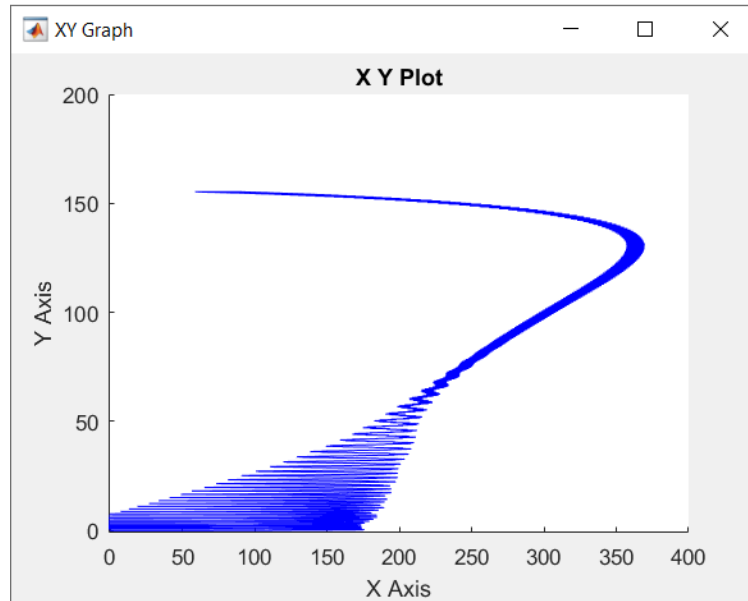


Рисунок 2.14 – Динамічна механічна характеристика АД

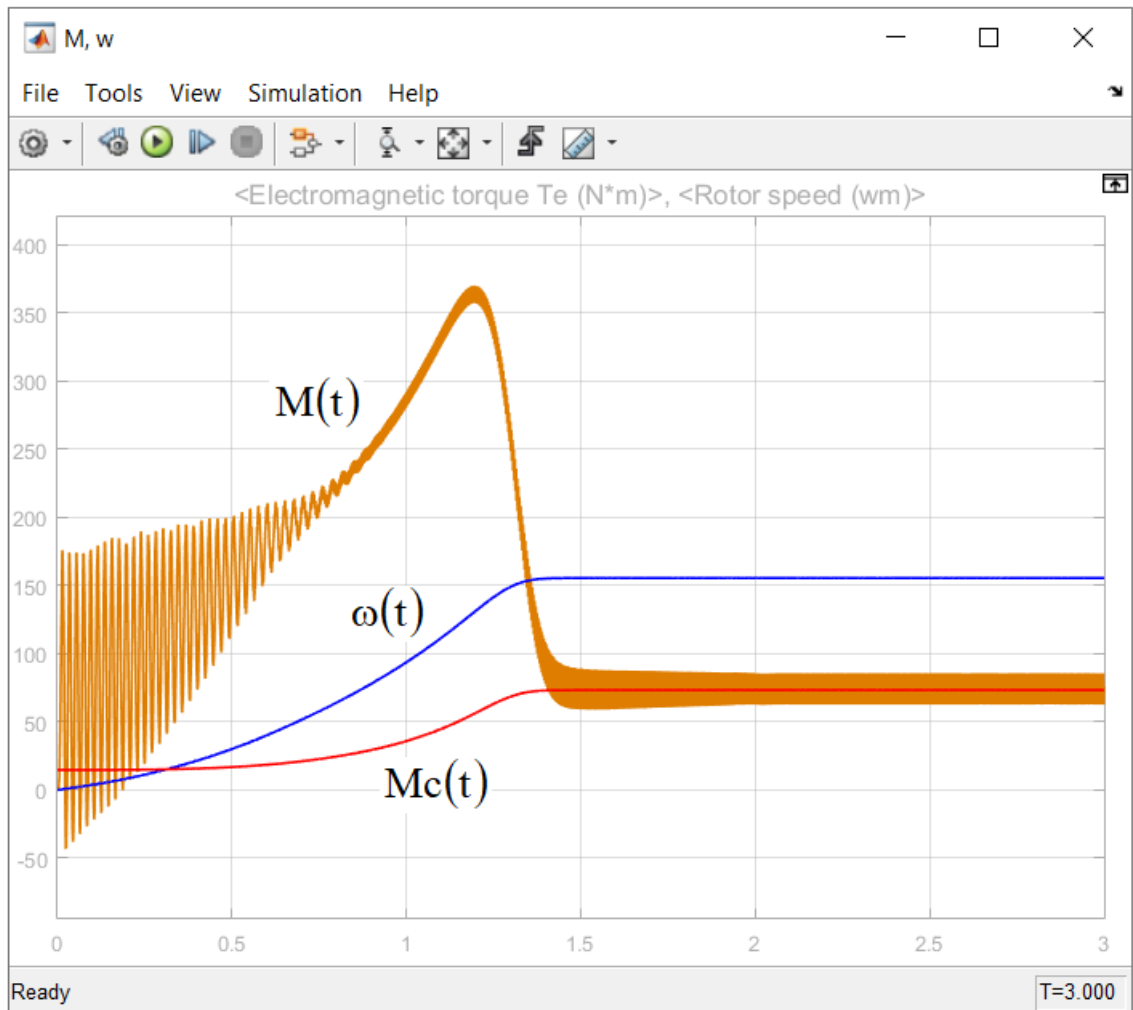


Рисунок 2.15 – Графіки перехідних процесів ЕП при пуску



**Висновок:** Виконано перевірочний розрахунок потужності приводного двигуна вентилятора пальника зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Базуючись на критерії приведених витрат обґрунтовано використання для привода вентилятора пальника системи плавного пуску. Вибрано елементну базу електропривода вентилятора пальника: приводний асинхронний двигуна з КЗ ротором типу WEG w22 типу 160L-04 з номінальною потужністю 15 кВт та пристрій плавного пуску ATS01N232QN фірми Schneider Electric. Проведено моделювання роботи електропривода в Matlab Simulink та отримано графіки перехідних процесів при пуску приводе вентилятора пальника.

### 3 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПАЛЬНИКОМ ЗЕРНОСУШАРКИ

#### 3.1 Структура газової магістралі пальника зерносушарки

Можливим є декілька основних способів реалізації газової магістралі пальника, що передбачає використання системи керування пальником, яка забезпечує:

– ступінчасте регулювання – задане значення температури в камері нагрівання сушарки забезпечується шляхом включення / відключення клапана II ступені пальника (рисунок 3.1);

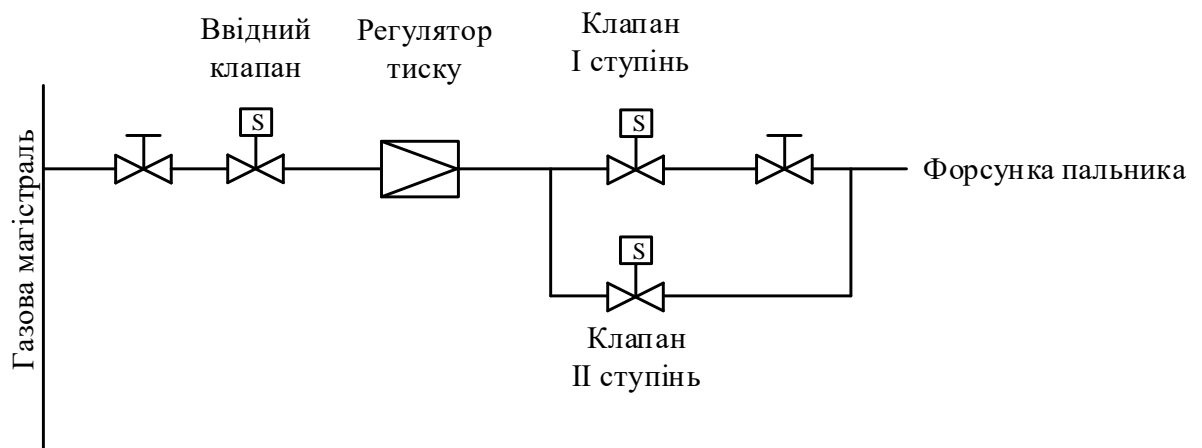


Рисунок 3.1 – Структура газової магістралі, яка передбачає ступінчасте регулювання

– модуляційне регулювання – задане значення температури в камері нагрівання сушарки забезпечується шляхом зміни положення крана, що приводиться в дію сервоприводом (рисунок 3.2).

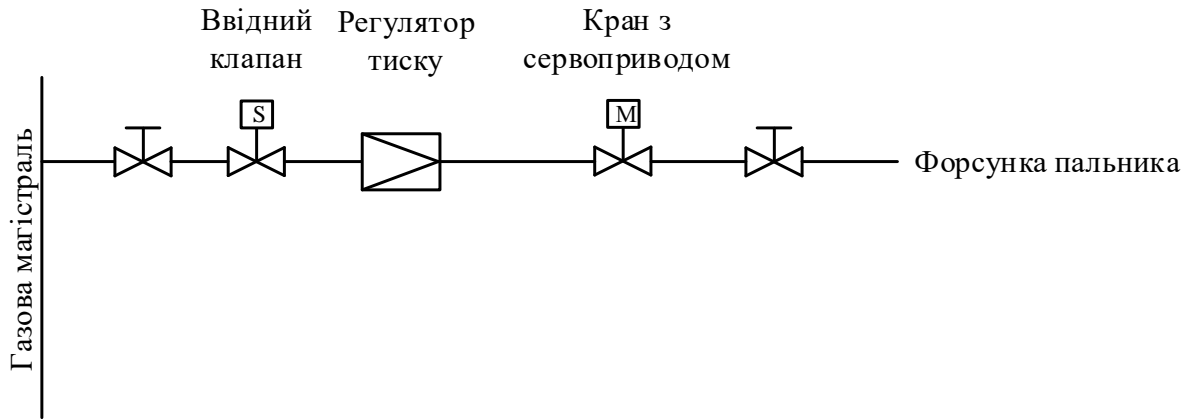


Рисунок 3.2 – Структура газової магістралі, яка передбачає модуляційне регулювання

### 3.2 Розробка функціональної схеми

Система керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03 повинна забезпечувати узгоджене керування вентилятором пальника та самим пальником сушарки, а також забезпечувати різного роду захисти:

- захист від коротких замикань та перевантажень;
- захист від перегріву пальника;
- захист від перегріву агенту сушки;
- захист від перегріву зерна;
- захист від втрати полум'я.

Відповідна функціональна схема зображена на рисунку 3.3.

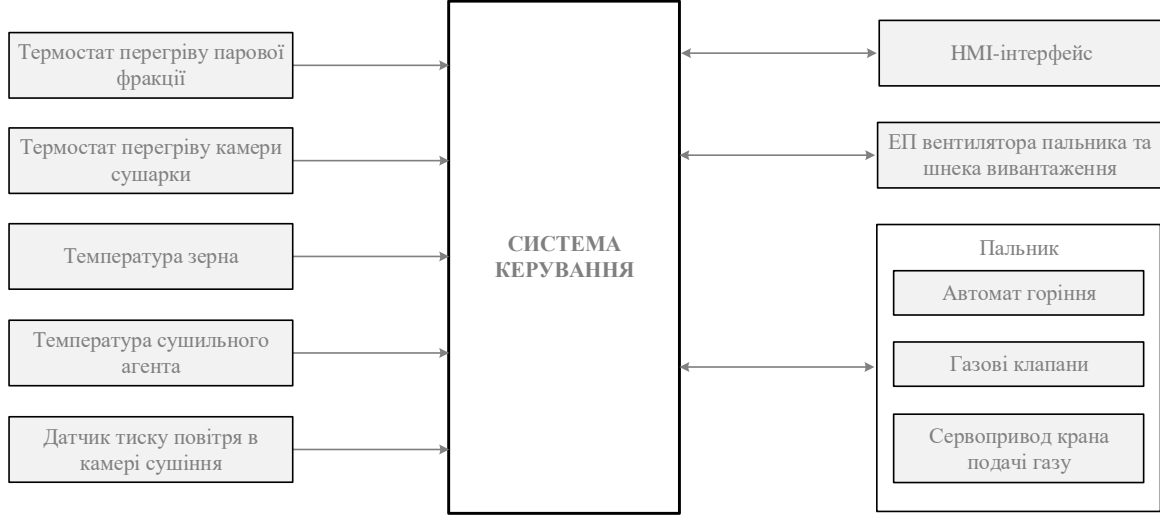


Рисунок 3.3 – Схема функціональна системи керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03

### 3.3 Вибір автомата горіння

Станом на сьогодні для керування пальниками випускають спеціалізовані блоки керування, які називають автоматами горіння.

Найбільш поширеними є автомати горіння фірми Siemens (Європа) та Honeywell (USA), які характеризуються приблизно однаковими показниками.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд автомата горіння:

- a) Siemens LME 41.051 C2;
- б) Honeywell DKG 972-N Mod. 10



Порівняльний аналіз найбільш поширених моделей автоматів горіння зазначених виробників представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця [17-20]

| Параметри   | Автомати горіння                                 |   |
|---|--|---|
|   | Siemens LME 41.051 C2                            | Honeywell DKG 972-N Mod. 10                                       |
| Робоча напруга                                    | 230 В АС (+10% / -15%)<br>50/60 Гц ( $\pm 6\%$ ) | 220/240 В (+10% / -15%)<br>50/60 Гц ( $\pm 5\%$ )                 |
| Енергоспоживання                                  | 12 ВА  | 12 ВА   |
| Максимальне навантаження на клеми керування       | max 5 А  | 4 А   |
| Перезапуск при зникненні полум'я під час роботи   | 3  | 4   |
| Контроль полум'я                                  | зонд іонізації<br>ультрафіолетовий датчик        | зонд іонізації<br>інфрачервоний датчик<br>ультрафіолетовий датчик |
| Максимальна довжина кабелю до електрода іонізації | < 3 м  | < 3 м   |
| Ступінь захисту                                   | IP40   | IP40  |
| Температура експлуатації                          | -20°C...+60°C                                    | -20°C...+60°C   |
| Температура зберігання                            | -20°C...+60°C                                    | -20°C...+80°C   |
| Відносна вологість                                | < 95%  | max 95% при 30°C  |
| Орієнтовна вартість, грн                          | 4150 [19]  | 5450 [20]   |

Оскільки технічні характеристики автоматів горіння зазначених виробників є подібними, то в якості базового виберемо автомат горіння фірми Siemens, оскільки вартість його є меншою.

### 3.2.1 Вибір автомата горіння пальника з ступінчастим регулюванням

Оскільки схема з ступінчастим регулюванням передбачає наявність двох газових клапанів (I та II ступені регулювання), то вибраний автомат горіння також повинен бути двоступеневим. Таким чином в даних умовах доцільно вибрати автомат горіння типу LME 44.056 C2 (не передбачає повторних автоматичних перезапусків). Схема його підключення зображена на рисунку 3.5, а діаграми роботи – на рисунку 3.6 [17].

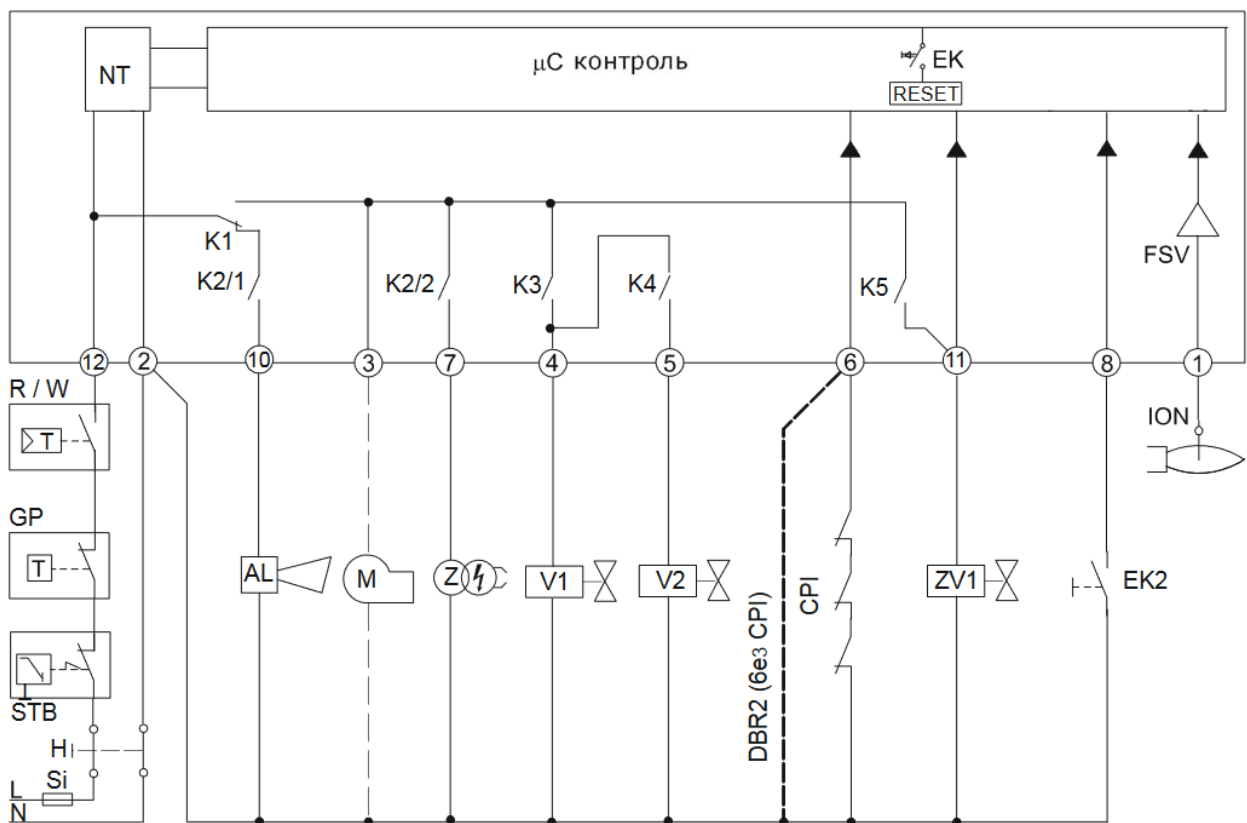


Рисунок 3.5 – Схема підключення автомата горіння  
Siemens LME 44.056 C2

На рисунку 3.4 прийнята така система позначень:

- AL – сигналізатор аварії;
- M – двигун вентилятора пальника;
- Z – трансформатор розпалу;

- V1 – електромагнітний клапан I-ступені;  
 V2 – електромагнітний клапан II-ступені;  
 ZV1 – додатковий клапан;  
 EK2 – кнопка дистанційного скиду блокування;  
 ION – електрод іонізації.

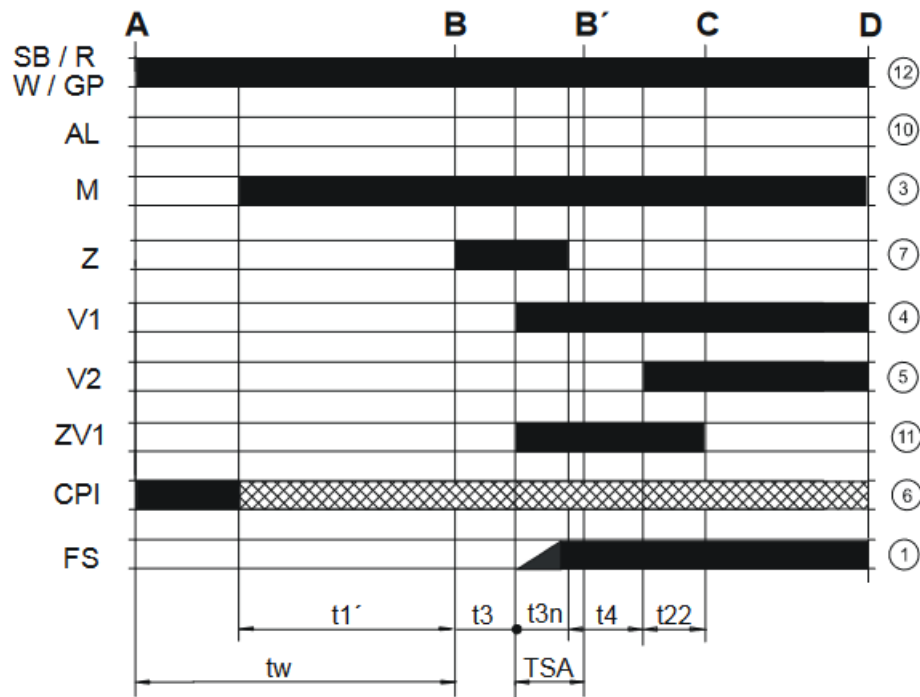


Рисунок 3.6 – Діаграма роботи автомата горіння  
 Siemens LME 44.056 C2

На рисунку 3.5 прийнята така система позначень:

- $t_w$  – час очікування ( $t_w \approx 16$  с);  
 $t1'$  – час продувки ( $t1' = \min 9$  с);  
 $t3$  – час перед розпалюванням ( $t3 \approx 2$  с);  
 $t3n$  – час після розпалюванням ( $t3n \approx 4,5$  с);  
 $TSA$  – час безпеки при пуску ( $TSA = \max 5$  с);  
 $t4$  – інтервал часу між вимкненням трансформатора розпалу та деблокуванням клапана II-ступені ( $t4 \approx 10$  с);  
 $t22$  – другий час безпеки ( $t22 \approx 5$  с).

### 3.2.2 Вибір автомата горіння пальника з модуляційним регулюванням

Оскільки схема з модуляційним регулюванням передбачає наявність одного газового клапана, то вибраний автомат горіння також повинен бути одноступеневим. Таким чином в даних умовах доцільно вибрати автомат горіння типу LME 41.052 C2 (не передбачає повторних автоматичних перезапусків). Схема його підключення зображена на рисунку 3.7, а діаграми роботи – на рисунку 3.8 [17].

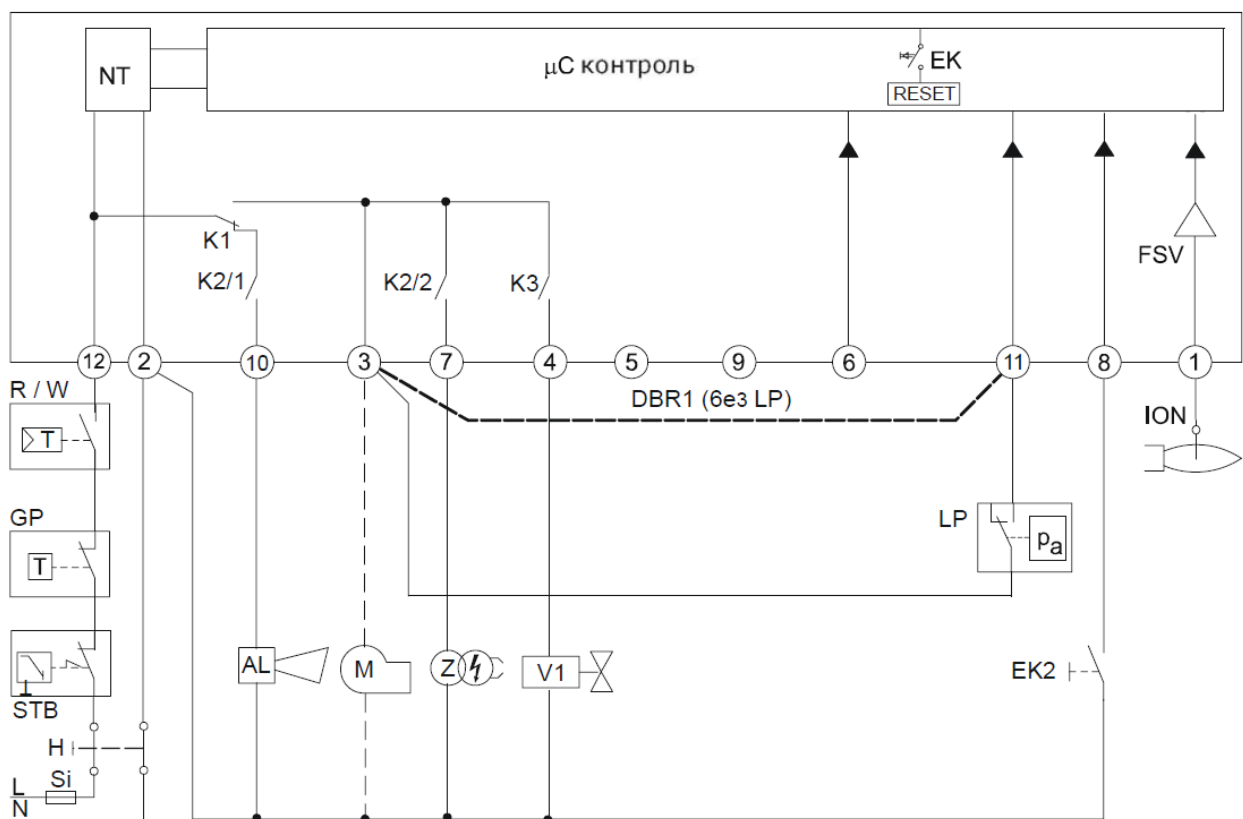


Рисунок 3.7 – Схема підключення автомата горіння  
Siemens LME 41.052 C2

На рисунку 3.6 прийнята така система позначень:

AL – сигналізатор аварії;

M – двигун вентилятора пальника;

Z – трансформатор розпалу;

V1 – електромагнітний клапан;

LP – датчик тиску;

EK2 – кнопка дистанційного скиду блокування;

ION – електрод іонізації.

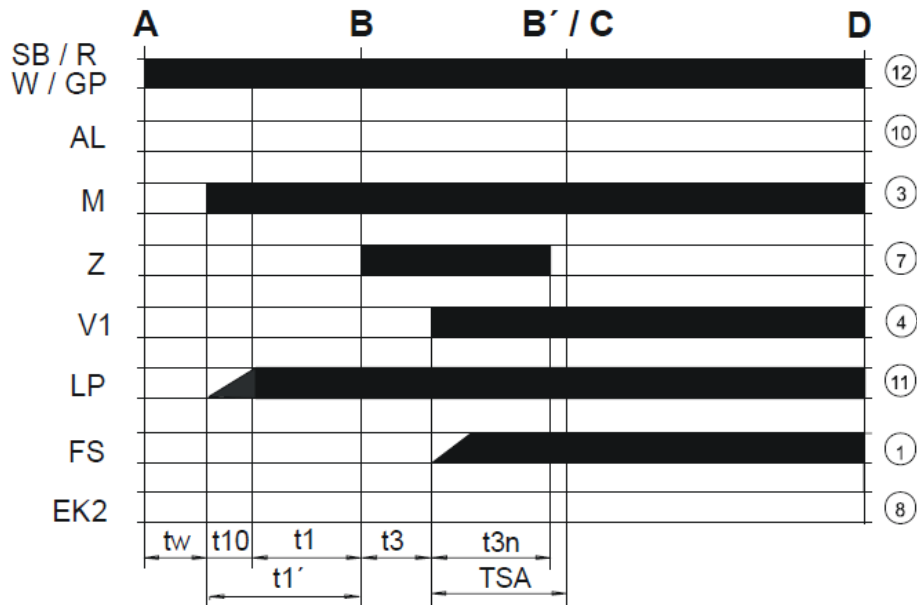


Рисунок 3.8 – Діаграма роботи автомата горіння  
Siemens LME 41.052 C2

На рисунку 3.7 прийнята така система позначень:

$t_w$  – час очікування ( $t_w \approx 2,5$  с);

$t_1'$  – час продувки ( $t_1' = \min 1$  с);

$t_{10}$  – заданий час для сигналу тиску повітря;

$t_3$  – час перед розпалюванням ( $t_3 \approx 10$  с);

$t_{3n}$  – час після розпалюванням ( $t_{3n} \approx 4,5$  с);

$TSA$  – час безпеки ( $TSA = \max 5$  с).



### 3.3 Вибір сервопривода пальника з модуляційним регулюванням

В якості сервопривода газового крана пальника з модуляційним регулюванням виберемо Belimo NM24AX-SR (рисунок 3.9). Його основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.2.



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд сервопривода Belimo NM24AX-SR

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики сервопривода Belimo NM24AX-SR [21]

| Характеристики             | Значення            |
|----------------------------|---------------------|
| Напруга живлення           | 24 В АС/DC          |
| Частота напруги живлення   | 50/60 Гц            |
| Діапазон напруги живлення  | 19,2...28,8 В АС/DC |
| Номінальний крутний момент | 10 Нм               |
| Кут повороту               | 90°                 |
| Час повороту               | 45с / 90°           |
| Температура експлуатації   | -30...+50°C         |
| Ступінь захисту корпусу    | IP54                |
| Керуючий сигнал            | 2...10 В DC         |

Схема підключення сервопривода Belimo NM24AX-SR зображена на рисунку 3.10 [21].

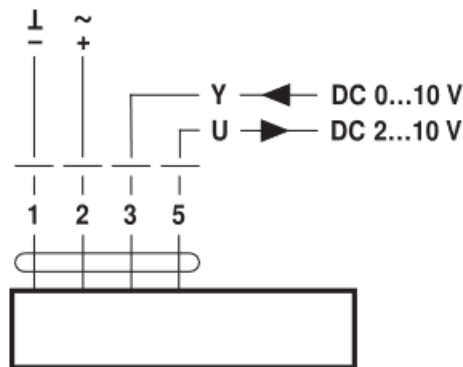


Рисунок 3.10 – Схема підключення сервопривода Belimo NM24AX-SR

### 3.4 Вибір керуючого пристрою та модулів розширення

В якості керуючого пристрою використаємо програмований логічний контролер (ПЛК) – мікропроцесорну систему спеціального призначення, яка за рахунок зменшення об'єму виконуваних арифметичних операцій, збільшення числа пристроїв вводу-виводу і пристроїв зв'язку з об'єктом аналогового і дискретного типів більш придатна для керування технологічними процесами.

Керуючий пристрій повинен керувати зерносушаркою в цілому і зокрема пальниками, а також передбачати можливість обміну даними для реалізації НМІ-інтерфейсу з використанням Touch-панелей. Таким чином виберемо типовий ПЛК фірми Siemens серії SIMATIC S7-1200 (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – ПЛК SIMATIC S7-1200

SIMATIC S7-1200 – сімейство мікроконтролерів Siemens, які дозволяють успішно вирішувати широке коло завдань в області автоматизації з вбудованими комунікаційними і технологічними функціями. Ці контролери мають модульну конструкцію, що дозволяє підібрати оптимальну структуру для вирішення конкретних задач. Вони здатні працювати в реальному масштабі часу, підтримують обмін даними через мережі Industrial Ethernet / PROFINET, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання [22].

Технічні характеристики вибраного ПЛК наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики вибраного ПЛК [23]

| Характеристика                                 | Дані                       |
|--|----------------------------|
| Номер для замовлення                           | 6ES7214-1AG40-0XB0         |
| Модель   | S7-1214C DC/DC/DC          |
| Вбудована робоча пам'ять                       | 125 kbyte                  |
| Вбудована пам'ять для завантаження             | 4 Mbyte                    |
| Можливість розширення пам'яті для завантаження | картою пам'яті Memory Card |

Продовження таблиці 3.3

| Характеристика  | Дані   |
|---|--|
| Інтерфейс   | PROFINET   |
| Вбудовані входи і виходи                              | 14 DI 24V DC<br>10 DO 24V DC 0.5A<br>2 AI 0-10V DC |
| Живлення (допустимий діапазон)                        | DC 20.4 - 28.8 V DC                                |
| Температура навколишнього середовище при експлуатації | -20...60°C   |

Схему підключення ПЛК S7-1214C DC/DC/DC наведено на рисунку 3.12.

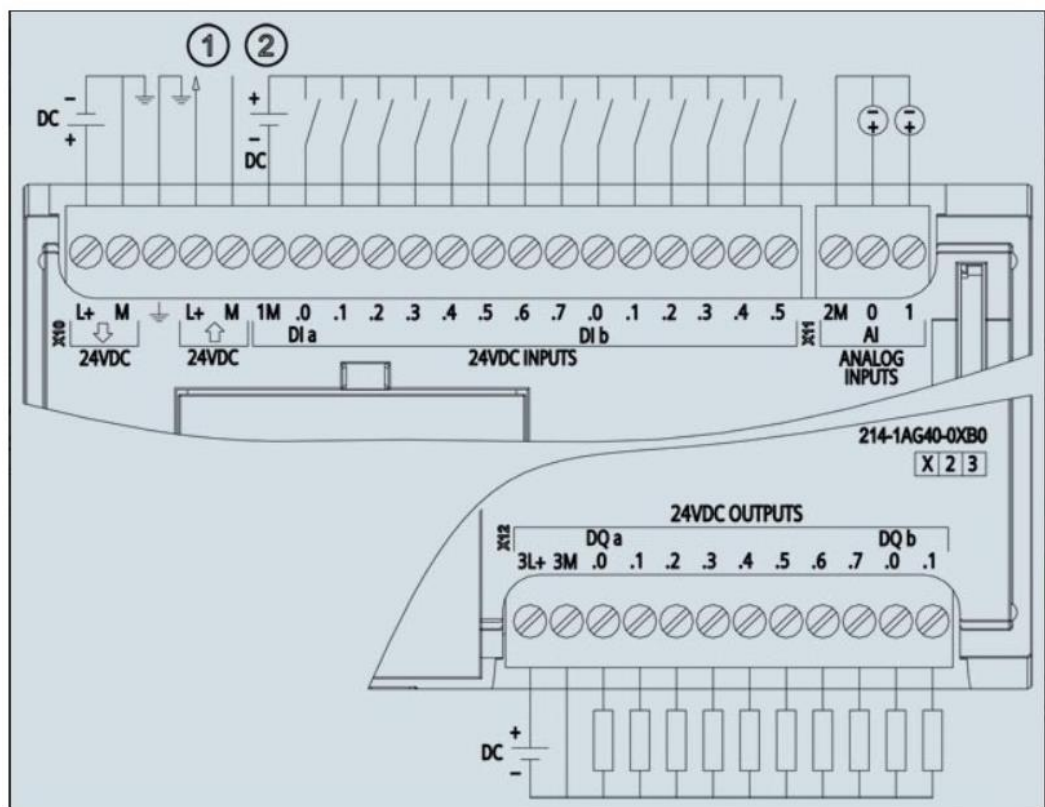


Рисунок 3.12 – Підключення зовнішніх кіл ПЛК S7-1214C DC/DC/DC

Для керування сервоприводом пальника потрібен аналоговий вихід, оскільки в контролера немає такого, то потрібно вибрати відповідний модуль розширення, наприклад, SM 1232 (рисунок 3.13).

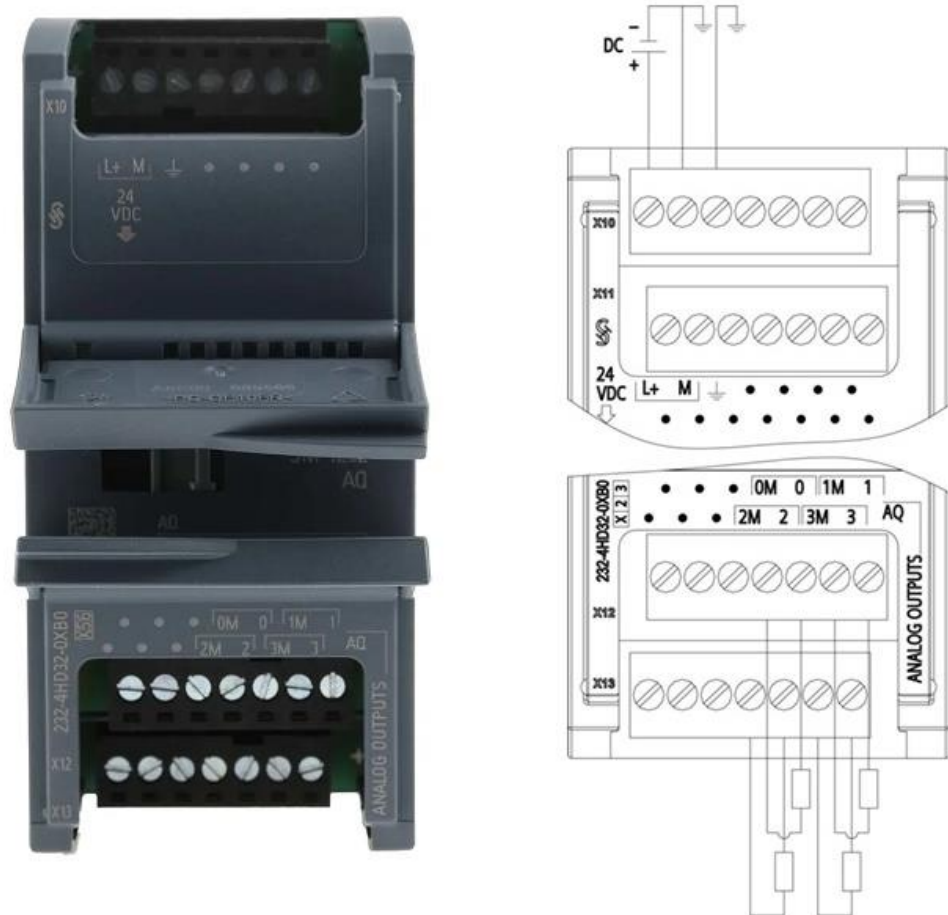


Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд модуля розширення SM 1232 та схема його підключення

Технічні характеристики вибраного модуля розширення SM 1232 наведено в таблиці 3.4.



Таблиця 3.4 – Технічні характеристики модуля SM 1232 [24]

| Характеристика  | Дані  |
|---|---|
| Номер для замовлення                                  | 6ES7232-4HD32-0XB0  |
| Модель  | SM 1232   |
| Кількість аналогових виходів                          | 4 АQ<br>(стум або напруга)<br>± 10 В, 14 разряд.<br>0-20 мА, 13 разряд. |
| Номінальна напруга живлення                           | 24 В DC   |
| Температура навколишнього середовища при експлуатації | -20...60°C  |

Для вимірювання температури в камері пальника потрібно передбачити можливість роботи з датчиком температури типу Pt100 (рисунок 3.14) з трипровідною схемою підключення. З цією метою виберемо відповідний модуль розширення, наприклад, SM 1231 RTD (рисунок 3.15).



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд датчика Pt100

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики датчика Pt100 [25]

| Найменування                    | Значення        |
|---------------------------------|-----------------|
| Діапазон вимірювання температур | -50°C до +400°C |
| Довжина датчика                 | 100 мм          |
| Діаметр датчика                 | 5 мм            |
| Кріплення датчика               | різьба М8       |

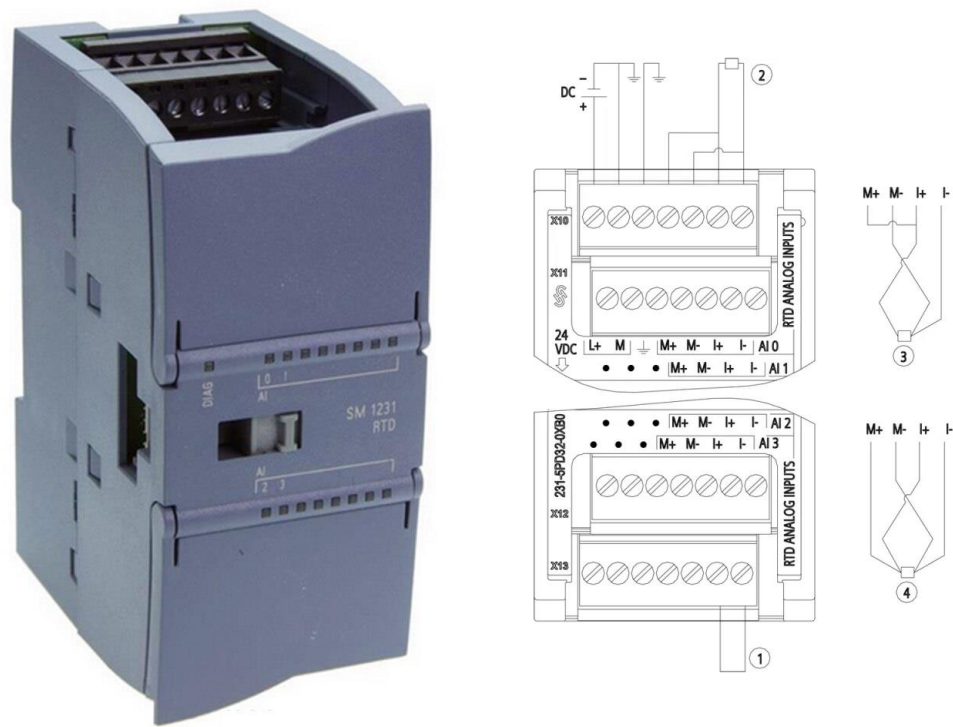


Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд модуля розширення SM 1232 та схема його підключення

Технічні характеристики вибраного модуля розширення SM 1232 наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики модуля SM 1231 RTD [26]

| Характеристика  | Дані   |
|---|--|
| Номер для замовлення                                  | 6ES7231-5PD32-0XB0   |
| Модель  | SM 1231 RTD  |
| Кількість каналів вимірювання                         | 4AI RTD  |
| Резистивні термометричні датчики опору                | Pt10, Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, Ni100, Ni120, Ni200, Ni500, Ni1000, Cu10, Cu50, Cu 100, LG-Ni1000 |
| Номінальна напруга живлення                           | 24 В DC  |
| Температура навколишнього середовище при експлуатації | -20...60°C   |

### 3.5 Вибір засобів НМІ-інтерфейсу

Для візуалізації процесів та керування зерносушаркою в цілому і пальником зокрема виберемо панель оператора фірми WEINTEK – MT8121XE з діагоналлю 12.1 дюймів (рисунок 3.16).

Технічні характеристики панелі наведені в таблиці 3.7.



Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд панелі WEINTEK MT8121XE

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики панелі WEINTEK MT8121XE [27]

| Параметр           | Значення                |
|--------------------|-------------------------|
| Напруга живлення   | 24 ±20% VDC             |
| Споживаний струм   | 800 mA при 24VDC        |
| Діагональ          | 12,1 дюйма              |
| Тип сенсора        | 4-провідний резистивний |
| Постійна пам'ять   | 256 MB                  |
| Оперативна пам'ять | 256 MB                  |
| USB хост           | 1 x USB 2.0             |

## Продовження таблиці 3.7

| Параметр                     | Значення                                   |
|------------------------------|--|
| Ethernet порт                | 1 x RJ45 (10/100 Base-T)                   |
| COM порт                     | COM1 (RS232 / RS485 / RS422), COM3 (RS485) |
| Температура при експлуатації | 0 °C ~ 50 °C                               |
| Температура при зберіганні   | -20 °C ~ 60 °C                             |

### 3.6 Вибір датчика тиску

Для контролю тиску повітря в камері сушарки необхідно передбачити відповідний датчик тиску сигнал від якого є однією з передумов для дозволу роботи пальника. При працюючому вентиляторі і заповненій сушарці в її камері створюється тиск близько 3 mbar.

Таким чином в якості датчика тиску виберемо Dungs LGW 10A2 (рисунок 3.8).



Рисунок 3.17 – Датчик тиску повітря Dungs LGW 10A2

Технічні характеристики датчика тиску Dungs LGW 10A2 наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики датчика тиску [28]

| Найменування                                 | Значення                     |
|--|------------------------------|
| Виробник                                     | Dungs                        |
| Модель                                       | LGW 10A2                     |
| Артикул                                      | 107417                       |
| Приєднання                                   | G <sup>1/4</sup> " внутрішнє |
| Контрольоване середовище                     | повітря                      |
| Тип тиску                                    | диференційне                 |
| Тип виходу                                   | релейний                     |
| Максимальна робоча напруга                   | 300 В                        |
| Максимальний комутований струм               | 6 А                          |
| Максимальний робочий тиск                    | 500 mbar                     |
| Діапазон налаштування                        | 2-10 mbar                    |
| Температура повітря тиск якого контролюється | -15°C до +75°C               |
| Температура зберігання                       | -30°C до +80°C               |
| Виробник                                     | Германія                     |

### 3.7 Розробка схеми електричної принципової керування пальником

Основним варіантом реалізації системи керування пальником зерносушарки є варіант використання модуляційного керування. Тому в повному обсязі покажемо схему керування саме для цього випадку (додаток Б).

Окремі фрагменти системи керування зображені на рисунках 3.18-3.20.



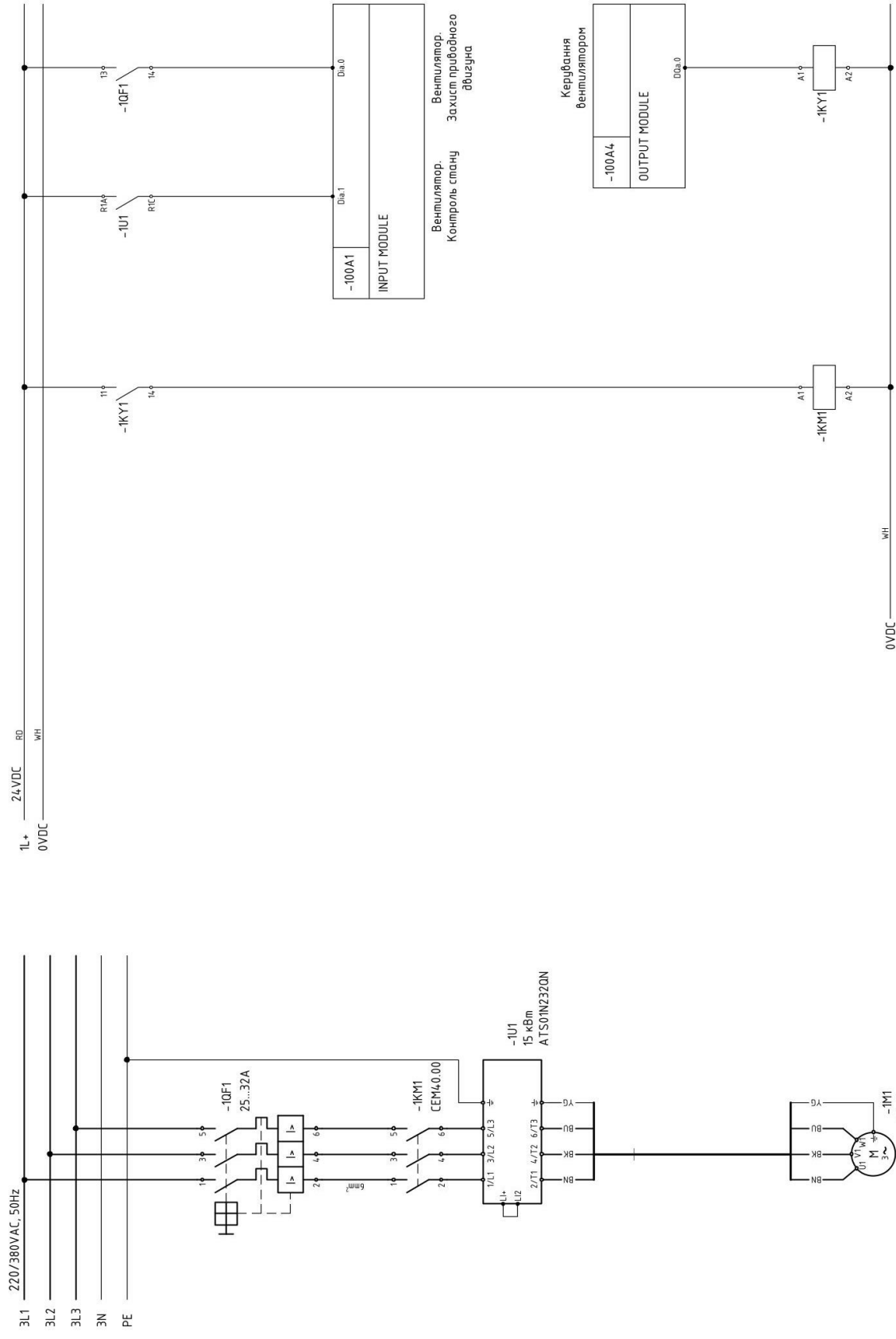


Рисунок 3.18 – Схема керування пальником з модуляційним керуванням (1)

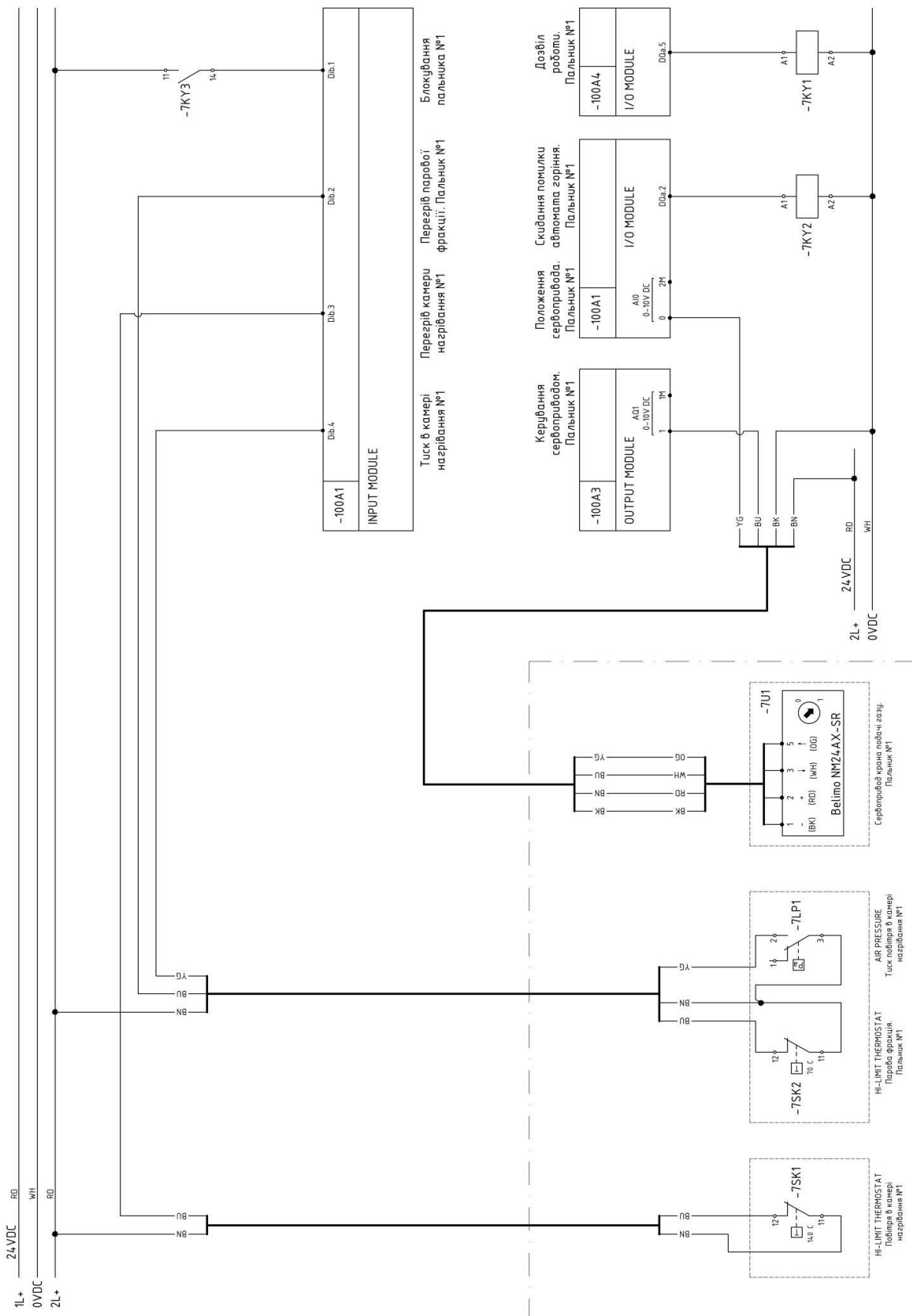


Рисунок 3.19 – Схема керування палиником з модуляційним керуванням (2)



### 3.8 Розробка програми керування

Програмування ПЛК S7-1214C DC/DC/DC та загальне налаштування проекту здійснено в середовищі TIA Portal.

Вікно конфігурації S7-1214C DC/DC/DC зображено на рисунку 3.21, а фрагменти програми керування – на рисунках 3.22 – 3.24.

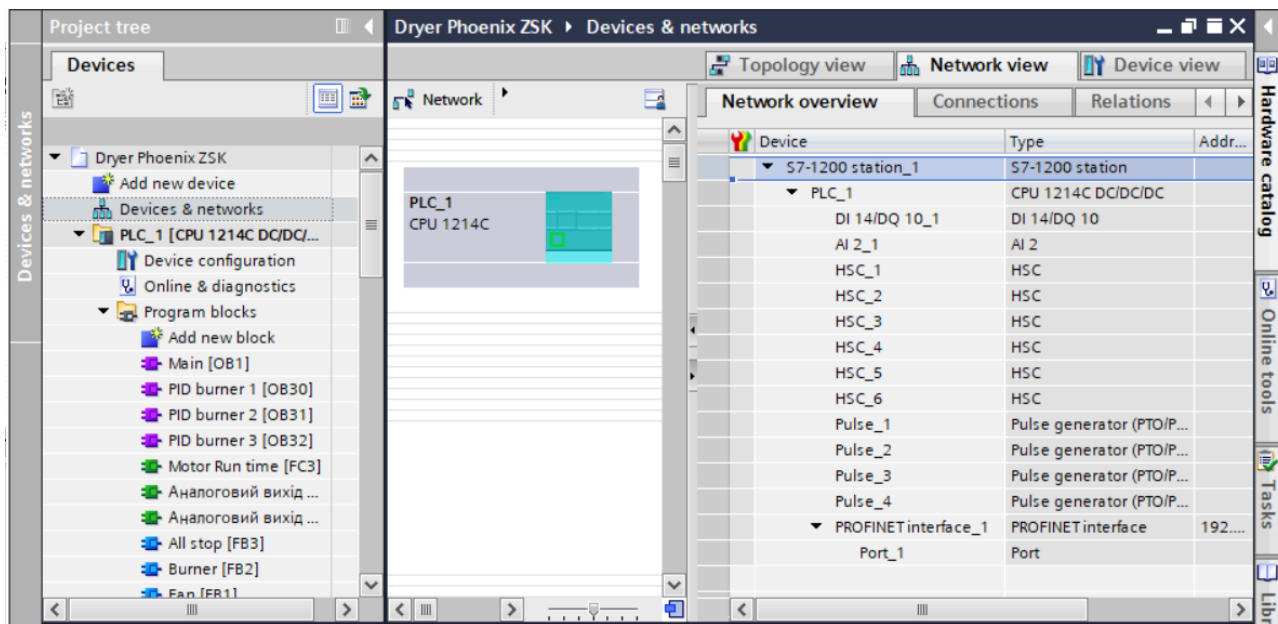


Рисунок 3.21 – Конфігурація PLC S7-1214C DC/DC/DC

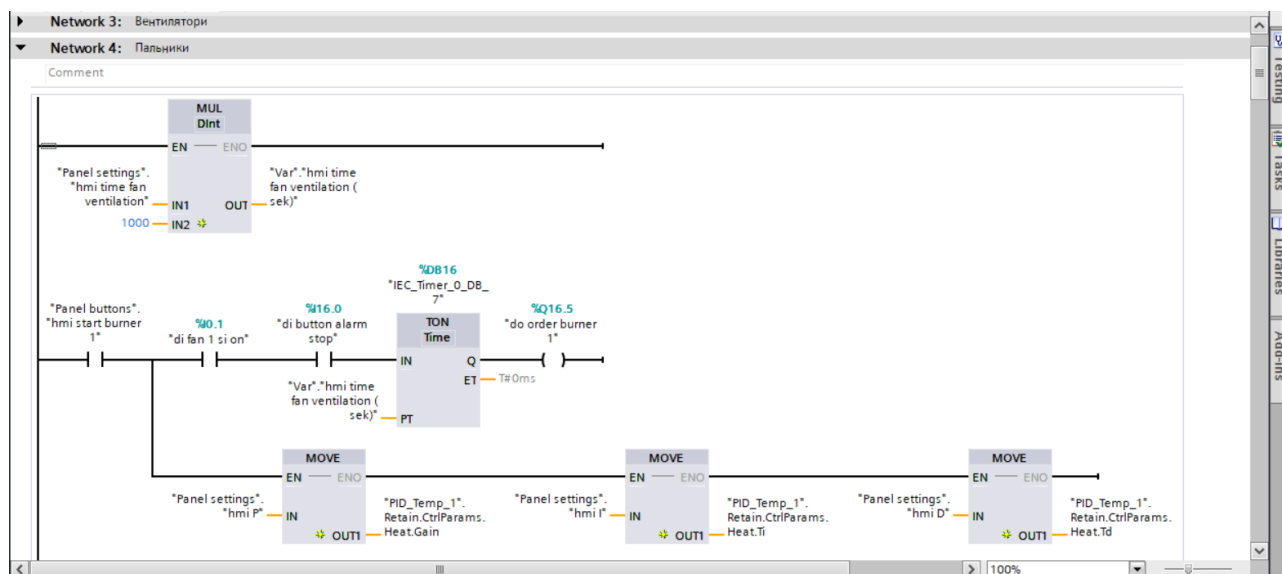


Рисунок 3.22 – Фрагмент програми керування пальниками сушарки

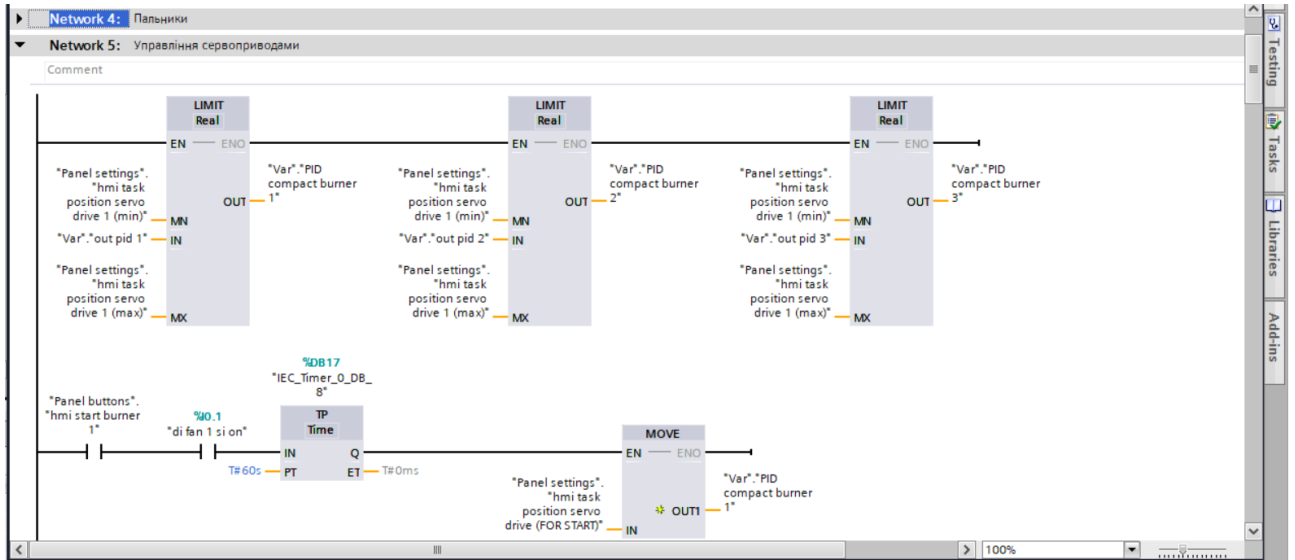


Рисунок 3.23 – Фрагмент програми керування сервоприводами пальників сушарки

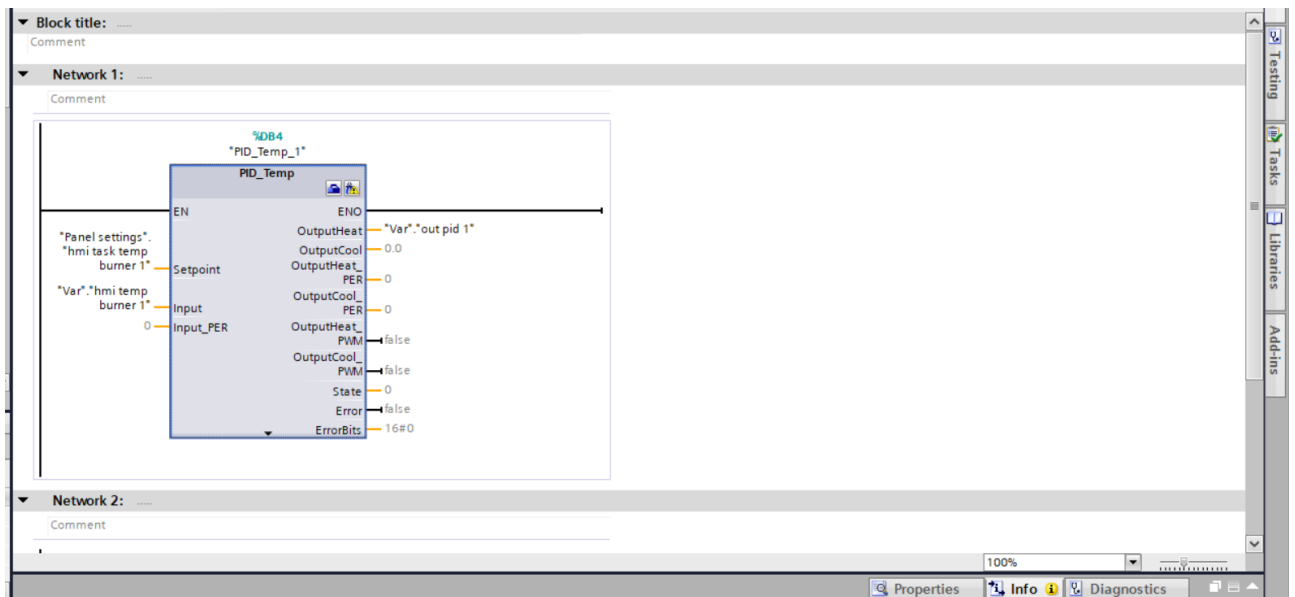


Рисунок 3.24 – Фрагмент програми керування (ПІД-регулятор) сервопривода пальника сушарки

В цілому проект містить 71 тег.

Програмування панелі керування WEINTEK MT8121XE виконано в середовищі EasyBuilder Pro.

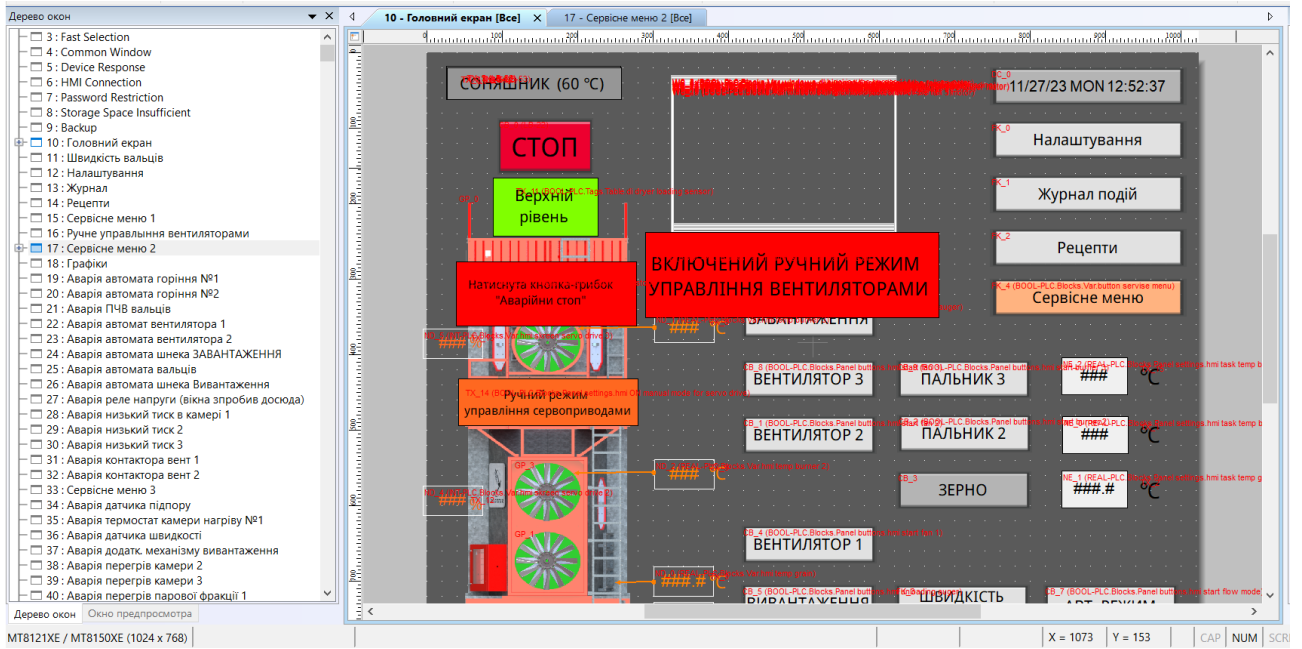


Рисунок 3.25 – Загальна структура проекту. Головне вікно

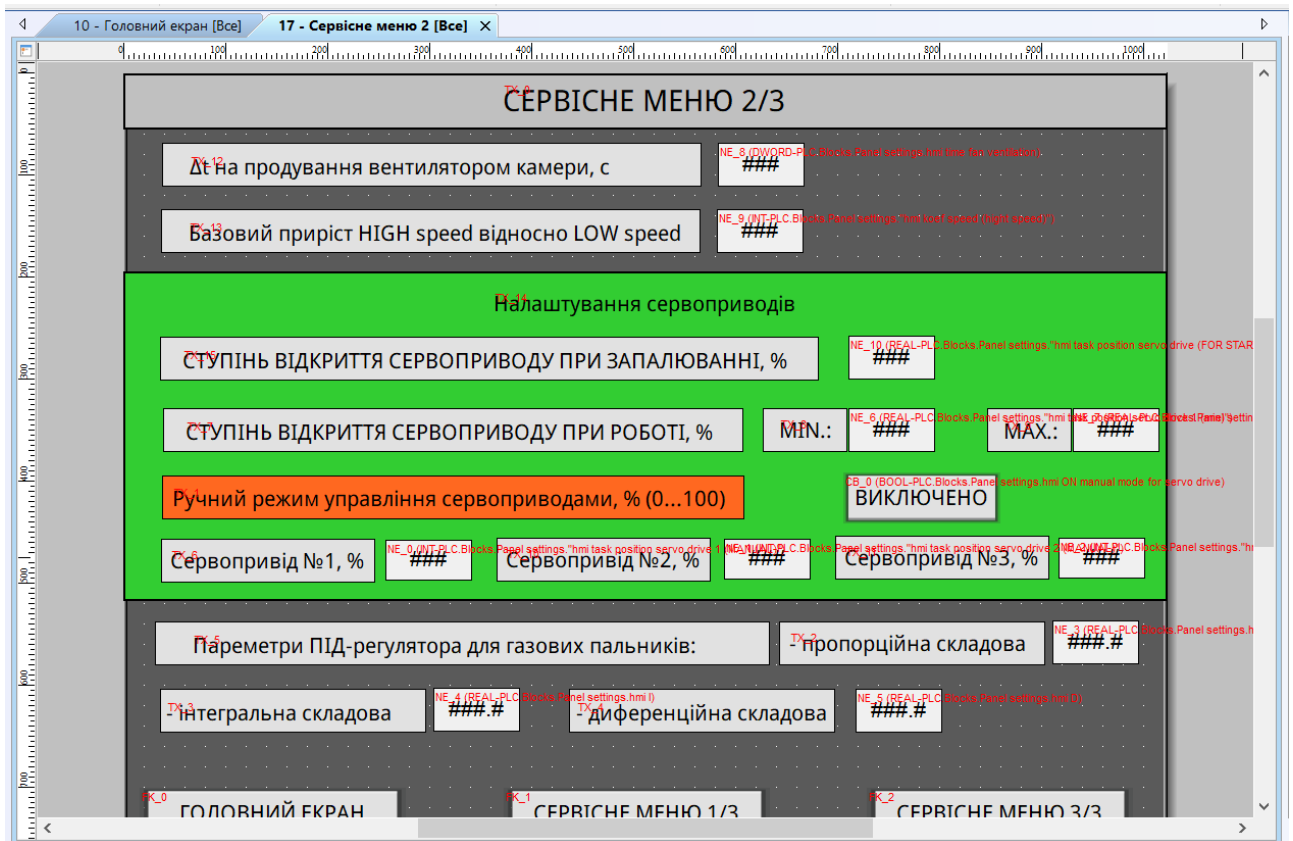


Рисунок 3.26 – Сервісне меню для налаштування параметрів ПІД-регулятора сервопривода пальника сушарки



**Висновок:** Для пальника сушарки може використовуватись система подачі газу із модуляційним та ступінчастим регулюванням. Кращими показниками характеризується варіант з модуляційним регулюванням, тому для даного варіанту розроблено функціональну схему системи керування, вибрано основне обладнання для її реалізації, розроблено контролерну частину та НМІ-інтерфейс.

## 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 4.1 Виконаний монтаж

Відповідно до прийнятих проектних рішень реалізовано систему керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03 та перевірено їх коректність в реальних умовах експлуатації.

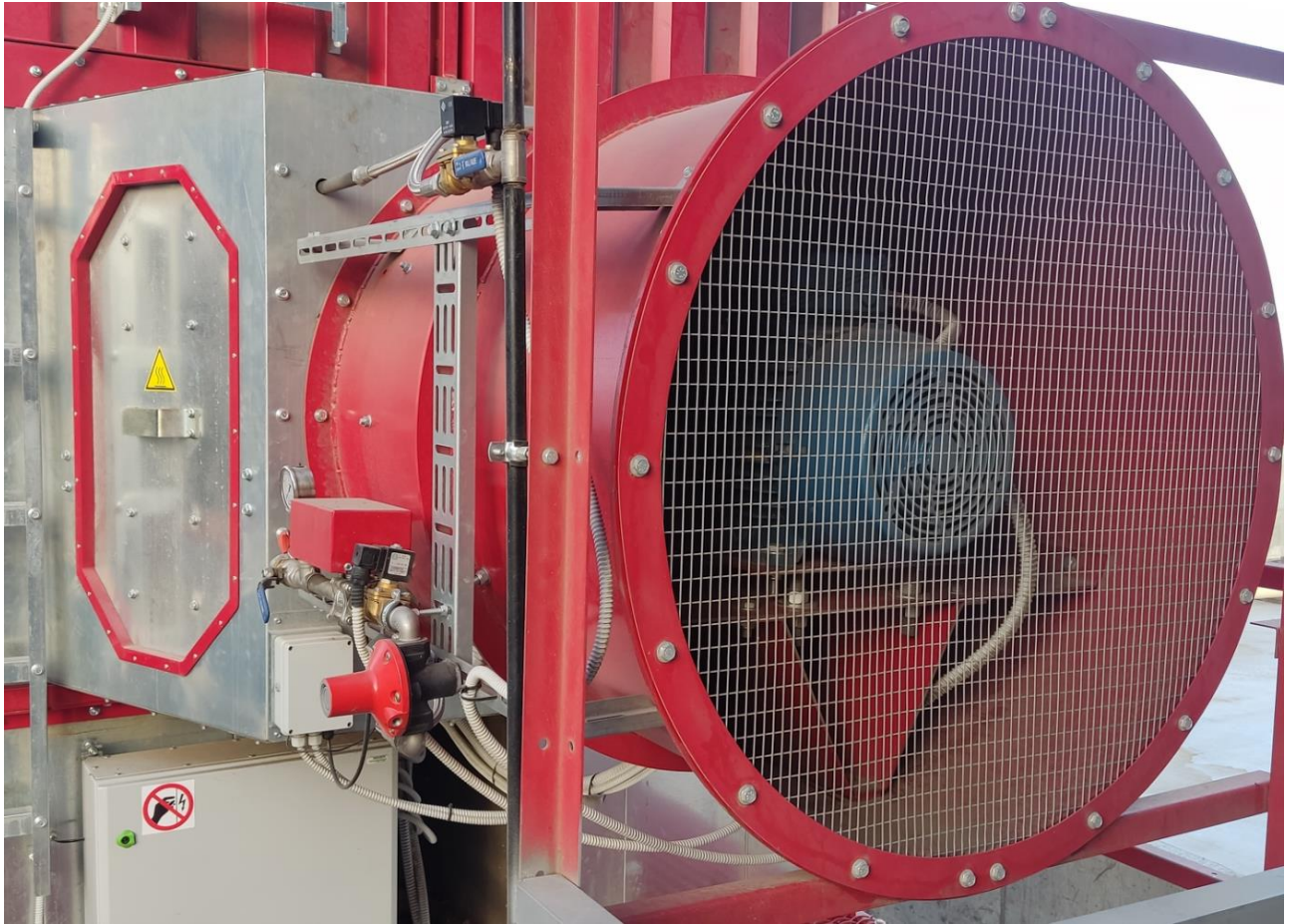


Рисунок 4.1 – Модуль №2 зерносушарки (вентилятор пальника)

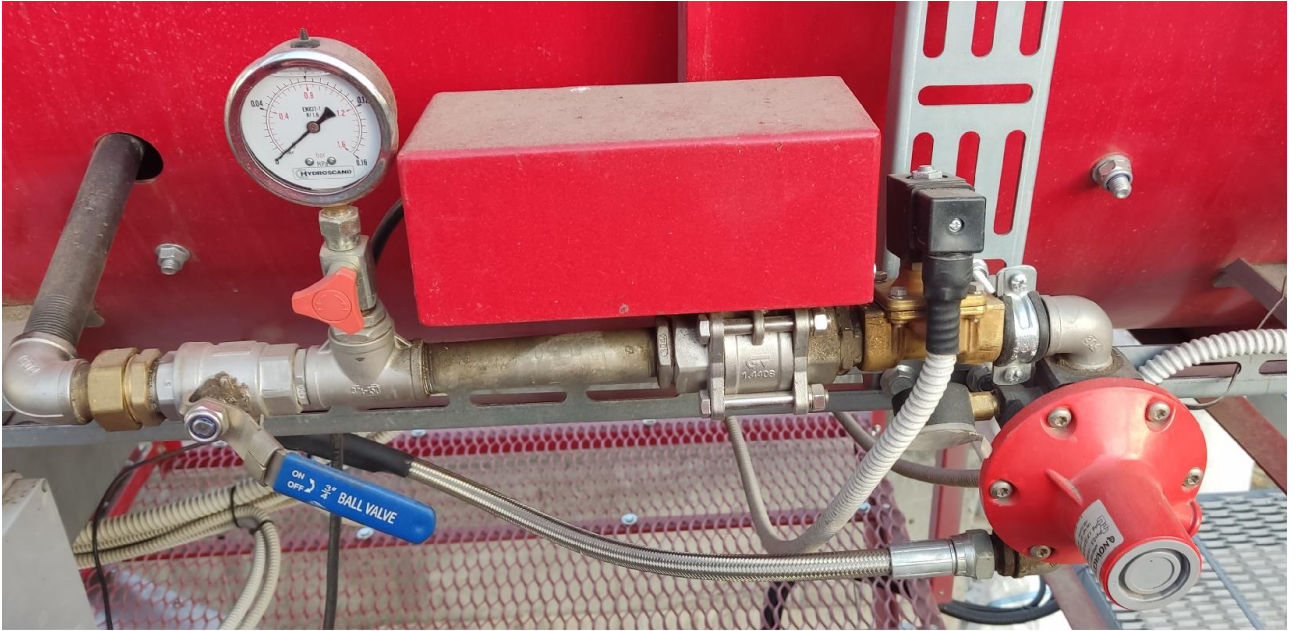


Рисунок 4.2 – Регуляторна група (регулятор тиску, електрична клапани, сервопривод крана подачі газу)





Рисунок 4.3 – Щит керування зерносушарки (контролер)

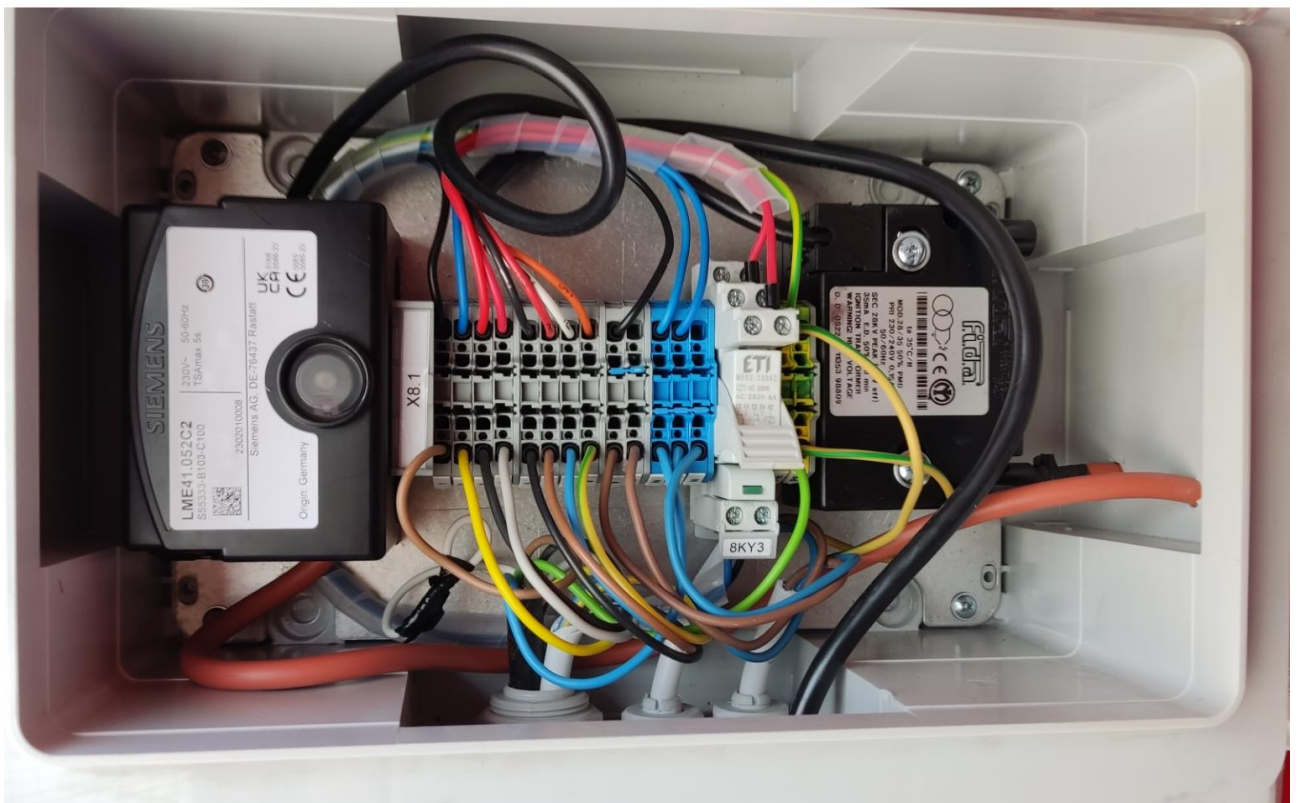


Рисунок 4.4 – Блок керування пальником

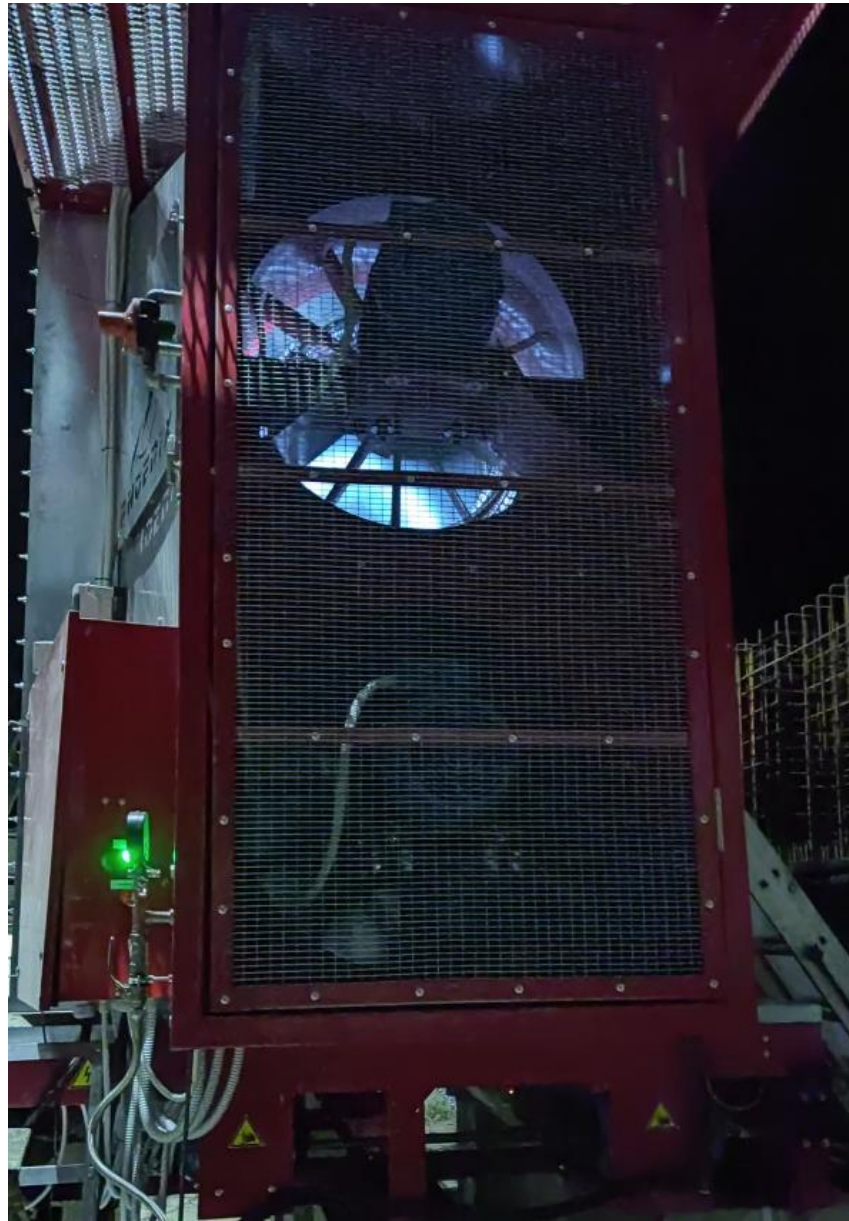


Рисунок 4.5 – Робота пальника

#### **4.2 Налаштування параметрів ПД-регулятора сервопривода крану подачі газу**

Налаштування параметрів ПД-регулятора сервопривода крану подачі газу пальника здійснювалось емпіричним шляхом.

На рисунках 4.6 – 4.8 наведено графіки перехідних процесів зміни температури в камері сушарки та керуючого сигналу сервопривода крану подачі газу при різних налаштуваннях ПД-регулятора.

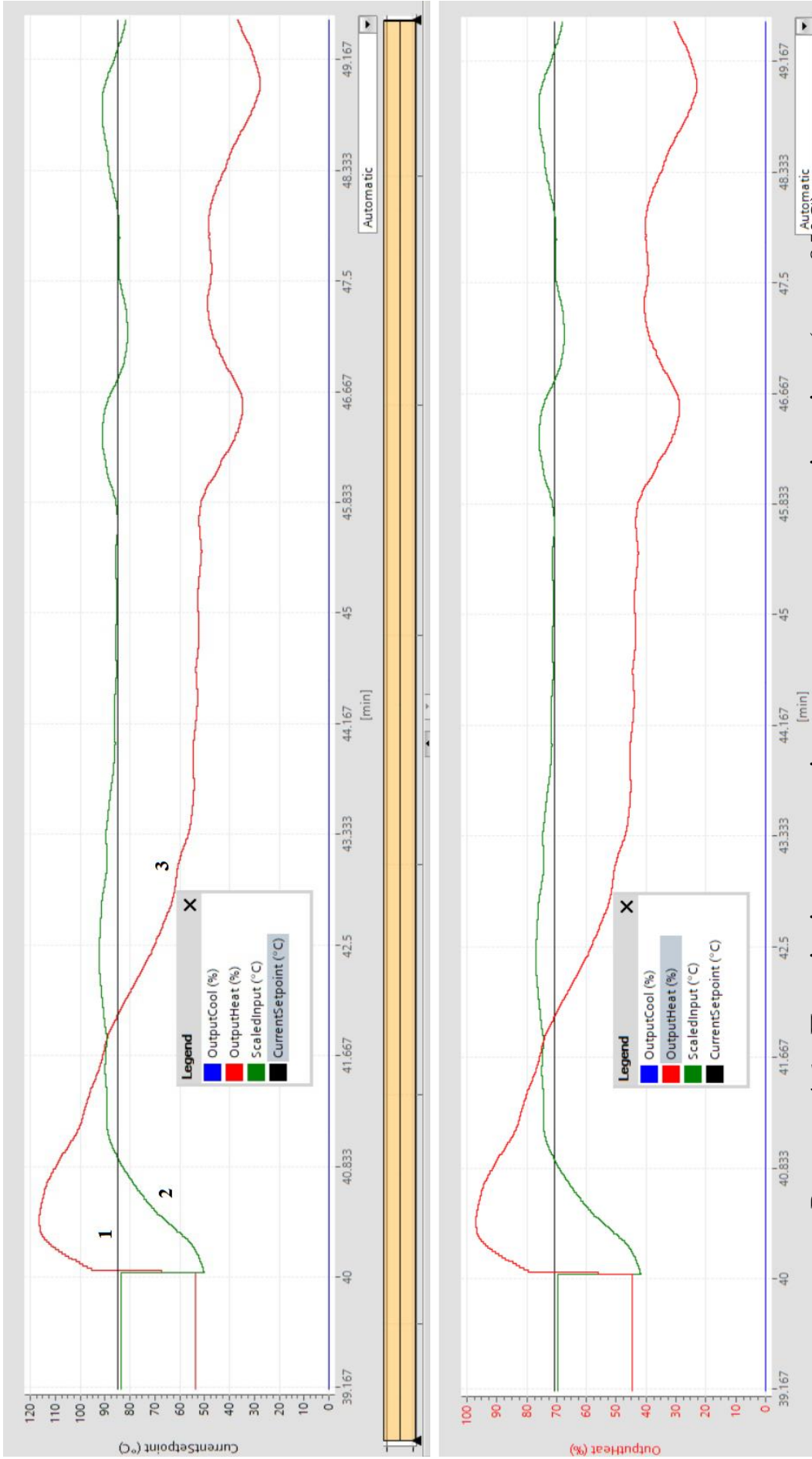


Рисунок 4.6 – Перехідні процеси зміни температури в камері сушіння (пуск, 85°C)

ПІД-регулятор: P=1; I=20; D=0

1 – задана температура, °C; 2 – фактична температура, °C; 3 – керуюча дія, %



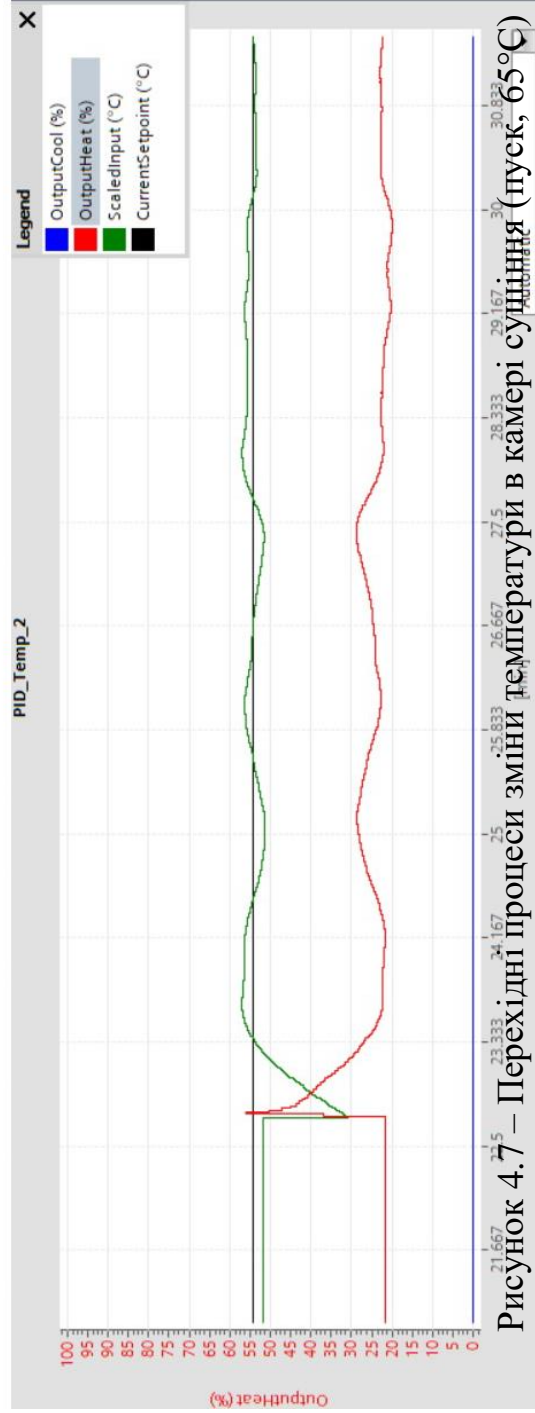
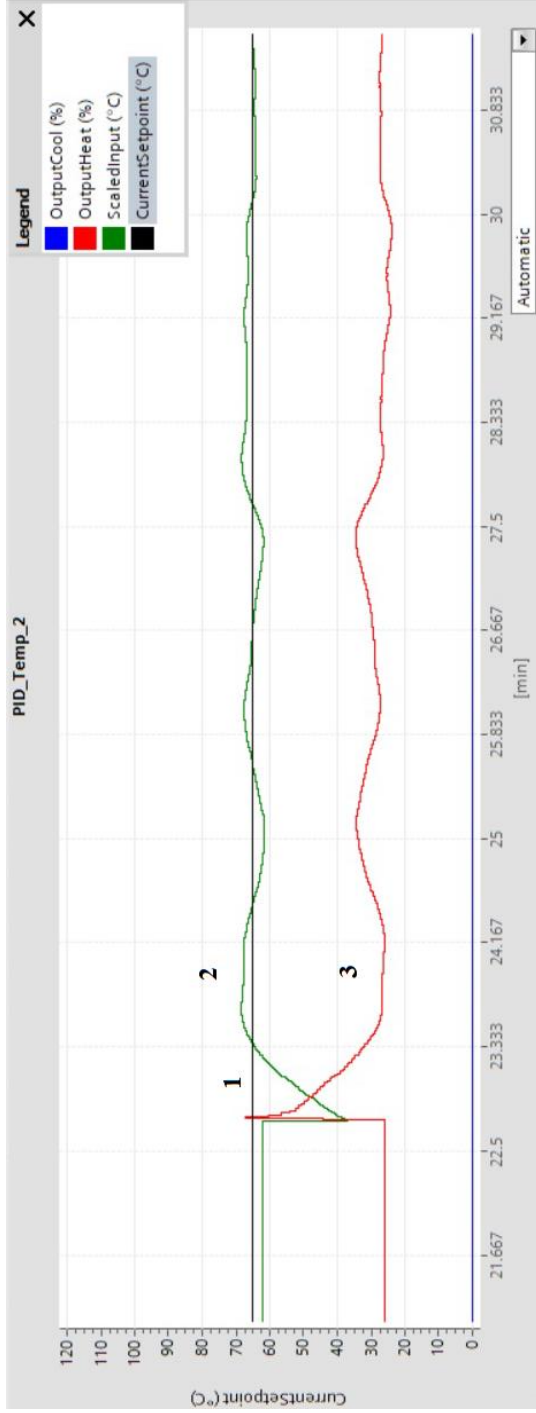


Рисунок 4.7 – Перехідні процеси зміни температури в камері сушіння (пуск, 65°C)

ПІД-регулятор: P=1; I=60; D=1

1 – задана температура, °C; 2 – фактична температура, °C; 3 – керуюча дія, %



Рисунок 4.8 – Перехідні процеси зміни температури в камері сушіння (зміна темп. з 50°C на 60°C)

ПІД-регулятор:  $P=1$ ;  $I=40$ ;  $D=2$

1 – задана температура, °C; 2 – фактична температура, °C; 3 – керуюча дія, %

**Висновок:** Виконано монтаж розробленої системи керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Коректність її роботи перевірено в реальних умовах.

Аналіз отриманих графічних залежностей дозволяє зробити висновок, що система найбільш точно підтримує і стабілізує температуру в камері сушарки при таких параметрах налаштування ПІД-регулятора сервопривода крана подачі газу пальника сушарки:

- 1) пропорційна складова:  $P = 1$ ;
- 2) інтегральна складова:  $I = 40$ ;
- 3) диференційна складова:  $D = 2$ .

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В рамках даної магістерської кваліфікаційної роботи розроблено систему керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03.

Оскільки замовник залучає власні кошти для реалізації технічного рішення зі створення системи керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03, то розрахуємо сумарні витрати на реалізацію та обслуговування даної системи.

### 5.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення включають в себе всі одноразові витрати: відпускну ціну нової техніки, затрати на її транспортування, монтаж і наладку, затрати на демонтаж старого обладнання тощо.

Складемо калькуляцію собівартості готового виробу в промислових умовах.

В таблиці 5.1 приведено розрахунок відповідних капітальних вкладень на реалізацію системи керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03.

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати на електроустаткування [6-12; 21-28]

| Найменування обладнання  | Кошторисна вартість, грн. |
|--|---------------------------|
| Вартість системи електричного привода вентилятора пальника:    |                           |
| 1) приводний двигун WEG 160L-04                                | 54875                     |
| 2) силовий перетворювач (ATS01N232QN) та комутаційна апаратура | 16347                     |
| Контролер S7-1214C DC/DC/DC                                    | 15711                     |
| Модулі розширення модуля:                                      |                           |
| SM 1231 RTD  | 13508                     |
| SM 1232  | 21240                     |

Продовження таблиці 5.1

| Найменування обладнання   | Кошторисна вартість, грн. |
|---|---------------------------|
| Блок живлення:<br>Mean Well, NDR-120-24, 120W DC24V             | 1240                      |
| Mean Well, HDR-30-24, 36W 24V                                   | 630                       |
| Панель WEINTEK – MT8121XE                                       | 34200                     |
| Електромагнітний клапан ODE 21H8KB120                           | 2275x2=4550               |
| Сервопривод Belimo NM24AX-SR                                    | 7477                      |
| Автомат горіння LME 41.052 C2 Siemens                           | 3453                      |
| Трансформатор розпалу Fida 28/35 50% PMD<br>230В, LAR.J         | 2223                      |
| Захисний термостат перегріву камери<br>MMG 250°C                | 490                       |
| Захисний термостат перегріву парової фракції<br>Thermowatt 90°C | 302                       |
| Датчик температури Pt100  | 280                       |
| Датчик тиску Dungs LGW 10A2                                     | 2988                      |
| Релейна апаратура, монтажна оснастка тощо                       | 15500                     |
| Всього  | 195014                    |
| Витрати на транспортування (10%)                                | 19501,4                   |
| Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)                        | 19501,4                   |
| Всього капітальні вкладення К, грн                              | 234016,8                  |

Отже, капітальні вкладення становлять  $K = 234016,8$  грн.

## 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік [29].

Експлуатаційні витрати  $C$  включають [29]:

- 1) амортизаційні відрахування  $C_a$  ;
- 2) заробітна плата  $C_z$  обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
- 3) витрати на силову електроенергію  $C_e$  ;
- 4) витрати на поточний ремонт  $C_{пр}$  ;
- 5) інші витрати  $C_{ін}$  :

$$C = C_a + C_z + C_e + C_{пр} + C_{ін}, \quad (5.1)$$

### 5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10% в рік) [29]:

$$C_a = 0,1 \cdot K. \quad (5.2)$$

$$C_a = 0,1 \cdot 234016,8 = 23401,68 \text{ (грн/рік)}.$$

### 5.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці [29].



Таблиця 5.2 – Тарифна сітка погодинників

|                     |   |     |     |      |      |     |
|---------------------|---|-----|-----|------|------|-----|
| Тарифні розряди     | I | II  | III | IV   | V    | VI  |
| Тарифні коефіцієнти | 1 | 1,5 | 1,8 | 2,03 | 2,33 | 2,7 |

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою [29]:

$$C_z = C_{zo} + C_{зд} + C_{зн}, \quad (5.3)$$

де  $C_{zo}$  – основна заробітна плата по тарифу, грн/рік;

$C_{зд}$  – додаткова заробітна плата, грн/рік.

$C_{зн}$  – нарахування на заробітну плату, грн/рік.

Основна заробітна плата по тарифу:

$$C_{zo} = N \cdot T_1 \cdot k \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_c \cdot \beta, \quad (5.4)$$

де  $N$  – кількість робітників, що обслуговують установку ( $N = 1$  чол);

$T_1$  – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ( $T_1 = 40$  грн/год);

$k$  – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ( $k = 2,33$ );

$\Phi_{\text{еф}}$  – ефективний фонд часу обслуговування пальника зерносушарки (згідно техніко-економічного обґрунтування  $\Phi_{\text{еф}} = 60$  днів  $\cdot$  0,5 год = 30 год/рік);

$K_c$  – коефіцієнт співвідношень, встановлений генеральною угодою між профспілками і урядом ( $K_c = 1$ );

$\beta$  – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ( $\beta = 1$ ),

$$C_{zo} = 1 \cdot 40 \cdot 2,33 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 1 = 2796 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткова заробітна плата  $C_{зд}$  становить 10% від основної заробітної плати.

$$C_{зд} = 0,1 \cdot C_{zo}, \quad (5.5)$$

$$C_{зд} = 0,1 \cdot 2796 = 279,6 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

| Показник   | Сума    |
|--|---------|
| Основна заробітна плата $C_{зо}$ , грн/рік   | 2796    |
| Додаткова заробітна плата $C_{зд}$ , грн/рік   | 279,6   |
| Разом основна і додаткова заробітна плата<br>( $C_{зо}+C_{зд}$ ), грн/рік              | 3075,6  |
| Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне<br>страхування (22%) $C_{зн}$ , грн/рік | 676,63  |
| Всього нарахування, грн/рік  | 3752,23 |

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу згідно (5.3):

$$C_3 = 2796 + 279,6 + 676,63 = 3752,23 \text{ (грн/рік)}.$$

### 5.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на споживану електроенергію [29]:

$$C_e = \frac{P}{\eta} \cdot \Phi \cdot K_3 \cdot B, \quad (5.6)$$

де  $P$  – установлена потужність вентилятора пальника та системи керування пальником ( $P = 15 + 0,5 = 15,5$  кВт);

$\eta$  – ККД привода вентилятора пальника ( $\eta = \eta_{дв.н} \cdot \eta_{пч} = 0,889 \cdot 0,98 = 0,87$ );

$\Phi$  – дійсний фонд часу роботи електропривода вентилятора пальника за рік (згідно техніко-економічного обґрунтування  $\Phi = 1440$  год/рік);

$K_3$  – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю) (приймаємо  $K_3 = 0,8$ );

$B$  – вартість електроенергії ( $c = 6,493$  грн/(кВт·год) [13]),

$$C_e = \frac{15,5}{0,87} \cdot 1440 \cdot 0,8 \cdot 6,493 = 133076,61 \text{ (грн/рік)}.$$

### 5.1.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою, силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 5.4), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

При складанні графіка слід врахувати, що зерносушарка експлуатується лише два місяці на рік (жовтень, листопад) Зазвичай в цей період проводиться лише огляд та профілактичне обслуговування. Перед початком сезону (зазвичай в період з серпня по вересень) проводиться планове сервісне обслуговування та ремонт.

Таблиця 5.4 – Графік ремонтів

| Найменування обладнання | Види ремонтів по місяцях |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | Трудомісткість, люд·год |
|-------------------------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------------------------|
|                         | 1                        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |                         |
| Система керування       |                          |   |   |   |   |   |   | 8 |   | 2  | 2  |    | 12                      |
| Двигун                  |                          |   |   |   |   |   |   | 8 |   | 2  | 2  |    | 12                      |
| Кабельна мережа         |                          |   |   |   |   |   |   | 5 |   | 1  | 1  |    | 7                       |
| Апарати захисту         |                          |   |   |   |   |   |   | 4 |   | 2  | 2  |    | 8                       |
| Сенсори                 |                          |   |   |   |   |   |   | 5 |   | 2  | 2  |    | 9                       |
| Загальна трудомісткість |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | 48 |                         |

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер п'ятого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт (таблиця 5.4), основну заробітну плату розраховуємо за формулою [29]:

$$C_{з\ по} = T_1 \cdot k \cdot \Phi_{рем}, \quad (5.7)$$

де  $k$  – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ( $k = 2,33$ )

$\Phi_{рем}$  – трудомісткість ремонтних робіт ( $\Phi_{рем} = 48$  год/рік,

$$C_{з\ по} = 40 \cdot 2,33 \cdot 48 = 4566,8 \text{ (грн/рік)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$C_{з\ пн} = 0,22 \cdot C_{з\ по}, \quad (5.8)$$

$$C_{з\ пн} = 0,22 \cdot 4566,8 = 1004,7 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять [29]:

$$C_{з\ пр} = C_{з\ по} + C_{з\ пн}, \quad (5.9)$$

$$C_{з\ пр} = 4566,8 + 1004,7 = 5571,5 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати [29]:

$$C_{м\ пр} = 0,15 \cdot C_{з\ по}, \quad (5.10)$$

$$C_{м\ пр} = 0,15 \cdot 4566,8 = 685,02 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять [29]:

$$C_{пр} = C_{з\ пр} + C_{м\ пр}. \quad (5.11)$$

$$C_{пр} = 5571,5 + 685,02 = 6256,52 \text{ (грн/рік)}.$$

## 5.2 Інші витрати

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати [29]:

$$C_{\text{ін}} = 0,05 \cdot (C_a + C_3 + C_e + C_{\text{пр}}), \quad (5.12)$$

$$C_{\text{ін}} = 0,05 \cdot (23401,68 + 3752,23 + 133076,61 + 6256,52) = 8324,35 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Експлуатаційні витрати, грн/рік

| Найменування витрат                            | Сума      |
|--|-----------|
| Амортизаційні відрахування $C_a$               | 23401,68  |
| Заробітна плата $C_3$ обслуговуючого персоналу | 3752,23   |
| Витрати на електроенергію $C_e$                | 133076,61 |
| Витрати на поточний ремонт $C_{\text{пр}}$     | 6256,53   |
| Інші витрати $C_{\text{ін}}$                   | 8324,35   |
| Всього експлуатаційні витрати $C$              | 174811,39 |

**Висновок.** Розраховано капітальні вкладення для побудови системи керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Розраховано основну заробітну плату, витрати на електроенергію, витрати на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток даної системи не розраховувався, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах, які становлять 174811,39 грн/рік.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

У цьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації системи керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03. На електротехнічний технологічний персонал, який здійснює обслуговування електрообладнання даного об'єкта, впливають наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори [30, 31].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.



## **6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту**

### **6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах**

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень [33, 34]. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає вимогам з урахуванням показників пожежо- вибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон).

Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонок не менше IP44.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектною організацією і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу.

При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно з [33, 34] (як для пересувних механізмів).

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення іззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування електронагрівальних приладів.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того, від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо

перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

### **6.1.2 Електробезпека**

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустановки, необхідно:

– розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

– використовувати засоби орієнтації в електроустановці - написи, таблички, попереджувальні знаки;

– підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату

наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;

- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

– використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

## 6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 6.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони [35]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Нормування параметрів мікроклімату

| Період року | Категорія робіт | Температура, °С | Відносна вологість | Швидкість руху |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|
| Теплий      | Iб              | 22-28           | 55 при 28°С        | 0,1-0,2        |
| Холодний    | Iб              | 21-25           | 75 при 25°С        | Не більше 0,1  |

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [36]:

– в холодну пору року використання калорифера;

- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

### 6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [35]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

| Назва речовини  | ГДК, мг/м <sup>3</sup> |                    | Клас небезпечності |
|-----------------|------------------------|--------------------|--------------------|
|                 | Максимально<br>разова  | Середньо<br>добова |                    |
| Пил нетоксичний | 0.5                    | 0.15               | 4                  |

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [36]:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

### 6.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [37] розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г».



Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

| Х-ка зорової роботи | Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм | Розряд зорової роботи | Під-розряд зорової роботи | Контраст об'єкта з фоном | Х-ка фону                | Штучне при системі комбінованого освітлення |                        | Природне Ен пр | Сумісне Е сум |
|---------------------|--|-----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---|------------------------|----------------|---------------|
|                     |  |                       |                           |                          |                          | всього                                      | у т. ч. від загального |                |               |
| Середньої точності  | Від 0,5 до 1,0 включно                                     | IV                    | г                         | середній великий великий | світлий світлий середній | -   | 200                    | 4              | 2,4           |

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

### 6.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом [38], який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4 – Рівень звукового тиску

| Характер робіт                                  | Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      |
|---|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|   | 32   | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Постійні робочі місця в промислових приміщеннях | 107  | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   |

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні. Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

### 6.2.5 Виробничі вібрації

Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [39] і наведені в таблиці 6.5.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

| Вид вібрації   | Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц |                   |                   |                  |                  |                  |     |     |     |      |
|--|--|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|-----|------|
|  | 2  | 4                 | 8                 | 16               | 31,5             | 63               | 125 | 250 | 500 | 1000 |
| Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях | $\frac{1,3}{108}$                                  | $\frac{0,45}{99}$ | $\frac{0,22}{93}$ | $\frac{0,2}{92}$ | $\frac{0,2}{92}$ | $\frac{0,2}{92}$ | -   | -   | -   | -    |

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с  $10^{-2}$ , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

### 6.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [30]. Робота монтажника будівельних конструкцій потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кГ/м) – до 290; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кГ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні ( за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса

вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кг – до 30 кг; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаємне розташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

## 2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій); сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів; обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання; робота в умовах дефіциту часу.

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) – 51-75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – 151-300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстра тощо).

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – двозмінна (без нічної зміни).

### **6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи системи керування пальником зерносушарки в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

В умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій, потрібно виділити найважливіші та найбільш імовірні на сучасність загрозливі чинники. Територія Вінницької області, є сприятливою в питанні природних загрозливих чинників, як наприклад: землетруси; повені; лавини та інші.

Якщо говорити про технологічні загрозливі чинники, то у Вінницькій області, не має своїх атомних станцій, або ж великих хімічних заводів, що робить цю область сприятливою і безпечною і в цьому плані також. Самими близьким небезпечним технологічним загрозливим чинником для території Вінницької області, була і є ЧАЕС.

Тому, слід вважати, також загрозливі чинники в умовах військових дій. Ця надзвичайна ситуація є гострою, особливо в теперішні дні. Найбільш поширені небезпечні ситуації пов'язані з військовими діями, на території Вінницької області, можуть бути: авіаудари, ЕМІ бомби, радіаційне зараження, пов'язане з вибухом ядерної зброї, або пошкодженням деякої АЕС та інші

З всього сказано, найбільш вірогідними є застосування ЕМІ, або поширення радіаційного зараження. Адже при ракетній небезпеці, усьому персоналу потрібно покинути небезпечну територію та пройти в укриття.

#### **6.3.1 Дослідження безпеки роботи системи керування пальником зерносушарки в умовах дії іонізуючого випромінювання**

Для дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії іонізуючих випромінювань, використовують поняття граничного рівня радіації,  $P_{гр}$  (Р/год), при яких система буде працювати стабільно.

Для цього, потрібно дослідити, які граничні рівні дози опромінення,  $P_{гр}$ , має кожен елемент системи. Дані граничних доз опромінення кожного елемента наведені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Граничні значення дози опромінення системи керування пальником зерносушарки

| Елементи системи електричного приводу |             | $P_{гр.i}$ , Р/год | $P_{гр}$ , Р/год |
|---------------------------------------|-------------|--------------------|------------------|
| БК                                    | Акумулятор  | $10^9$             | $10^4$           |
|                                       | Транзистори | $10^4$             |                  |
| МК                                    | Мікросхема  | $10^4$             | $10^4$           |
|                                       | АЦП         | $10^4$             |                  |
|                                       | ЦАП         | $10^4$             |                  |

Так, аналізуючи таблицю 6.6, мінімальне значення граничної дози опромінення, становитиме  $P=10^4$ .

Оцінюючи безпеку роботи системи керування пальником зерносушарки, потрібно визначити граничне значення потужності дози опромінення, за:

$$P_{гр} = K \cdot P_{\min} \cdot K_{осл}, \quad (6.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт надійності ( $K = 0,9 \div 0,95$ );

$K_{осл}$  – коефіцієнт послаблення радіації (приймається рівним  $K_{осл} = 2$ , оскільки система керування зерносушарки знаходиться в закритому щитовому приміщенні),

$$P_{гр} = 0,92 \cdot 10^4 \cdot 2 = 18400 \text{ (Р/год.)}.$$

Отже, система буде працювати стабільно, якщо доза опромінення не буде перевищувати граничного значення в  $P_{гр}=18400$  Р/год.

Розрахуємо допустимий час роботи системи керування пальником зерносушарки в умовах дії іонізуючого випромінювань, за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_{гр} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{п}})}{K_{осл}}, \quad (6.2)$$

де  $t_{п}$  – час з початку опромінення ( $t_{п} = 1$  год);

$D_M$  – можлива доза опромінення ( $D_M = 10^4$  Р).

Відповідно, за формулою (6.2), можна визначити максимальний час перебування системи керування пальником зерносушарки під дією іонізуючого випромінювання:

$$t_d = \left( \frac{D_M \cdot K_{осл}}{2 \cdot P_{гр}} + \sqrt{t_{п}} \right)^2, \quad (6.3)$$

$$t_d = \left( \frac{10^4 \cdot 2}{2 \cdot 18400} + \sqrt{1} \right)^2 = 2,38 \text{ (год)}.$$

Отже, за розрахунками, при дозі опромінення в  $10^4$ , система буде працювати безпечно тільки 2 години, що є небезпечно. Але разом з тим, потрібно розуміти, що доза опромінення в  $10^4$  – це досить велике значення, для цього параметра, тому при розрахунку меншої дози опромінення, як наприклад  $10^3$ , система буде працювати стабільно й безпечно, досить довгий час.

### **6.3.2 Дослідження безпеки роботи системи керування пальником зерносушарки в умовах дії електромагнітного імпульсу**

Пальник зерносушарки знаходиться екранований по всьому об'єму, що правда з однієї сторони цей екран решітчастий, але навіть решітчастий екран, захищає від електромагнітного імпульсу (ЕМІ), так само, як і повний екран.

Розрахуємо перехідне гасіння енергії електричного поля сталевим екраном, за формулою:

$$A = 5,2 \cdot d \cdot \sqrt{f}, \quad (6.4)$$

де  $d$  – товщина стінки екрана ( $d = 2$  см);



$f$  – максимальна частота ЕМІ ( $f = 15000$  Гц).

$$A = 5,2 \cdot 2 \cdot \sqrt{15000} = 1273 \text{ (дБ)}.$$

Також, за (6.4), розрахуємо перехідне гасіння енергії електричного поля в щитовій, де знаходяться усі системи керування та блоки пам'яті. Для щитової, застосовується стальний екран, товщиною  $d = 1$  см, тому:

$$A_{\text{щ}} = 5,2 \cdot 1 \cdot \sqrt{15000} = 636,9 \text{ (дБ)}.$$

Живлення системи здійснюється мережею 380 В змінної напруги, та 24 В – постійної напруги. В незалежності від сили електромагнітного імпульсу, основні блоки системи будуть працювати, адже задля безпеки, використовуються плавкі запобіжники.

Отже, єдиною уразливою ділянкою при ЕМ, є провідні кабелі, які йдуть від щитової, до живлення та керування електроприводом пальника зерносушарки. Нажаль на даний час, забезпечити безпечність, за рахунок встановлення в заземлений короб, є неможливим.

Розрахуємо, на яку напруженість ЕМІ, витримують кабелі з щитової. Візьмемо лише провідники для живлення двигунів, тобто мережею 380 В.

Так, допустима напруга коливання для мережі 380 В, становить 5%, тому:

$$U_{\text{доп}} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В)}.$$

Тоді, за формулою можна визначити напруженість електромагнітного імпульсу, враховуючи, що коефіцієнт безпеки не має бути меншим за 40 дБ:

$$K_B = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\text{ЕМІ}}} \right), \quad (6.5)$$

де  $U_{\text{ЕМІ}}$  – напруга, яка викликана ЕМІ, по горизонтальній та вертикальних струмоведучих осях.

З формули (6.5), можна знайти, що напруга ЕМІ, буде становити 3,99В, при коефіцієнту безпеки 40 дБ. Розрахуємо напруженість по горизонтальній осі електромагнітного імпульсу:

$$U_{\text{ЕМІ.Г}} = E_{\text{Г}} \cdot L_{\text{Г}}, \quad (6.6)$$

де  $E_{\text{Г}}$  – напруженість ЕМІ по горизонтальній осі;

$L_{\text{Г}}$  – довжина горизонтальної струмоведучої частини ЕМІ ( $L_{\text{Г}} = 1,5$  м).

$$E_{\text{Г}} = \frac{3,99}{1,5} = 2,66 \text{ (В/м)}.$$

Відповідно, по вертикальній осі напруженість поля ЕМІ, буде в  $10^3$  більшим, та становитиме

$$E_{\text{В}} = 2,66 \text{ (кВ/м)}.$$

Отже, якщо напруженість ЕМІ, не буде перевищувати 2,66 кВ/м, то система буде працювати безпечно, якщо ж це значення буде перевищено, провідники з щитку до двигунів пальників, можуть згоріти, або виникнути коротке замикання. Але, як вже було сказано, в системі керування пальником зерносушарки, використовуються плавкі запобіжники.

Оскільки, система керування пальником зерносушарки, та сам пальник зерносушарки, в результаті дослідження, виявився безпечним, то заходів по підвищенню стійкості можна навести тільки в вигляді загальних, як наприклад:

- Встановлення грозозахисного обладнання;
- Забезпечити безпеку провідників від ЕМІ, за рахунок встановлення їх в короб що заземлений;
- Використання більше захисних пристроїв, як термічний запобіжник, або запобіжник по струму, тощо.

Отже, при іонізованому випроміненні в  $10^4$  Р, система буде працювати 2,38 години, що є небезпечно для виробництва. З іншої сторони, потрібно розуміти, що доза випромінювання зазвичай становить не більше  $10^3$  Р, тому

при таких дозах, система може працювати безпечно та стабільно довгий період часу.

За розрахунками, для провідників, які не захищені, небезпечною буде ЕМІ величиною електромагнітної напруженості більше 2,66 кВ/м. Якщо ЕМІ буде менше цього значення, то система буде працювати безпечно. Для підвищення безпеки рекомендується використовувати заземлений короб для провідників.

**Висновок.** В даному розділі, було обґрунтовано, та висвітлено основи по охороні праці зерносушарки та дію шкідливих чинників в надзвичайних ситуація іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу на систему керування пальником зерносушарки.

## ВИСНОВКИ

1. Здійснено загальну характеристику зерносушарки Phoenix ЗСК-03, розглянуто її конструктивні особливості та режими роботи. Виконано постановку задачі дослідження.

2. Виконано перевірочний розрахунок потужності приводного двигуна вентилятора пальника зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Базуючись на критерії приведених витрат обґрунтовано використання для привода вентилятора пальника системи плавного пуску. Вибрано елементну базу електропривода вентилятора пальника: приводний асинхронний двигуна з КЗ ротором типу WEG w22 типу 160L-04 з номінальною потужністю 15 кВт та пристрій плавного пуску ATS01N232QN фірми Schneider Electric. Проведено моделювання роботи електропривода в Matlab Simulink та отримано графіки перехідних процесів при пуску привода вентилятора пальника.

3. Для пальника сушарки може використовуватись система подачі газу із модуляційним та ступінчастим регулюванням. Кращими показниками характеризується варіант з модуляційним регулюванням, тому для даного варіанту розроблено функціональну схему системи керування, вибрано основне обладнання для її реалізації, розроблено контролерну частину та НМІ-інтерфейс.

4. Виконано монтаж розробленої системи керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Коректність її роботи перевірено в реальних умовах. Отримано графіки перехідних процесів зміни температури в камері сушарки при різних параметрах налаштування ПД-регулятора сервопривода крана подачі газу пальника сушарки. Їх аналіз дозволяє зробити висновок, що система найбільш точно підтримує і стабілізує температуру в камері сушарки при таких параметрах налаштування ПД-регулятора сервопривода крана подачі газу пальника сушарки:  $P = 1$ ;  $I = 40$ ;  $D = 2$ .

5. Розраховано капітальні вкладення для побудови системи керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Розраховано основну заробітну

плату, витрати на електроенергію, витрати на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток даної системи не розраховувався, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах, які становлять 174811,39 грн/рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зернові сушарки Phoenix. [Електронний ресурс]. [Електронний ресурс]. URL: <https://phoenixtec.com.ua/>
2. Синявський О. Ю. Електропривод виробничих машин і механізмів / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, Д.Г. Войтюк, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш.; За ред. О.Ю. Синявського. – К. : ФОП Ямчинський О.В. 2020. – 444с.
3. Видмиш А. А., Бабій С. М., Петрусь В. В. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів. Вінниця: ВНТУ, 2012. 101 с.
4. Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів. – Вінниця: ВНТУ, 2016. 119 с.
5. Електродвигун WEG W22 160L 15 кВт 1500 об/хв. [Електронний ресурс]. URL: <https://ovk.ua/ua/shop/product/weg-w22-160l-15-kvt-1500-ob-minkopiia>
6. Автоматичний вимикач захисту двигуна ETI MPE25-32 Ir=25-32A. [Електронний ресурс]. URL: <https://eltron.com.ua/avtomatychnyy-vymykach-zahystu-dvyguna-eti-mre25-32-ir-25-32a>
7. Контактор ETI CEM 40.00 24V DC (40A/AC3). [Електронний ресурс]. URL: <https://eltron.com.ua/kontaktor-eti-cem-40-00-24v-dc-40a-ac3>
8. Контактор ETI CEM 25.00 24V DC (25A/AC3). [Електронний ресурс]. URL: <https://eltron.com.ua/kontaktor-eti-cem-25-00-24v-dc-25a-ac3>
9. Пристрій плавного пуску ATS01N232QN, струм 32А, потужність 15 кВт. [Електронний ресурс]. URL: <https://voltelectro.com.ua/ua/p230702486-ustrojstvo-plavnogo-puska.html>

10. Пристрій плавного пуску ATS22D32Q, потужність 15 кВт. [Електронний ресурс]. URL: <https://voltelectro.com.ua/ua/p732051959-ustrojstvo-plavnogo-puska.html>
11. Перетворювач частоти Altivar Machine ATV320, 15 kW, 380...500 V, 3 phases. [Електронний ресурс]. URL: <https://voltelectro.com.ua/ua/p1448433050-preobrazovatel-chastoty-altivar.html>
12. Реле пуску двигуна ETI CRM-2T UNI (зірка/трикутник). [Електронний ресурс]. URL: <https://eltron.com.ua/rele-pusku-dvyguna-eti-crm-2t-uni-zirka-trykutnyk>
13. ТОВ «ЕНЕРА ВІННИЦЯ». Тарифи для бізнесу. [Електронний ресурс]. URL: <https://vin.enera.ua/el/tariff>
14. Характеристики приводного двигуна WEG 160L-04. [Електронний ресурс]. URL: [https://ecatalog.weg.net/TEC\\_CAT/tech\\_motor\\_dat\\_web.asp](https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp)
15. Характеристики приводного двигуна WEG 160L-04. Криві крутного моменту та струмів. [Електронний ресурс]. URL: [https://ecatalog.weg.net/TEC\\_CAT/tech\\_motor\\_curva\\_cc\\_web.asp](https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_curva_cc_web.asp)
16. Пристрій плавного пуску ATS01 32A 380-415В. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATS01N232QN/%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D1%96%D0%B9-%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D1%83-ats01-32a-380415%D0%B2-%D0%B1%D0%B0%D0%B9%D0%BF%D0%B0%D1%81/>
17. Manual. Siemens LME. [Електронний ресурс]. URL: <https://drive.google.com/file/d/1NICYLfzad-3R3JOyzVUmp3SiMlvBnz8O/view>
18. Manual. Honeywell DKG 972 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.manualslib.com/manual/1607428/Honeywell-Dkg-972.html>
19. Автомат горіння Siemens LME 41.051 C2. [Електронний ресурс]. URL: <https://satronicc.com/uk/avtomat-gorenija-siemens-lme41-051c2?search=Siemens%20LME%2041.051%20C2%20>



20. Автомат горіння Honeywell DKG972-N mod.10. [Електронний ресурс]. URL: <https://satronicc.com/uk/avtomat-gorenija-honeywell-dkg-972-n-mod-10>
21. Сервопривод Belimo NM24AX-SR. [Електронний ресурс]. URL: [http://belimo.com.ua/files/catalog\\_air/CM\\_GM\\_analog.pdf](http://belimo.com.ua/files/catalog_air/CM_GM_analog.pdf)
22. Контролери Siemens SIMATIC S7-1200. [Електронний ресурс]. URL: <https://topcity.com.ua/shop/simatic-s7-1200>
23. CPU 1214C, 6ES7214-1AG40-0XB0. [Електронний ресурс]. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>
24. Модуль виводу SM1232, 6ES7232-4HD32-0XB0. [Електронний ресурс]. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/Product/6ES7232-4HD32-0XB0>
25. PT100 датчик температури. [Електронний ресурс]. URL: <https://rezist.com.ua/relejnoe-oborudovanie/termo-rele--termoreguljator/pt100-datchik-temperaturi-0-400-%C2%B0c>
26. Модуль вимірювання температури SM1231 RTD, 6ES7231-5PD32-0XB0. [Електронний ресурс]. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/Product/6ES7231-5PD32-0XB0>
27. Панель оператора Weintek MT8121XE. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.weintek.com.ua/content/mt8121xe-%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C-%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0-121-weintek>
28. Dungs LGW 10 A2. [Електронний ресурс]. URL: <https://tep.com.ua/p546537928-dungs-lgw-datchik.html>
29. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Менеджмент та маркетинг в системах електроспоживання» / Уклад. Демов О. Д., Мельничук Л. М. – Вінниця : ВНТУ, 2002. – 58 с.

30. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

31. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

32. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_a322\\_2009/1-1-0-945](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945)

33. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

34. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>

35. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

36. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

37. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)

38. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

39. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>

40. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

41. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2006. 109 с.



Додаток А  
(обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

«07» 11 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПАЛЬНИКОМ ЗЕРНОСУШАРКИ  
PHOENIX ЗСК-03**

08-24.МКР.005.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

 Сергій БАБІЙ

«07» 11 2021 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-22м

 Сергій ГЛУШАНЬ

«07» 11 2021 р.

## **1 Загальні відомості**

Повне найменування розробки – «Система керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03».

Скорочене найменування розробки – «Система керування пальником».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

## **2 Підстави для розробки**

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

## **3 Призначення розробки і галузь використання**

Система керування пальником забезпечує керування вентилятором пальника, автоматом горіння та сервоприводом крана подачі газу пальника зерносушарки, а також реалізує різного роду захисти.

## **4 Вимоги до розробки**

Система керування пальником повинна забезпечувати підтримання стабільної температури в камері нагрівання зерносушарки.

## **5 Комплектація розробки**

Виріб складається з приводного двигуна вентилятора пальника сушарки, газового пальника та системи керування.

## **6 Джерела розробки**

1. Зернові сушарки Phoenix. [Електронний ресурс]. [Електронний ресурс]. URL: <https://phoenixtec.com.ua/>

2. Сервопривод Belimo NM24AX-SR. [Електронний ресурс]. URL: [http://belimo.com.ua/files/catalog\\_air/CM\\_GM\\_analog.pdf](http://belimo.com.ua/files/catalog_air/CM_GM_analog.pdf)



## 7 Технічні характеристики

| Характеристики                 | Значення                  |
|--------------------------------|---------------------------|
| Конструктивне виконання        | осьовий                   |
| Кількість лопатей              | 12                        |
| Кут атаки лопаті               | 36°                       |
| Продуктивність                 | 42400 м <sup>3</sup> /год |
| Повний тиск                    | 570 Па                    |
| Номінальна швидкість обертання | 1450-1500 об/хв           |
| ККД                            | 0,6                       |
| Мах потужність пальника        | 1,2 МВт                   |

## 8 Умови експлуатації

Система керування пальником повинна забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі роботи в умовах впливу факторів навколишнього середовища, підвищеної вологості та запиленості.

## 9 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. ін. виробництва України чи країн зарубіжжя.

## 10 Конструктивне виконання

Система керування пальником виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

## 11 Показники технологічності

Система керування пальником добрив виконується на сучасній елементній базі, а її монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам влаштування електроустановок.

## 12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками та слюсарями КВП і А відповідної кваліфікації. Технічний огляд

механізму здійснюється мінімум один раз на 3 місяці. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками та техніками-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

### **13 Живлення електропривода**

Живлення повинно бути виконано напругою 380 В від силової мережі підприємства.

### **14 Порядок контролю та прийняття**

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.



**Додаток Б**  
**(обов'язковий)**

**ІЛЮСТРИВНА ЧАСТИНА**

**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПАЛЬНИКОМ ЗЕРНОСУШАРКИ**  
**PHOENIX ЗСК-03**

## **Мета та задачі дослідження**

**Метою роботи** є підвищення рівня стабільності температури в камері нагрівання зерносушарки Phoenix ЗСК-03 за рахунок використання системи керування пальником, яка б забезпечувала плавне регулювання подачі газу на пальник зерносушарки і характеризувалась високим ступенем надійності та високими енергетичними показниками.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Здійснити загальну характеристику об'єкта проектування та режимів його роботи.
2. Розрахувати привод вентилятора пальника зерносушарки, вибрати елементи силового привода з врахуванням результатів техніко-економічного обґрунтування.
3. Розробити систему керування пальником зерносушарки та вибрати її елементу базу.
4. Перевірити правильність прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання та в реальних умовах експлуатації.
5. Провести економічні розрахунки.
6. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

**Об'єкт дослідження** – процес сушіння зерна зерносушаркою Phoenix ЗСК-03.

**Предметом дослідження** є система керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03.

## Загальна характеристика зерносушарки

### Технічні характеристики зерносушарки

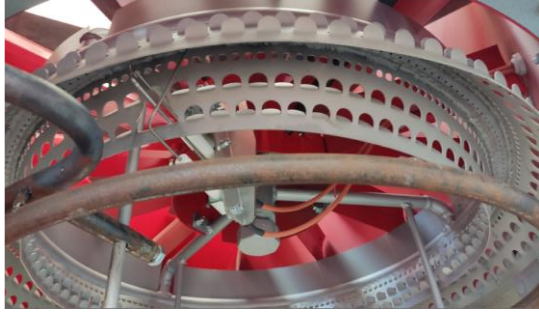
| Характеристики  | Значення                            |
|---|-------------------------------------|
| Модель  | Phoenix ЗСК-03                      |
| Тип   | модульна                            |
| Режим роботи  | потік                               |
| Кількість модулів   | 2                                   |
| Кількість паливників  | 2/3                                 |
| Спосіб сушки  | конвективна нагрітим повітрям       |
| Місткість   | 30 м <sup>3</sup>                   |
| Продуктивність, кукурудза (25%-15%), нагрів + охолодження           | 300 т/добу                          |
| Продуктивність, кукурудза (20%-15%), нагрів + охолодження           | 400 т/добу                          |
| Продуктивність, кукурудза (25%-15%), повний нагрів                  | 375 т/добу                          |
| Продуктивність, кукурудза (20%-15%), повний нагрів                  | 450 т/добу                          |
| Кількість вентиляторів, шп  | 3                                   |
| Зона попереднього нагріву:<br>- повітряний потік:<br>- повний тиск: | 42400 м <sup>3</sup> /год<br>570 Pa |
| Зона нагріву:<br>- повітряний потік:<br>- повний тиск:              | 42400 м <sup>3</sup> /год<br>570 Pa |
| Зона охолодження:<br>- повітряний потік:<br>- повний тиск:          | 51200 м <sup>3</sup> /год<br>651 Pa |
| Загальна висота   | 7270 мм                             |
| Загальна довжина  | 5600 мм                             |
| Загальна ширина   | 2500 мм                             |
| Вид пального  | пропан-бутан                        |



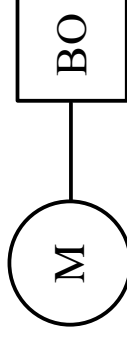
Зовнішній вигляд зерносушарки

## Технічні характеристики вентилятора пальника сушарки

Пальник



Вентилятор пальника



Кінематична схема привода  
вентилятора пальника

### Технічні характеристики вентилятора пальника

| Характеристики                 | Значення                  |
|--------------------------------|---------------------------|
| Конструктивне виконання        | осьовий                   |
| Кількість лопатей              | 12                        |
| Кут атаки лопаті               | 36°                       |
| Продуктивність                 | 42400 м <sup>3</sup> /год |
| Повний тиск                    | 570 Па                    |
| Номінальна швидкість обертання | 1450-1500 об/хв           |
| ККД                            | 0,6                       |

Розрахункова потужність приводного двигуна  
вентилятора:

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot \frac{H \cdot Q}{\eta_v \cdot \eta_{\text{п}}}$$

$$P_{\text{роз}} = 11,75 \dots 14,55 \text{ (кВт)}$$

**Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода вентилятора пальника**

| Показники                                      | Системи електричного привода |                        |                        |          |
|--|------------------------------|------------------------|------------------------|----------|
|  | РКС-АД з КЗ<br>У – Δ         | Softstart1-<br>АД з КЗ | Softstart2-<br>АД з КЗ | ПЧ-АД    |
| Вартість двигуна Д, грн                        | 54875                        |                        |                        |          |
| Вартість системи керування СК, грн             | 16700                        | 16347                  | 31883                  | 53792    |
| Капітальні вкладення К, грн                    | 71575                        | 71222                  | 86758                  | 108667   |
| Річні капітальні витрати $K_{річн}$ , грн/рік  | 12167,75                     | 12107,74               | 14748,86               | 18473,39 |
| Амортизаційні відрахування $C_A$ , грн/рік     | 7157,50                      | 7122,20                | 8675,80                | 10866,70 |
| Відрахування на ремонт $C_R$ , грн/рік         | 1431,50                      | 1424,44                | 1735,16                | 2173,34  |
| Додаткові відрахування $C_D$ , грн/рік         | 17077,94                     | 17077,94               | 17077,94               | 17077,94 |
| Відрахування на обслуговування $C_O$ , грн/рік | 1283,35                      | 1281,23                | 1374,44                | 1505,90  |
| Загальні відрахування $C$ , грн/рік            | 26950,28                     | 26905,81               | 28863,34               | 31623,88 |
| Приведені витрати З, грн/рік                   | 39118,03                     | 39013,55               | 43612,20               | 50097,27 |

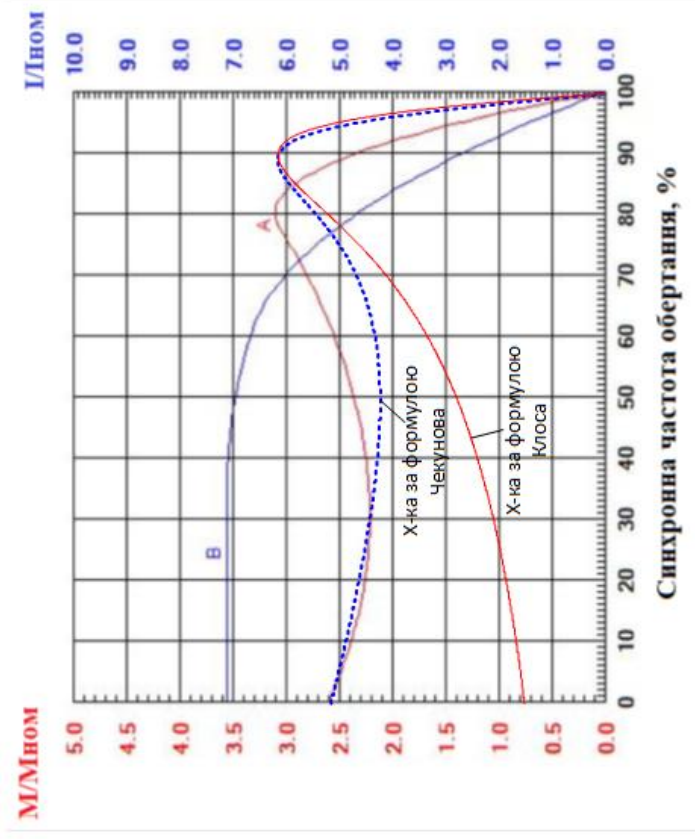
# Технічні характеристики приводного двигуна вентилятора пальника



Зовнішній вигляд приводного двигуна WEG 160L-04

## Технічні характеристики приводного двигуна

| Параметри двигуна                          | Значення                  |
|--|---------------------------|
| Бренд                                      | WEG                       |
| Корпус                                     | W22 (чавун)               |
| Тип  | 160L-04                   |
| Номінальна потужність $P_{дв.н}$           | 15 кВт                    |
| Частота $f_1$                              | 50 Гц                     |
| Номінальна напруги мережі $U_{дв.н}$       | 380 / 660 В               |
| Номінальний струм статора $I_{дв.н}$       | 30,2 / 17,4 А             |
| Номінальна швидкість обертання $n_{дв.н}$  | 1475 об/хв                |
| Число пар полюсів $p$                      | 4                         |
| Клас енергоефективності                    | IE1                       |
| Коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н}$ , %  | 88,9 %                    |
| Коефіцієнт потужності $\cos\phi_n$         | 0,85                      |
| Кратність пускового струму $\lambda_{п}$   | 7,1                       |
| Кратність пускового моменту $\lambda_{п}$  | 2,6                       |
| Кратність критичного моменту $\lambda_{к}$ | 3,1                       |
| Клас ізоляції                              | F                         |
| Температура навколишнього середовища       | -20°C...+40°C             |
| Режим роботи                               | S1                        |
| Рівень звукового тиску                     | 61dB                      |
| Момент інерції ротора $J_{рот}$            | 0,13245 кг·м <sup>2</sup> |
| Ступінь захисту                            | IP55                      |
| Режим роботи                               | S1                        |
| Маса                                       | 137 кг                    |





# Технічні характеристики силового перетворювача привода вентилятора пальника



Технічні характеристики пристрою плавного пуску

| Характеристики                                  | Значення   |
|---|--|
| Модель  | ATS01N232QN  |
| Струм номінальний                               | 32 А   |
| Потужність регульованого двигуна                | 15 кВт   |
| Число фаз                                       | 3  |
| Номінальна напруга живлення                     | 380...415 В ±10%   |
| Частота напруги мережі живлення                 | 50...60 Гц ±5%   |
| Тип пуску                                       | пуск у режимі регулювання напруги  |
| Байпас  | вбудований шунтуючий контактор   |
| Час запуску                                     | регулюється від 1 до 10 с<br>1 с / 50; 10 с / 5; 5 с / 10  |
| Момент під час запуску                          | 30...80 % пуск моменту двигуна   |
| Час уповільнення                                | регулюється від 1 до 10 с  |
| Кількість дискретних входів                     | 2  |
| Тип дискретного входу                           | логічний (L1, L2, BOOST)<br>функції стоп, пуск та Boost (підвищ. напруги при пуску)                                  |
| Напруга дискретного входу                       | 24...40 В  |
| Логіка дискретних входів                        | позитивний L1, L2, BOOST<br>при стані 0: < 5 В та <= 0,2 мА<br>при стані 1: > 13 В, >= 0,5 мА                        |
| Кількість дискретних виходів                    | 1  |
| Струм дискретного виходу                        | 2 А DC-13<br>3 А AC-15   |
| Тип дискретного виходу                          | логіка відкритого колектора LO1 (кінцевий пускового сигналу)   |
| Релейні виходи                                  | 1 (R1A, R1C, нормально розімкнений)  |
| Максимальний струм перемикання релейного виходу | 2 А при 250 В AC, індуктивне навантаження;<br>2 А при 30 В DC, індуктивне навантаження                               |
| Тип дисплея                                     | 1 світлодіод (зелений) – пристрій плавного пуску заживлений;<br>1 світлодіод (жовтий) – досягнута номінальна напруга |
| Ступінь захисту                                 | IP 20  |
| Температура експлуатації                        | -10...+40°C  |
| Відносна вологість                              | 5...95 % без конденсату або крапель води   |

Зовнішній вигляд пристрою плавного пуску

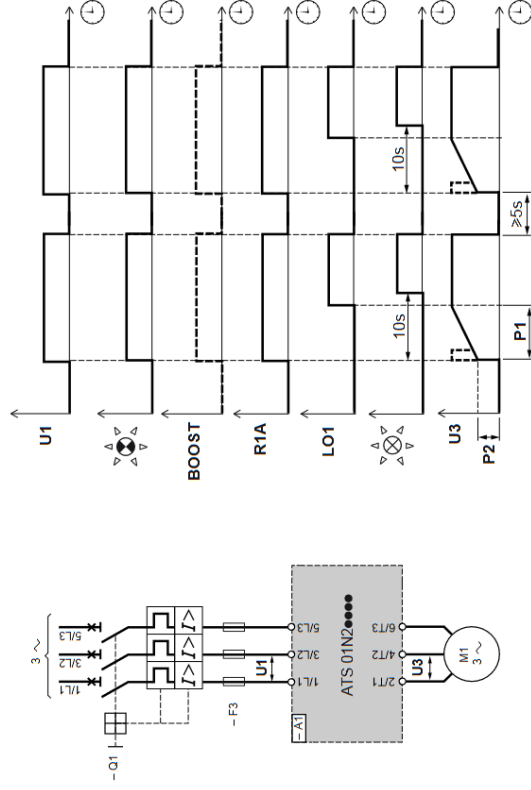
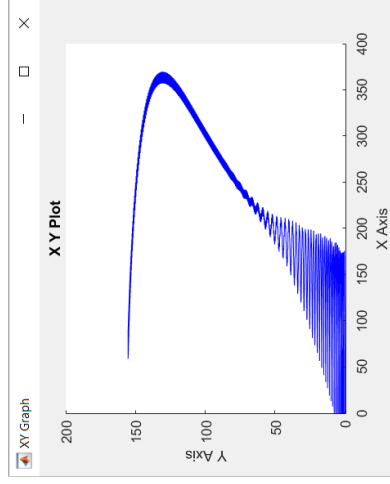
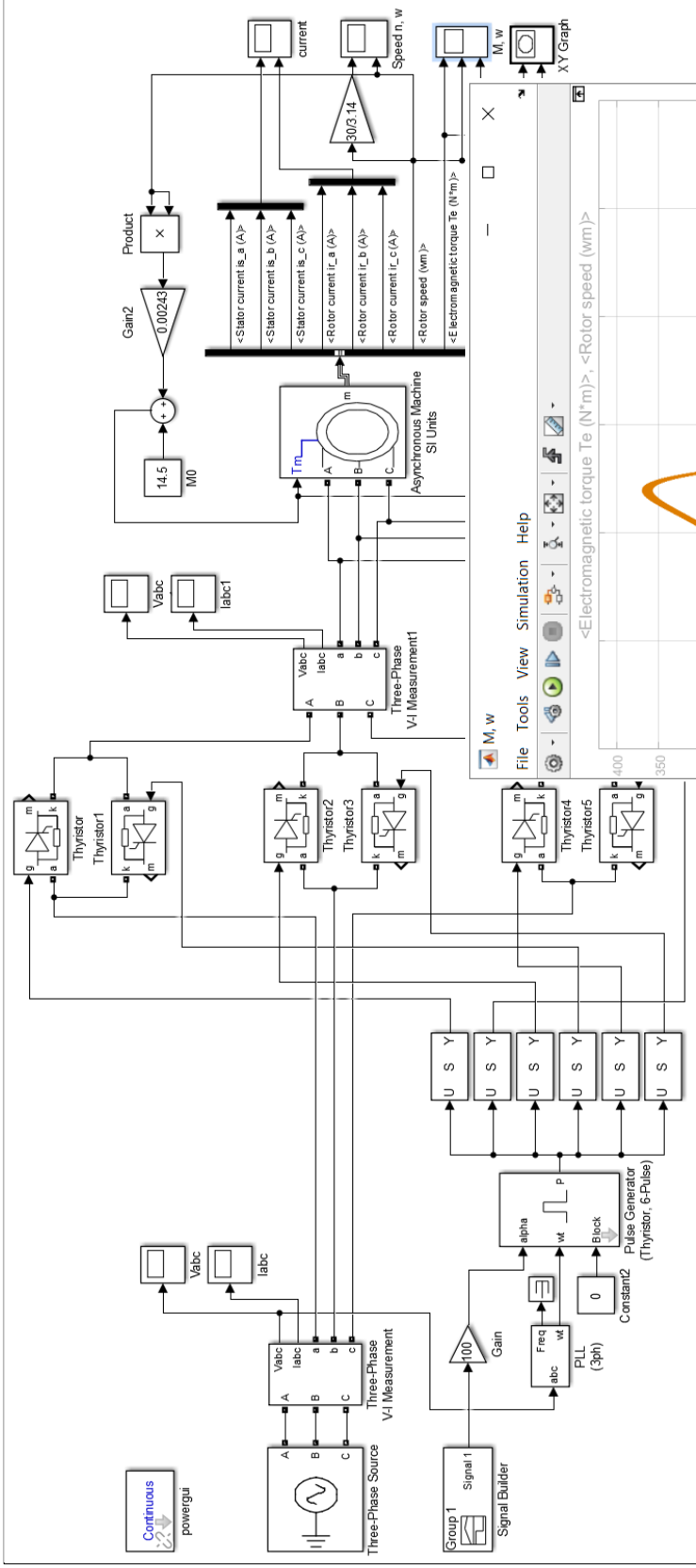


Схема підключення та часові діаграми роботи

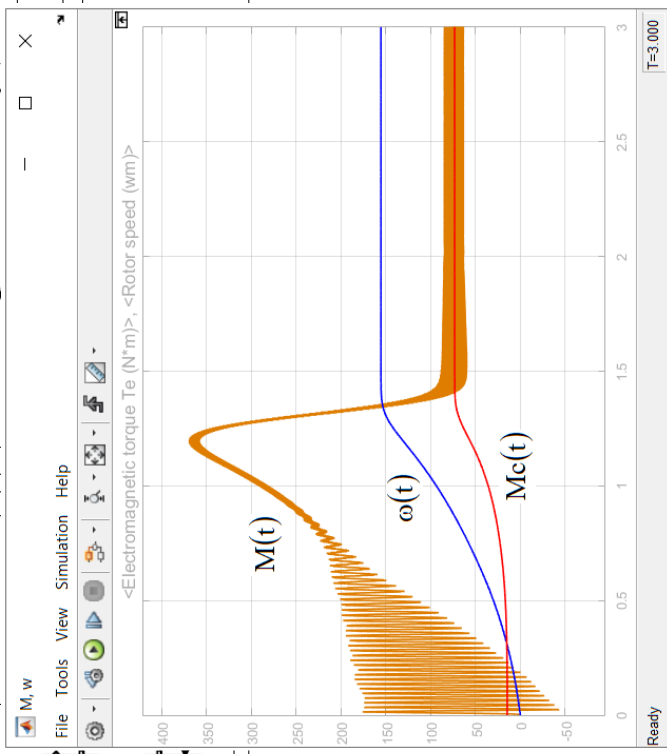




# Моделювання ЕП вентилятора пальника

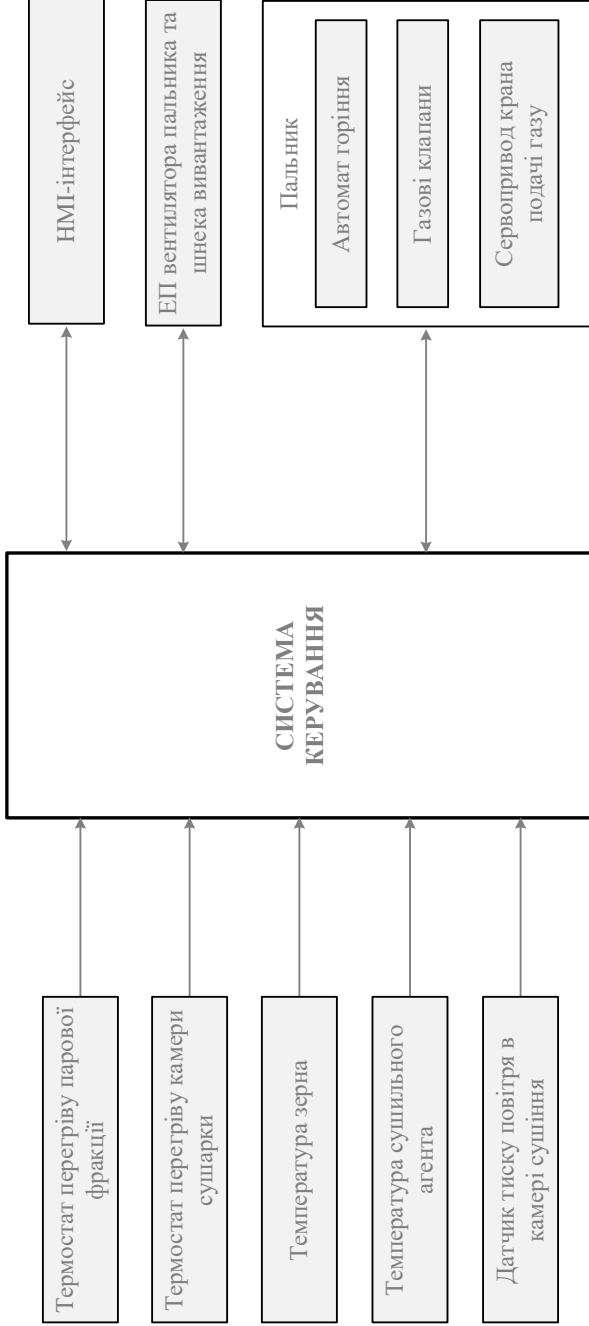


Динамічна механічна характеристика АД



Графіки перехідних процесів ЕП при пуску

08-24.МКР.005.00.000 Е2

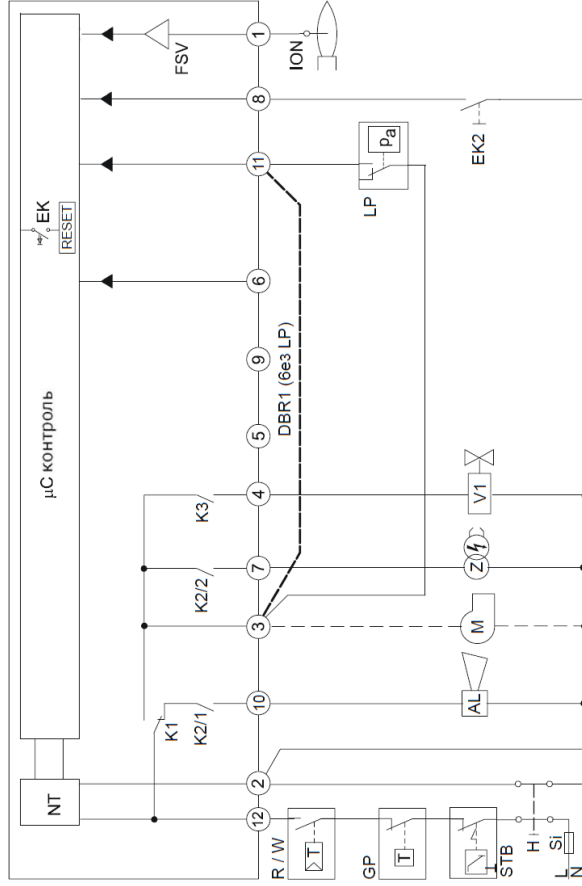


|              |               |
|--------------|---------------|
| Інв. № опр.  | Підпис і дата |
| Інв. № дубл. | Інв. № дубл.  |
| Зак. інв. №  | Зак. інв. №   |

|   |  |                          |        |             |
|---|--|--------------------------|--------|-------------|
| 08-24.МКР.005.00.000 Е2   |  | Літ.                     | Маса   | Масштаб     |
| Система керування палинком зерносушарки Ріосейх ЗСК-03.<br>Схема функціональна системи керування палинком сушарки |  | Аржуні                   | Аржуні | Аржуні      |
|   |  | Аржуні                   | Аржуні | Аржуні      |
| Норм.кон. Павлюк О.А.   |  | Зав.прод. Мотшергіз М.М. |        | Гр. ЕПА-22м |

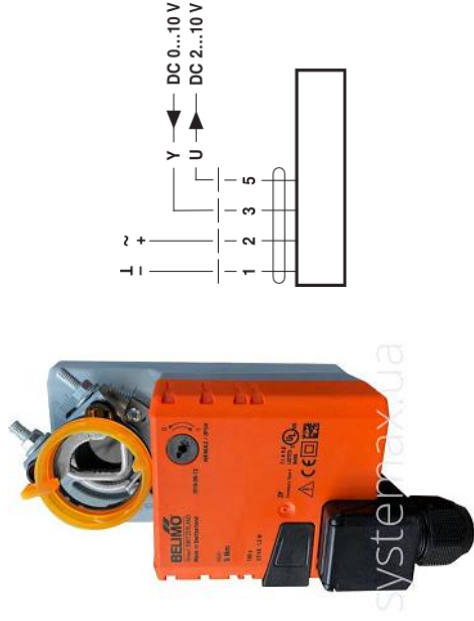
## Вибір автомата горіння та сервопривода пальника

Автомат горіння LME 41.052 C2



- AL – сигналізатор аварії;
- Z – трансформатор розпапу;
- LP – датчик тиску;
- ION – електрод іонізації;
- M – двигун вентилятора пальника;
- V1 – електромагнітний клапан;
- EK2 – кнопка дистанційного скиду блокування;

Сервопривод Velimo NM24AX-SR



| Характеристики             | Значення            |
|----------------------------|---------------------|
| Напряга живлення           | 24 В AC/DC          |
| Частота напруги живлення   | 50/60 Гц            |
| Діапазон напруги живлення  | 19,2...28,8 В AC/DC |
| Номинальний крутний момент | 10 Нм               |
| Кут повороту               | 90°                 |
| Час повороту               | 45с / 90°           |
| Температура експлуатації   | -30...+50°C         |
| Ступінь захисту корпусу    | IP54                |
| Керуючий сигнал            | 2...10 В DC         |

## Вибір керуючого пристрою та засобів НМІ



ПЛК SIMATIC S7-1200

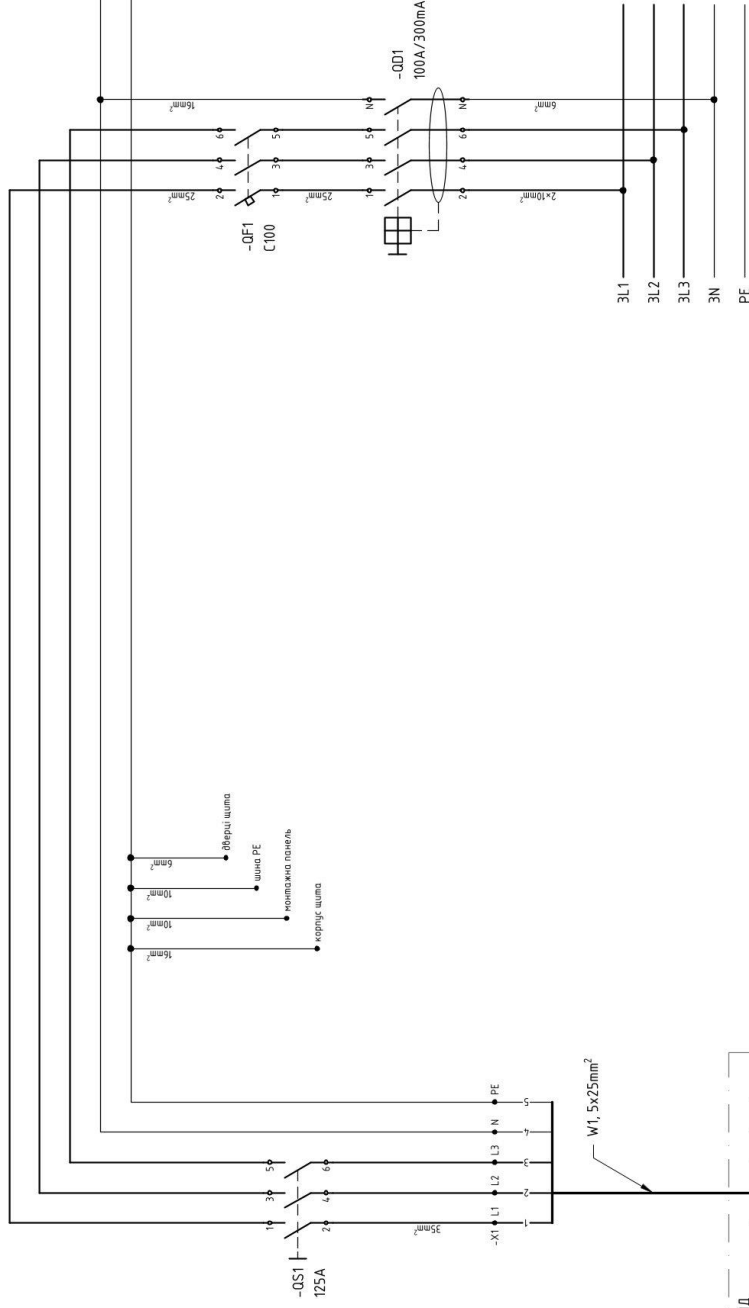
| Характеристика  | Дані   |
|---|--|
| Номер для замовлення                                  | 6ES7214-1AG40-0XB0                                 |
| Модель  | S7-1214C DC/DC/DC                                  |
| Вбудована робоча пам'ять                              | 125 kbyte  |
| Вбудована пам'ять для завантаження                    | 4 Mbyte  |
| Можливість розширення пам'яті для завантаження        | картою пам'яті Memory Card                         |
| Інтерфейс   | PROFINET   |
| Вбудовані входи і виходи                              | 14 DI 24V DC<br>10 DO 24V DC 0.5A<br>2 AI 0-10V DC |
| Живлення (допустимий діапазон)                        | DC 20.4 - 28.8 V DC                                |
| Температура навколишнього середовища при експлуатації | -20...60°C   |



Панель WEINTEK MT8121XE

| Параметр                     | Значення                                   |
|------------------------------|--|
| Напруга живлення             | 24 ±20% VDC                                |
| Споживаний струм             | 800 mA при 24VDC                           |
| Діагональ                    | 12.1 дюйма                                 |
| Тип сенсора                  | 4-провідний резистивний                    |
| Постійна пам'ять             | 256 MB                                     |
| Оперативна пам'ять           | 256 MB                                     |
| USB хост                     | 1 x USB 2.0                                |
| Ethernet порт                | 1 x RJ45 (10/100 Base-T)                   |
| COM порт                     | COM1 (RS232 / RS485 / RS422), COM3 (RS485) |
| Температура при експлуатації | 0 °C ~ 50 °C                               |
| Температура при зберіганні   | -20 °C ~ 60 °C                             |

08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ



- 16mm² • верхня шина
- 10mm² • шина РЕ
- 10mm² • номінальна панель
- 10mm² • корпус шина

- BU : Blue Синій
- WH : White Білий
- YE : Yellow Жовтий
- GN : Green Зелений
- GY : Grey Сірий
- OG : Orange Помаранчевий
- BN : Brown Коричневий
- BK : Black Чорний
- VT : Violet Фіолетовий
- PK : Pink Рожевий
- RD : Red Червоний
- YG : Yellow-Green Жовто-зелений

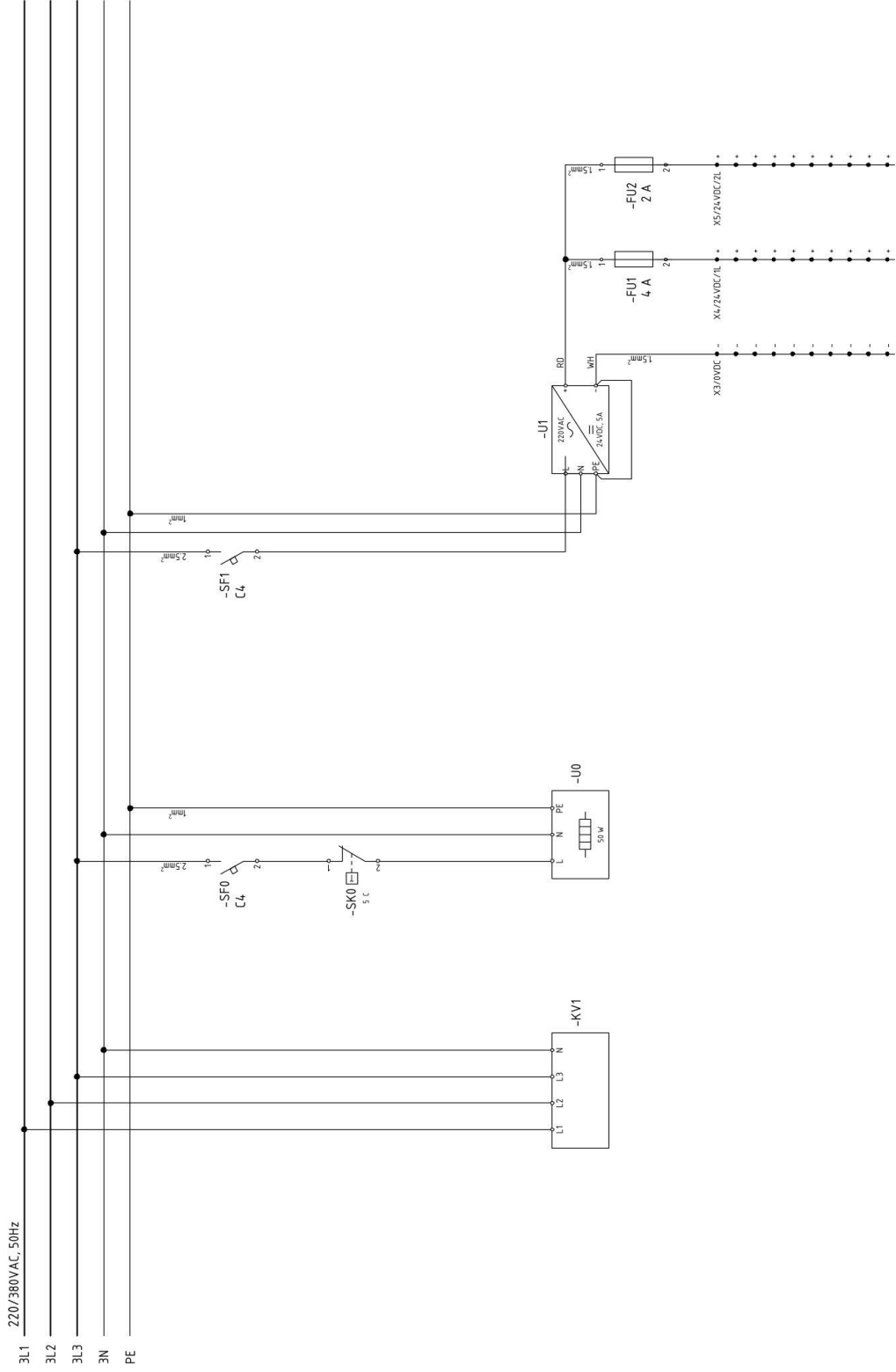
СИЛОВИЙ ВВІД

08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ

| Зм.  | Арк.       | № документа | Підпис      | Дата          | Літ.   | Маса        | Масштаб |
|--|------------|-------------|-------------|---------------|--|-------------|---------|
| Розробив   | Перевірив  | Т. конпр.   | Н. конпр.   | Затвердив     |  |             |         |
| Глушаків С.Ю.  | Бабій С.М. |             | Паянок О.А. | Мошорізі М.М. | Арк.зв'яз 1  | Арк.зв'яз 9 | Масштаб |
| Система керування пальником з електронною запалювальною системою |            |             |             |               | Схема електричної принципи системи керування пальником |             |         |
|  |            |             |             |               | зр. ЕПА-22м  |             |         |

|             |               |            |             |               |
|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|
| №б. № опус. | Підпис і дата | Зам. №б. № | №б. № дубл. | Підпис і дата |
|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|

08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ

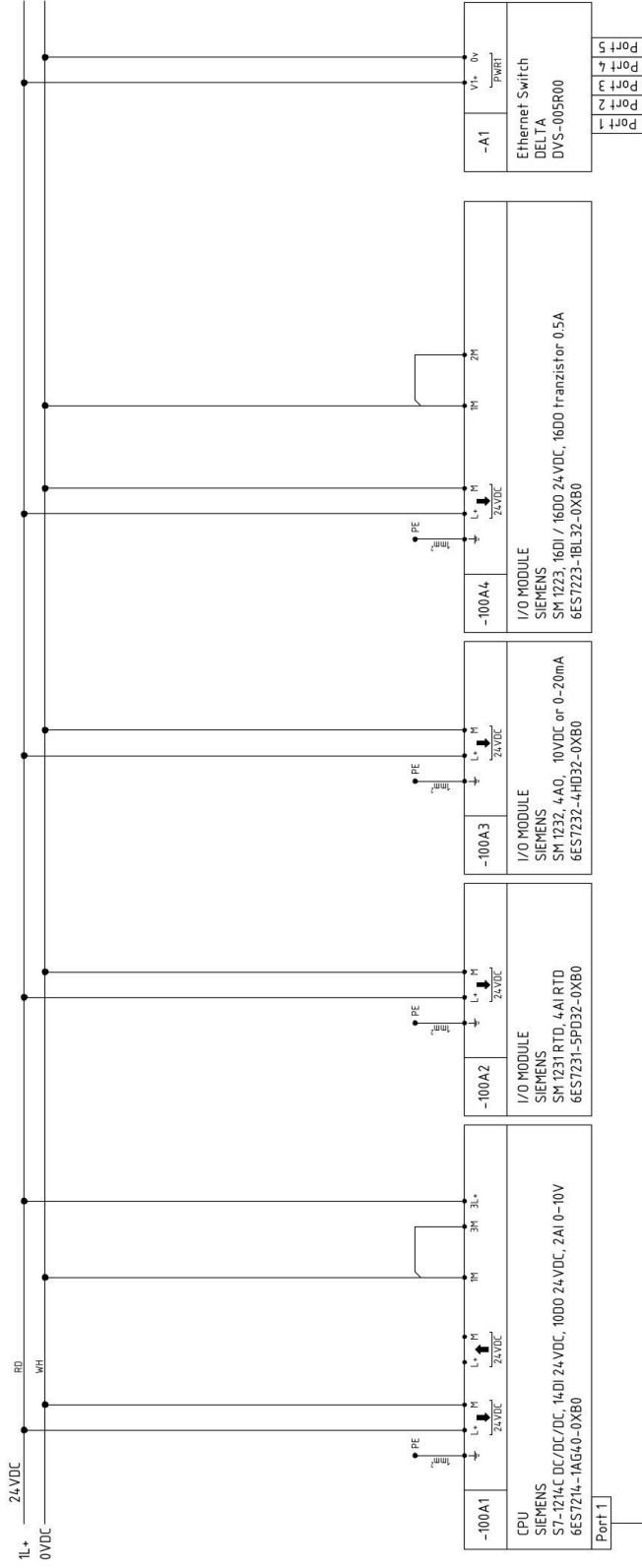


|              |                  |        |      |
|--------------|------------------|--------|------|
| Ліст № опуз. | Ліст № документа | Підпис | Дата |
| Ліст № опуз. | Ліст № документа | Підпис | Дата |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Ліст                    | 2 |
| 08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ |   |



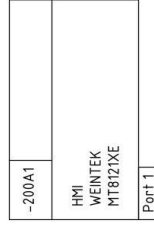
EE 000 00 500 000 000 000 E3



ETHERNET

ETHERNET

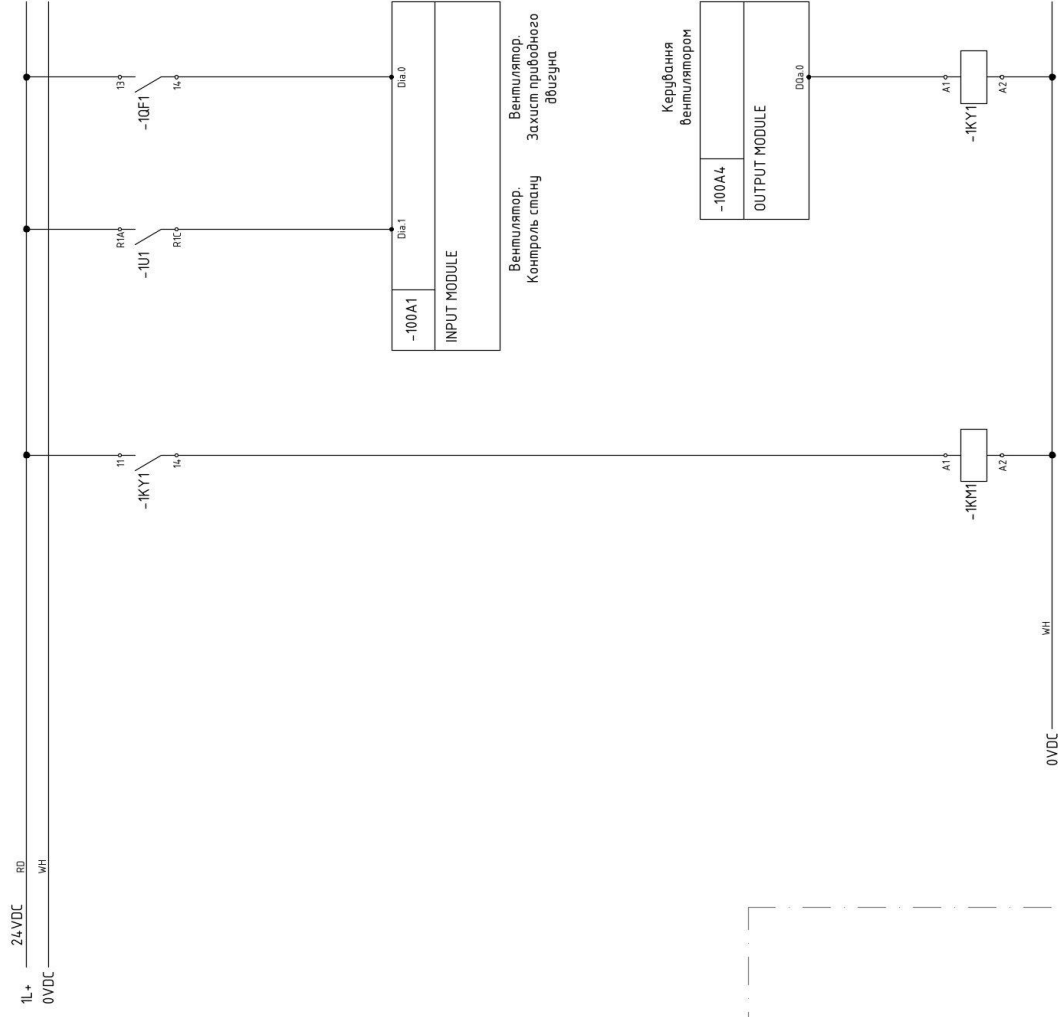
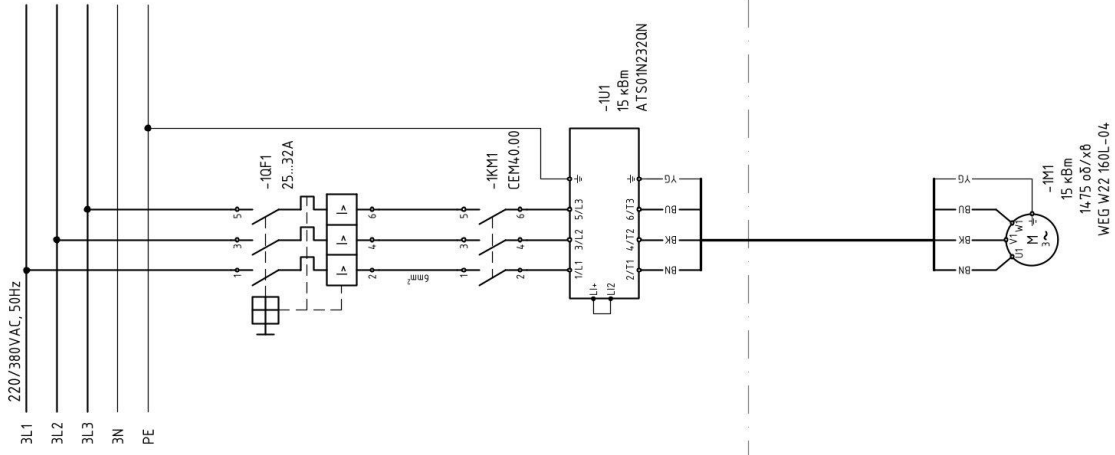
Щит 6 операторського приміщення



|             |               |             |              |               |
|-------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| Ід. № опуз. | Підпис і дата | Зам. ІдБ. № | ІдБ. № дівл. | Підпис і дата |
|-------------|---------------|-------------|--------------|---------------|

|              |        |      |                         |      |
|--------------|--------|------|-------------------------|------|
| ІдБ. № опуз. | Підпис | Дата | Зам. / ІдБ. № документа | Лист |
|              |        |      | 08-24-МКР.005.00.000 E3 | 3    |

08-24.МКР.005.00.000.ЕЭ

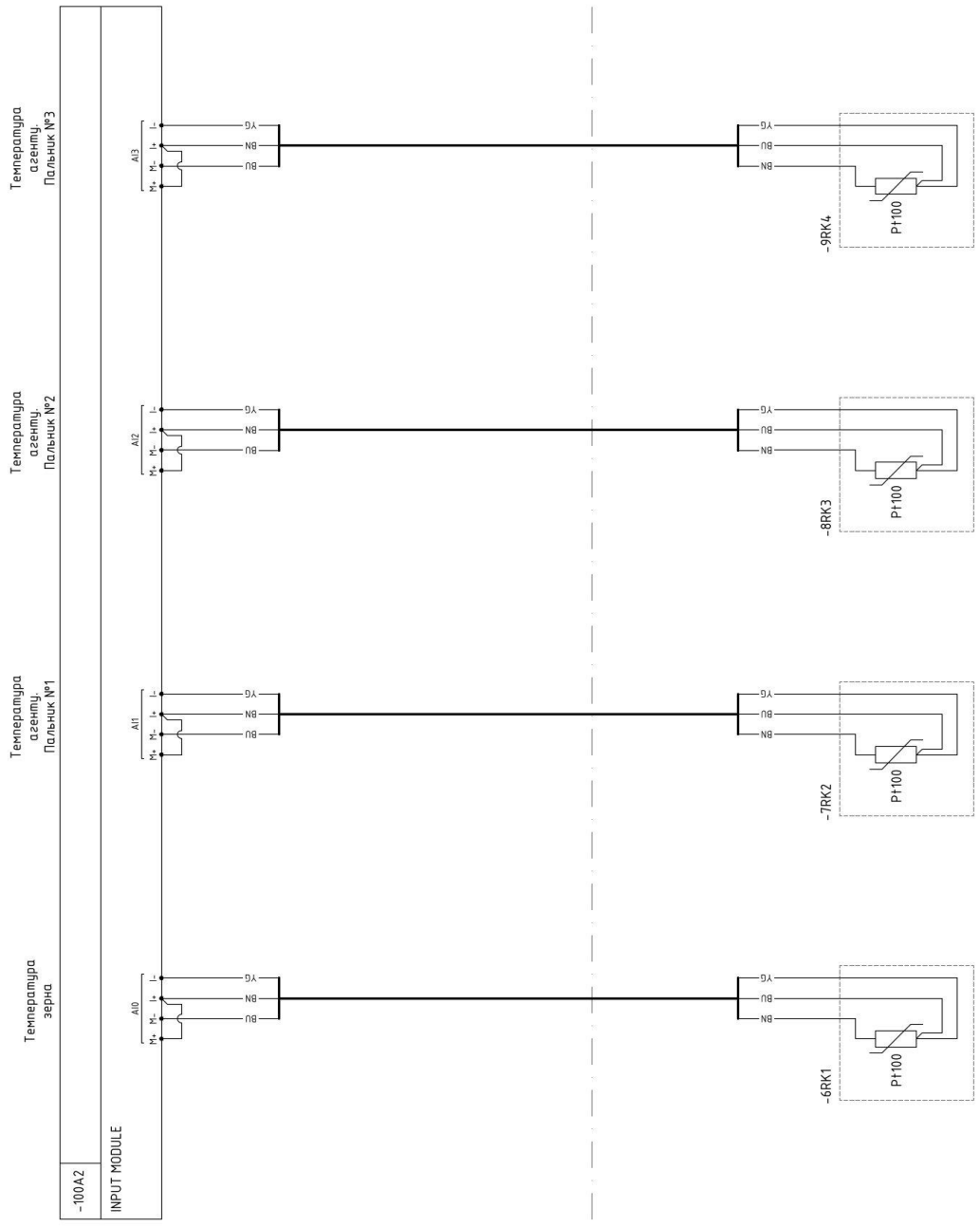


|             |               |            |             |               |
|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|
| ИВ, № опус. | Підпис і дата | Зам, ИВ, № | ИВ, № дубл. | Підпис і дата |
|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|

|            |             |        |      |
|------------|-------------|--------|------|
| Эм. / Лист | № документа | Підпис | Дата |
|            |             |        |      |

08-24.МКР.005.00.000.ЕЭ

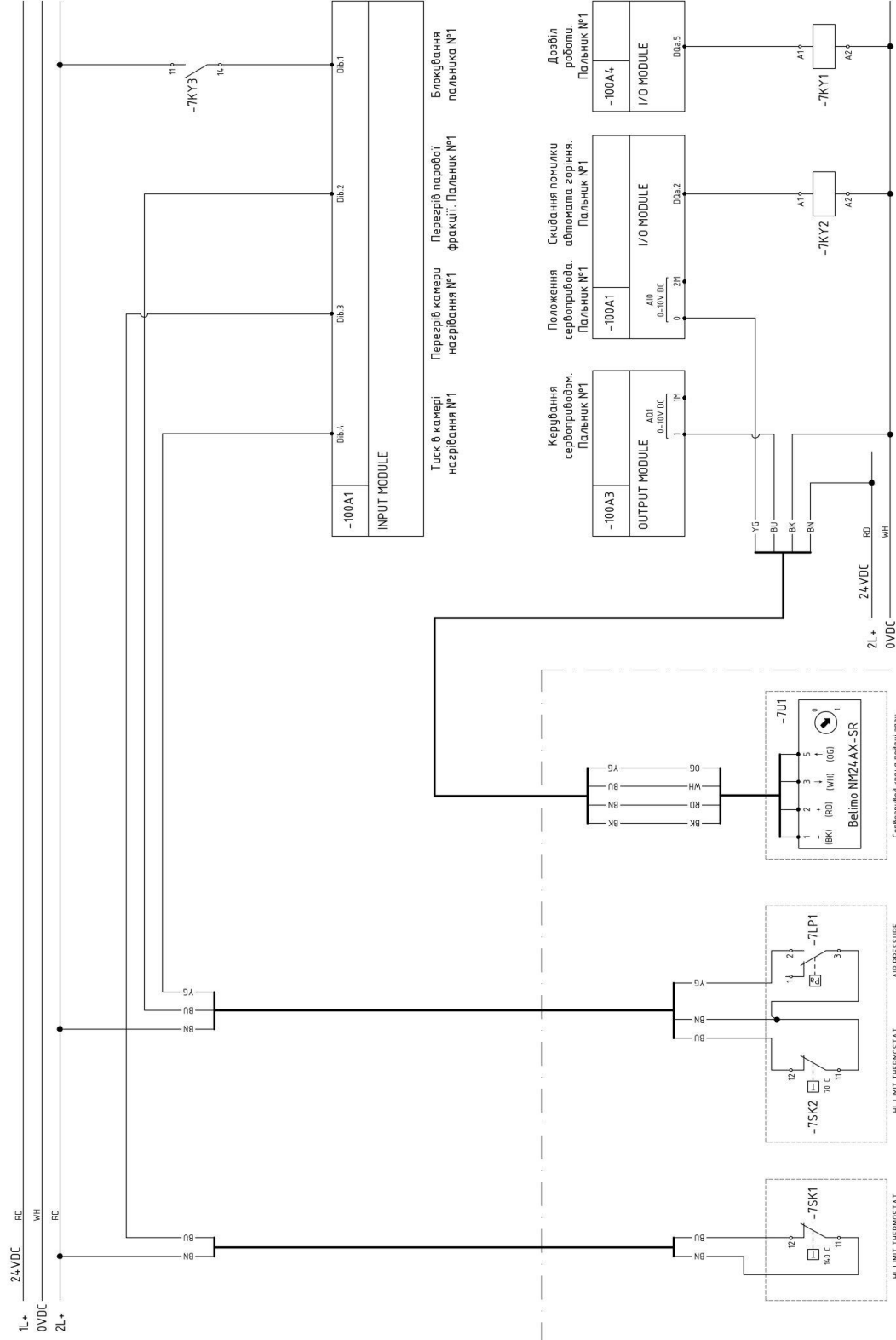
08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ



|              |               |             |              |               |
|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| Інв. № опус. | Підпис і дата | Зам. інв. № | Інв. № дубл. | Підпис і дата |
|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|

|                         |      |             |        |      |
|-------------------------|------|-------------|--------|------|
| Зм.                     | Лист | № документа | Підпис | Дата |
|                         |      |             |        |      |
| 08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ |      |             |        |      |
|                         |      |             |        | Лист |
|                         |      |             |        | 5    |

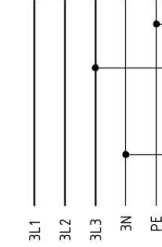
08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ



| № п. № опус. | Пішус і дама | Зам. № п. № | № п. № дубл. | Пішус і дама | № п. № документа | Дата |
|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|------------------|------|
|              |              |             |              |              |                  |      |

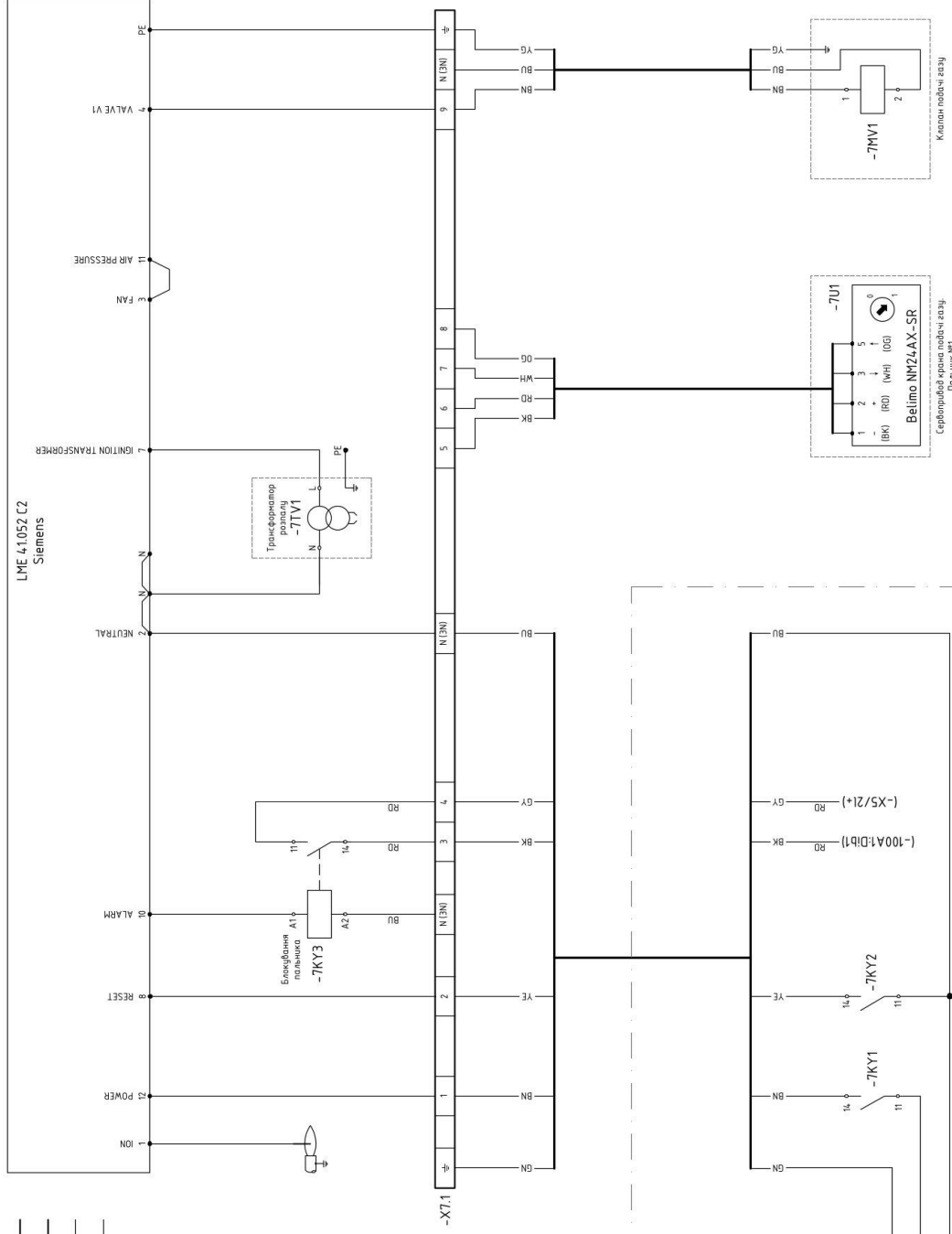
08-24.МКР.005.00.000 ЕЗ

08-24-MKP.005.00.000.E3



Акумуляторна  
-7A1

LME 41.052 C2  
Siemens

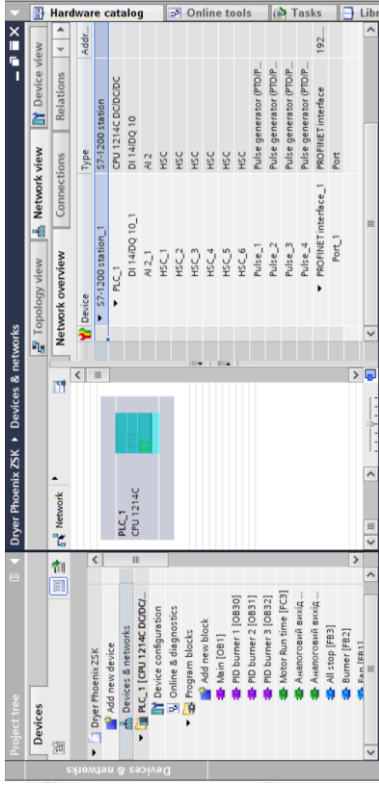


| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |
|-----|------|-------------|--------|------|
|     |      |             |        |      |

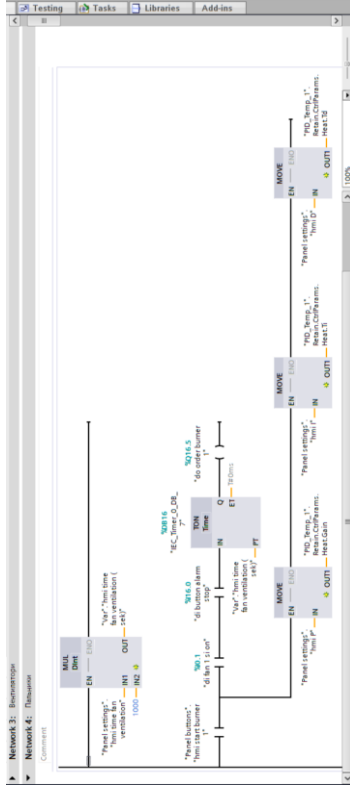
08-24-MKP.005.00.000.E3

|               |               |
|---------------|---------------|
| Інв. № орг.   | Підпис і дата |
| Зам. Інв. №   | Інв. № орг.   |
| Підпис і дата |               |

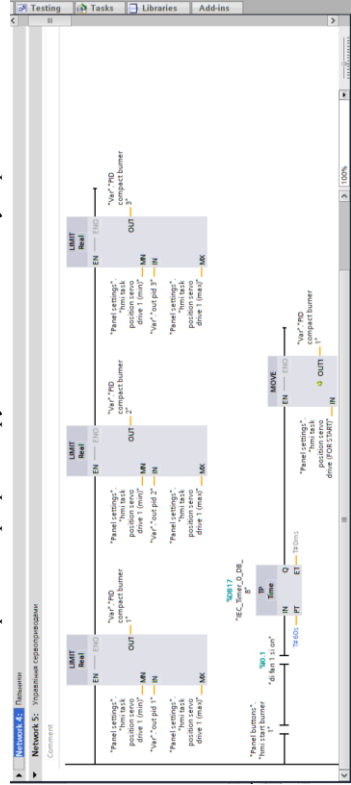
# Розробка програми керування



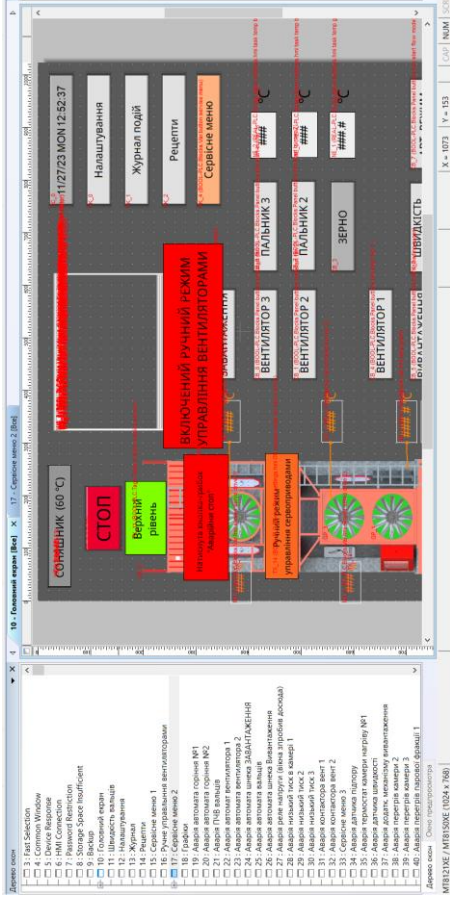
Конфігурація PLC S7-1214C DC/DC



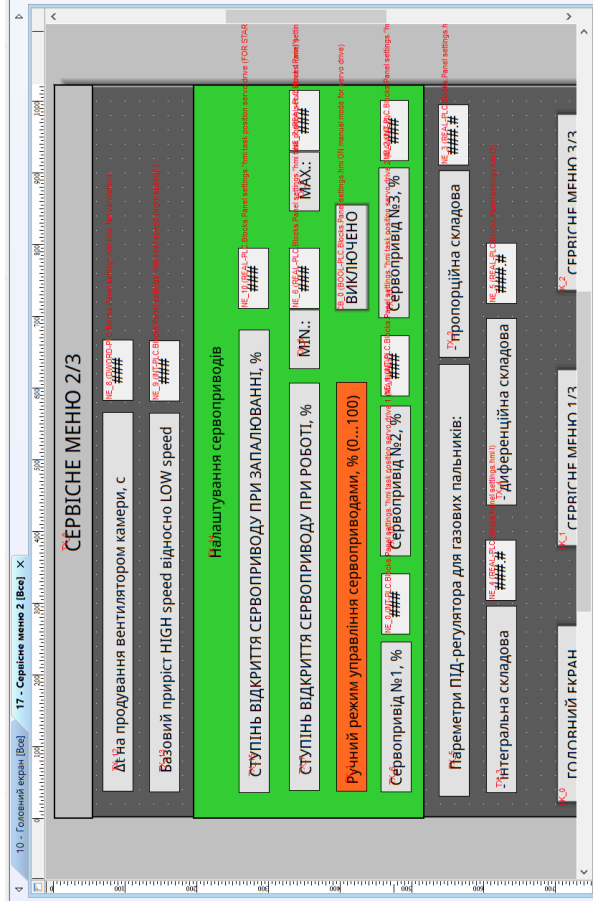
Фрагмент програми керування пальниками сушарки



Фрагмент програми керування сервоприводами пальників сушарки

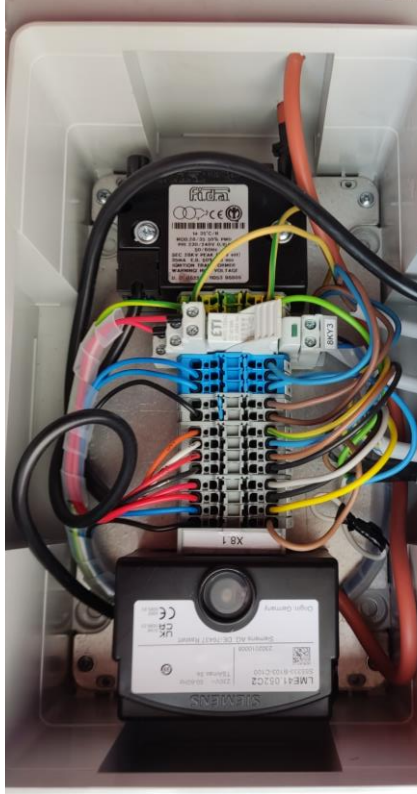
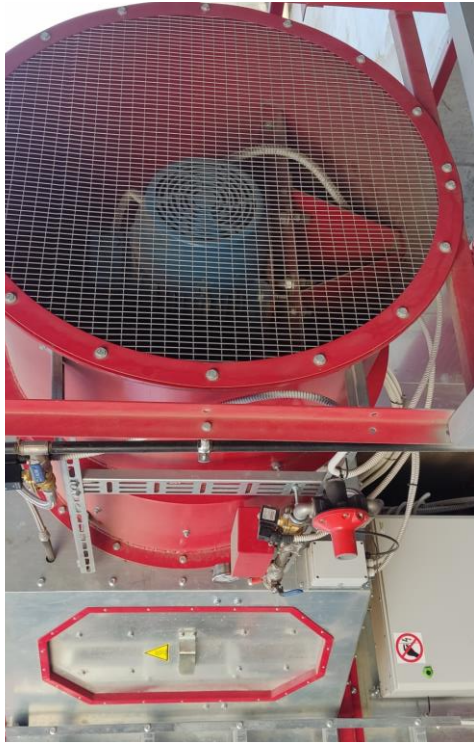


Загальна структура проекту. Головне вікно



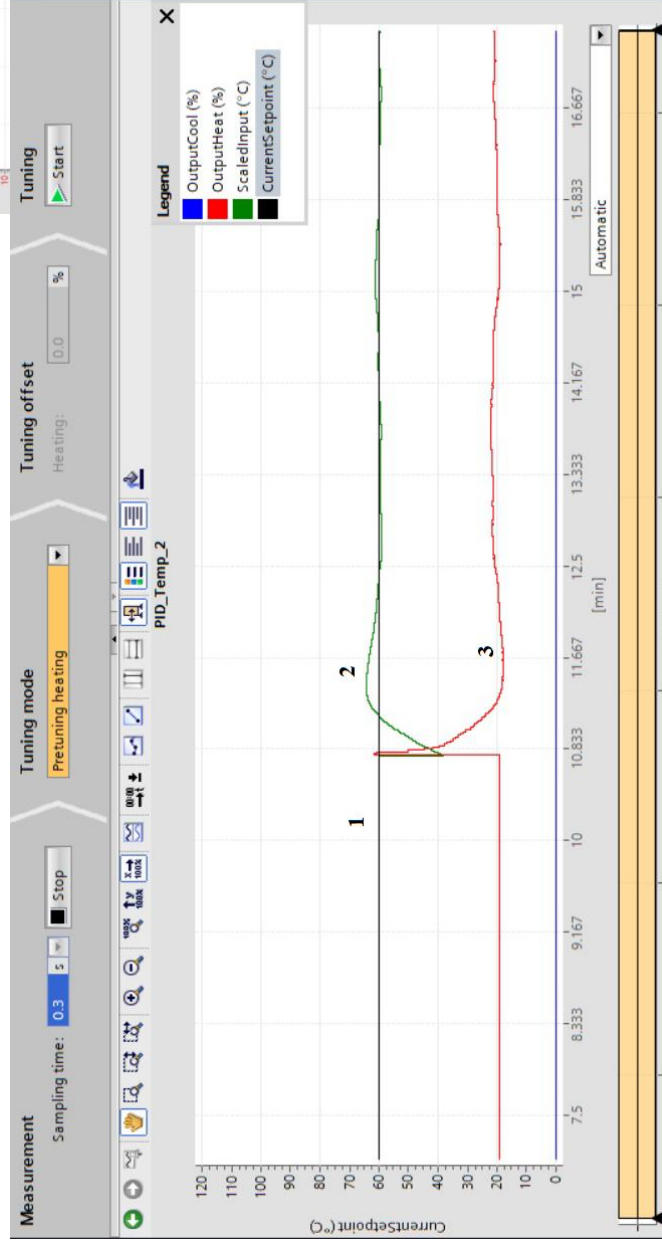
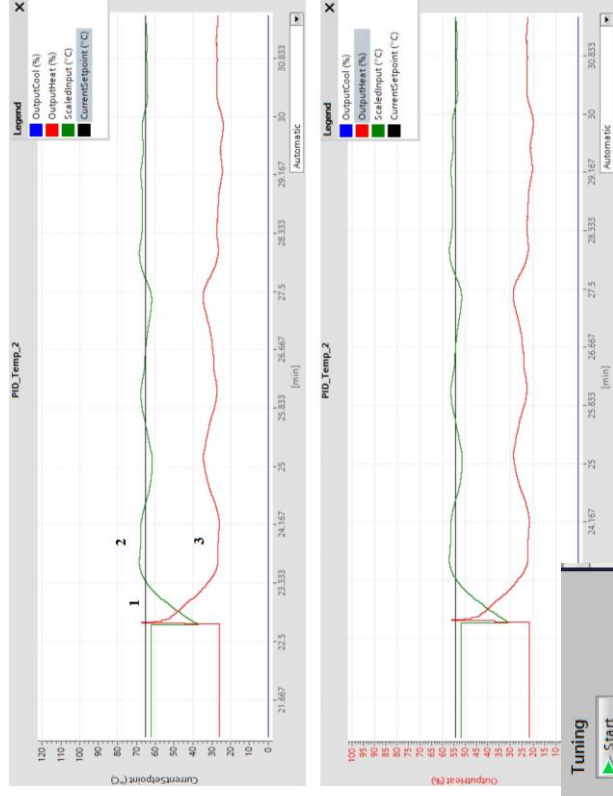
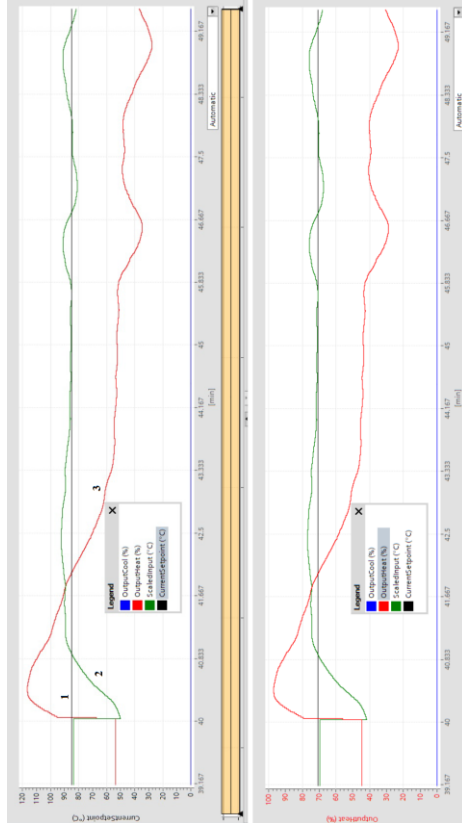
Сервісне меню для налаштування параметрів ПІД-регулятора сервопривода пальника сушарки

# Практична реалізація





## Налаштування параметрів ПІД-регулятора сервопривода палъника



- 1 – задана температура, °С
- 2 – фактична температура, °С
- 3 – керуюча дія, %

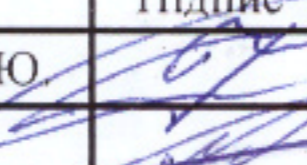
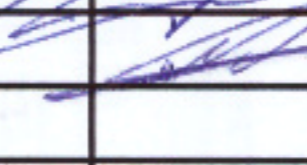
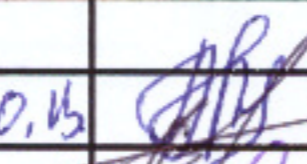

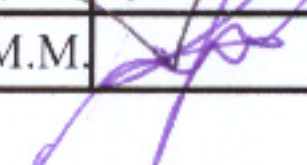
Перехідні процеси зміни температури в камері сушіння (зміна темп. з 50°C на 60°C)  
ПІД-регулятор: P=1; I=40; D=2

## ВИСНОВКИ

1. Здійснено загальну характеристику зерносушарки Phoenix ЗСК-03, розглянуто її конструктивні особливості та режими роботи. Виконано постановку задачі дослідження.
2. Виконано перевірочний розрахунок потужності приводного двигуна вентилятора пальника зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Базуючись на критерії приведення витрат об'ємного витрату використаного для приводу вентилятора пальника системи плавного пуску. Вибрано елементну базу електропривода вентилятора пальника: приводний асинхронний двигуна з КЗ ротором типу WEG w22 типу 160L-04 з номінальною потужністю 15 кВт та пристрій плавного пуску ATS01N232QN фірми Schneider Electric. Проведено моделювання роботи електропривода в Matlab Simulink та отриманого графіки перехідних процесів при пуску приводу вентилятора пальника.
3. Для пальника сушарки може використовуватись система подачі газу із модуляційним та ступінчастим регулюванням. Кращими показниками характеризується варіант з модуляційним регулюванням, тому для даного варіанту розроблено функціональну схему системи керування, вибрано основне обладнання для її реалізації, розроблено контролерну частину та HMI-інтерфейс.
4. Виконано монтаж розробленої системи керування пальниками зерносушарки Phoenix ЗСК-03. Коректність її роботи перевірено в реальних умовах. Отримано графіки перехідних процесів зміни температури в камері сушарки при різних параметрах налаштування ПД-регулятора сервопривода крана подачі газу пальника сушарки. Їх аналіз дозволяє зробити висновок, що система найбільш точно підтримує і стабілізує температуру в камері сушарки при таких параметрах налаштування ПД-регулятора сервопривода крана подачі газу пальника сушарки:  $P = 1$ ;  $I = 40$ ;  $D = 2$ .



08-24.МКР.005.00.000

| Зм.       | Арк. | № докумен.    | Підпис  | Дата     | Система керування пальником зерносушарки<br>Phoenix ЗСК-03.<br>Розробка програми керування | Літ.        |  |  | Маса  |
|-----------|------|---------------|---|----------|--|-------------|--|--|-------|
| Розробив: |      | Глушань С.Ю.  |  | 21.11.23 |  |             |  |  |       |
| Перевірів |      | Бабій С.М.    |  | 21.11.23 |  |             |  |  |       |
| Т. контр. |      |               |   |          |  |             |  |  |       |
| Опонець   |      | Вайченко О.В. |  | 11.12.23 |  | Аркуш 1     |  |  | Аркуш |
| Норм.кон. |      | Паянок О.А.   |  | 28.11.23 |  | гр. ЕПА-220 |  |  |       |
| Затверд.  |      | Мошноріз М.М. |  | 28.11.23 |  |             |  |  |       |



**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

**Назва роботи:** Система керування пальником зерносушарки Phoenix ЗСК-03”

**Тип роботи:** магістерська кваліфікаційна робота

**Підрозділ:** кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

**Науковий керівник:** к.т.н., доц. Бабій С.М.  
(прізвище, ініціали, посада)

**Показники звіту подібності Unicheck**

|                |       |
|----------------|-------|
| Оригінальність | 95,3% |
| Схожість       | 4,7%  |

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

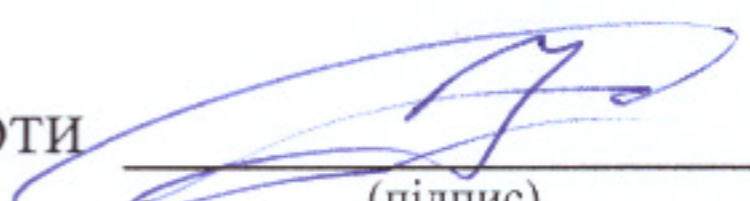
Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в  ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Паянок О.А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Глушань С.Ю.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Бабій С.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)