


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

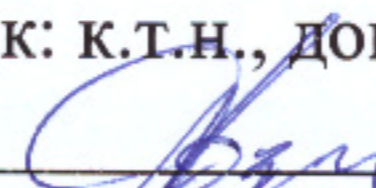
## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:


«Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів  
на станції технічного обслуговування»

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

  
Соколов Д.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. доц. каф. КЕМСК  
  
Розводюк М.П.  
(прізвище та ініціали)

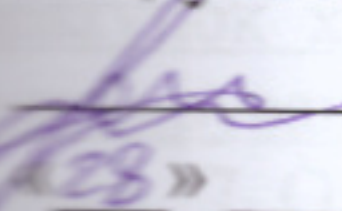
«21» 11 2023 р.

Опонент: проф. каф. ЕСС, к.т.н., проф.  
  
Рудаченко О.Є.  
(прізвище та ініціали)

«11» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри КЕМСК

  
к.т.н., доц. Мошноріз М.М.  
«28» 11 2023 р.

Протокол №7



Львівський національний технічний університет  
Факультет Електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Напрямок знань – 14 Електрична інженерія  
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Спеціалізована освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

«24» 10 2023 року

## **З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

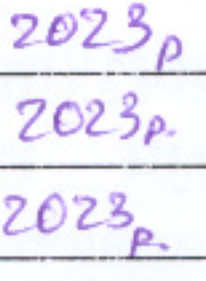
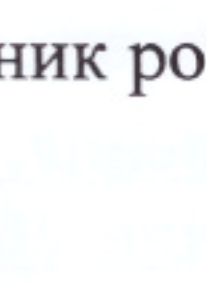
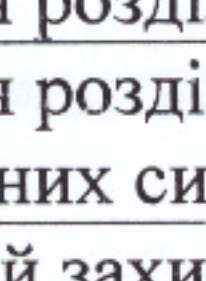

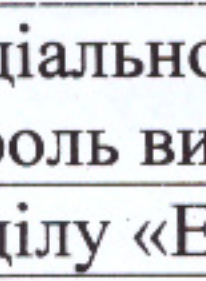

Соколову Дмитру Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування
2. Керівник роботи Розводюк М.П., к.т.н., доцент кафедри КЕМСК  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09 2023 року № 247
4. Строк подання студентом роботи «28» 11 2023 року
5. Вихідні дані до роботи
6. Інформація з Інтернет-джерел, патентів, науково-технічних журналів, монографій, підручників про автоматизацію вентиляційних установок.
7. Зміст текстової частини:
  1. Аналіз технологічного процесу.
  2. Розрахунок потужності електричного двигуна.
  3. Вибір системи керування електропривода та вибір силових агрегатів.
  4. Розрахунок характеристик електродвигуна.
  5. Розробка та дослідження роботи системи керування електроприводом.
  6. Розробка схеми автоматизації вентиляційної установки.
  7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
  8. Економічна частина.
8. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
9. Мета і задачі дослідження; 2. Об'єкт та предмет дослідження; 3. Загальна характеристика системи вентиляції на СТО; 4. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода; 5. Розрахунок характеристик асинхронного двигуна; 6. Структура системи ПЧ-АД при керуванні за потокозчепленням ротора; 7. Схеми системи електропривода та асинхронного двигуна в середовищі Simulink



(Matlab); 8. Дослідження системи електропривода при оптимізованих параметрах; 9. Програма контролера Zelio Logic; 10. Параметри програми контролера Zelio Logic; 11. Схема електрична принципова; 12. Новизна та практичне значення одержаних результатів. Апробація результатів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Розводюк М.П., к.т.н., доцент	24.10.2023р. 	21.11.2023р. 
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент	24.10.2023р. 	21.11.2023р. 
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., завідувач кафедри, професор	24.10.2023р. 	28.11.2023р. 

7. Дата видачі завдання «24» 10 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	03.10.2023р.	Протокол КЕМЕК №3
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2023р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	28.11.2023р.	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2023р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.11.2023р.	
6	Попередній захист МКР	28.11.2023р.	
7	Нормоконтроль МКР	28.11.2023р.	
8	Рецензування МКР (опонування)	11.12.2023р.	
9	Захист МКР	12.12.2023р.	

Студент



Дмитро СОКОЛОВ

Керівник роботи



Михайло РОЗВОДЮК



## АНОТАЦІЯ

УДК 621.3

Соколов Д.В. Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця: ВНТУ, 2023. 105 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 29 назв; рис.: 42; табл.: 13.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування та систему її автоматизації основі контролера Zelio Logic фірми Schneider Electric, що дозволяє контролювати температуру, вологість та концентрацію вихлопних газів в межах заданих значень, чим забезпечується ефективна робота обслуговуючого персоналу.

У загальній частині роботи проведено аналіз особливості функціонування вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування. У розрахунковій частині розроблено векторну систему електропривода з частотним перетворювачем ATV930U75M серії Altivar Process ATV900 фірми Schneider Electric, що дозволяє отримати якісні характеристики та мінімізацію споживання електроенергії. Для даної системи електропривода здійснено з використанням математичного пакету Mathcad оптимізацію контурів регулювання та досліджено з використанням математичного пакету Matlab поведінку системи електропривода в статичному та динамічному режимах.

У технологічній частині розроблено автоматизацію системи вентиляційної установки з використанням контролера Zelio Logic типу SR3B261BD фірми Schneider Electric.

Графічна частина складається з 13 плакатів із результатами моделювання.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення,



дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

В економічному розділі проведено розрахунок капітальних вкладень. Розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати.

Ключові слова: автоматизація, електропривод, частотний перетворювач, станція технічного обслуговування, Schneider Electric, Zelio Logic



## ABSTRACT

Sokolov D.V. The electric drive of the ventilation unit for the removal of exhaust gases at the maintenance station. Master's qualification work on specialty 141 – Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - Electromechanical automation systems and electric drive. Vinnytsia: VNTU, 2023. 105 p.

In Ukrainian speech. Bibliography: 29 titles; fig.: 42; tab.: 13.

In the master's qualification work, an electric drive of a ventilation unit for removing exhaust gases at a maintenance station and a system for its automation based on the Zelio Logic controller of the Schneider Electric company were developed, which allows to control the temperature, humidity and concentration of exhaust gases within the specified values, which ensures the effective work of the service personnel.

In the general part of the work, an analysis of the functioning of the ventilation unit for the removal of exhaust gases at the maintenance station was carried out. In the calculation part, a vector electric drive system with an ATV930U75M frequency converter of the Schneider Electric Altivar Process ATV900 series was developed, which allows obtaining high-quality characteristics and minimizing electricity consumption. For this electric drive system, the optimization of the control contours was carried out using the Mathcad mathematical package, and the behavior of the electric drive system in static and dynamic modes was investigated using the Matlab mathematical package.

In the technological part, the automation of the ventilation system was developed using the Zelio Logic SR3B261BD type controller from Schneider Electric.

The graphic part consists of 13 posters with simulation results.

In the occupational health and safety section, issues such as the causes of occurrence, effects on the human body, and regulation of harmful and dangerous production factors in the production premises are elaborated; map of working conditions (justification of the choice of standardized values of harmful and dangerous production



factors, assessment of factors of production and labor processes, hygienic assessment of working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, as well as fire safety regulations were considered.

In the economic section, capital investments are calculated. Calculated basic salary, electricity costs, planned repairs and other costs.

Keywords: automation, electric drive, frequency converter, maintenance station, Schneider Electric, Zelio Logic.



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ</b> .....	8
1.1 Загальна характеристика системи вентиляції на СТО .....	8
1.2 Характеристика електрообладнання .....	12
<b>2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА</b> .....	15
<b>3 ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ВИБІР СИЛОВИХ АГРЕГАТИВ</b> .....	16
3.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода .....	16
3.2 Вибір електродвигуна та частотного перетворювача.....	19
<b>4 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНА</b> .....	23
4.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна .....	23
4.2 Розрахунок параметрів двигуна при номінальному навантаженні.....	25
4.3 Розрахунок пускового та максимальних моментів.....	29
4.4 Розрахунок характеристик асинхронного двигуна.....	30
<b>5 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ</b> .....	33
<b>6 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ</b> .....	45
<b>7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> ..	56
7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації вентиляційної установки.....	56
7.1.1 Вимоги до організації робочого місця обслуговуючого персоналу .....	56
7.1.2 Електробезпека .....	58
7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....	60
7.2.1 Мікроклімат .....	60
7.2.2 Склад повітря робочої зони.....	61
7.2.3 Виробниче освітлення .....	62
7.2.4 Виробничий шум.....	63
7.2.5 Виробничі вібрації .....	64



7.2.6 Психофізіологічні фактори .....	65
7.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи вентиляції в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій .....	66
7.3.1 Дослідження стійкості роботи системи вентиляції .....	67
7.3.2 Дослідження стійкості роботи системи вентиляції в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	69
<b>8 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>73</b>
8.1 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	75
8.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань .....	75
8.3 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу .....	75
8.4 Розрахунок витрат на силову електроенергію .....	77
8.5 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання .....	78
8.6 Інші витрати.....	80
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>82</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>83</b>
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання .....	87
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	91
Додаток В (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	105



## ВСТУП

**Актуальність теми.** При роботі автомобілів на станції технічного обслуговування (СТО) виділяється велика кількість шкідливих речовин, які негативно позначаються на здоров'ї робочого персоналу. Крім того, на СТО у мийному відділенні завжди є наявність надлишкової вологості. Тому потрібно видаляти з робочої зони персоналу вуглекислий та чадний газ, вологість, контролюючи при цьому і температуру в будівлі. Для вирішення останньої задачі повинен бути передбачений кондиціонер та система подачі тепла в цех та теплові завіси на воротах, через які заїжджає транспорт.

Виходячи з цього, постає комплексна задача щодо розробки електропривода вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування та системи автоматизації, яка б контролювала б описані вище процеси з урахуванням економічності та високої продуктивності. А тому питання, що розглядається, є актуальним.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася відповідно науково-дослідної роботи кафедри Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів «Розробка математичних моделей процесів, що протікають в електричних та енергетичних системах, інформаційно-вимірювальних систем та систем автоматичного та автоматизованого керування цими процесами» [1].

**Мета і завдання роботи.** Метою роботи є контроль параметрів робочої зони (температури, вологості, вихлопних газів) обслуговуючого персоналу на СТО за рахунок розробки електропривода вентиляційної установки та системи автоматизації.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1) здійснити аналіз технологічного процесу та встановити основні фактори, що впливають на здоров'я обслуговуючого персоналу, визначити основні системи, що дозволяють їх контролювати;



2) розрахувати потужність електричного двигуна та з урахуванням техніко-економічних показників обрати відповідну систему керування ним;

3) здійснити розрахунок та моделювання статичних і динамічних режимів роботи системи електропривода;

4) розробити систему автоматизації вентиляторної установки;

5) розглянути питання з охорони праці та економічні питання.

Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.

**Об'єктом дослідження** в роботі є процеси зміни мікроклімату робочої зони обслуговуючого персоналу на СТО.

**Предметом дослідження** є математична модель та структура системи електропривода вентиляційної установки та її система автоматизації.

**Методи дослідження.** Для вирішення і аналізу поставлених задач використані методи: теорія автоматичного керування, теорія систем керування електроприводами, математичне моделювання.

**Новизна одержаних результатів.** У роботі отримано такий новий результат: запропоновано систему автоматизації вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на СТО на основі контролера Zelio Logic фірми Schneider Electric, що дозволяє контролювати температуру, вологість та концентрацію вихлопних газів в межах заданих значень, чим забезпечується ефективна робота обслуговуючого персоналу.

**Практичне значення одержаних результатів.** Використання запропонованої системи вентиляційної установки забезпечить мінімізацію електроспоживання при дотриманні заданих показників мікроклімату робочої зони обслуговуючого персоналу. Використання частотних перетворювачів для асинхронних двигунів дозволить підвищити надійність установки при мінімальних затратах на її обслуговування.

**Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.** Основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців



«Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 15.10.2023 – 20.05.2024.

**Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи.**  
Основний зміст роботи опубліковано в 1 тезі [29].



# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

## 1.1 Загальна характеристика системи вентиляції на СТО

На СТО система видалення вихлопних газів є необхідною складовою, оскільки перебування в приміщенні з увімкненим двигуном є небезпечним через загазованість повітря, що може призвести до смертельного результату. В більшості випадків наявна система вентиляції є недостатньою. А тому використання системи видалення вихлопних газів забезпечує необхідний рівень гранично-допустимих концентрацій у робочій зоні [2], [3].

Спроектована вентиляція СТО є припливно-витяжною з природним і механічним припливом і має влаштування місцевих відсмоктувачів від транспорту, що виїжджає.

У роботі використовується припливна автоматизована камера в комплекті з автоматикою та вузлом захисту від заморожування калориферів.

Зовнішній вигляд СТО показаний на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд СТО



Загальнообмінна вентиляція з механічним припливом розрахована на асиміляцію шкідливих речовин (оксиди вуглецю та оксиду азоту) до меж, що нормуються.

Видалення повітря проводиться системами механічної вентиляції: 50%-даховими вентиляторами з верхньої зони та 50%-каналними вентиляторами із нижньої зони. Передбачено одноразову витяжку з верхньої зони через дефлектор.

У ремонтному відділенні (рисунок 1.2) спроектовані системи видалення вихлопних газів від автотранспорту за допомогою каналних витяжних ECOSYS A 21/2 італійської фірми Filcar (рисунок 1.3), які обладнані електроприводами з пультами та витяжними шлангами. Витяжні котушки об'єднані в системи, обладнані високооборотними радіальними вентиляторами.

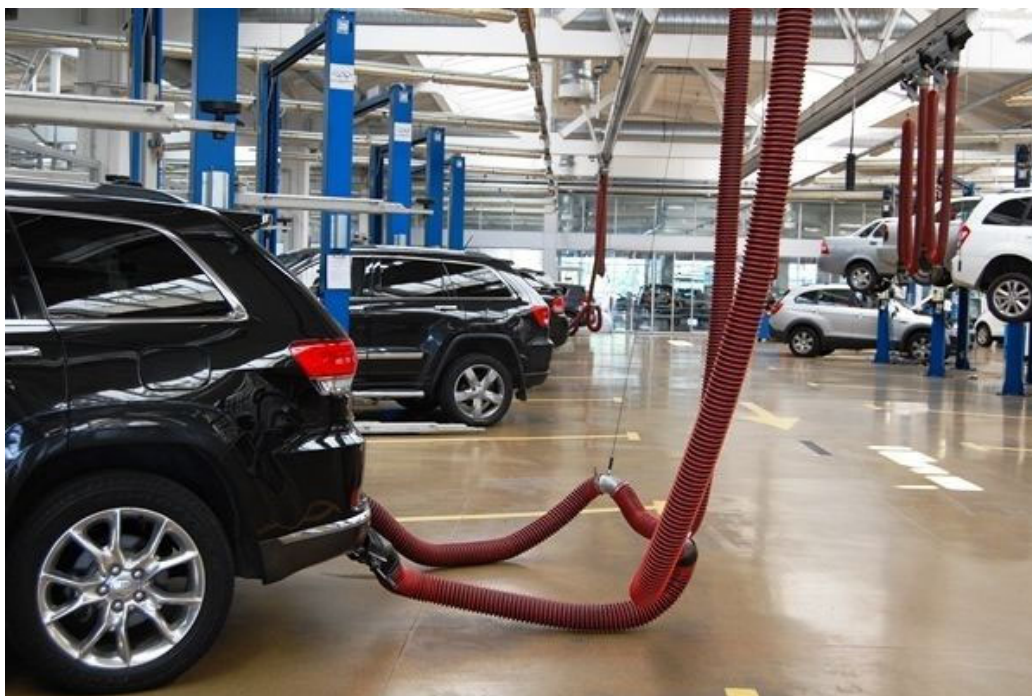


Рисунок 1.2 – Ремонтне відділення

Основними шкідливими речовинами у приміщенні автомийки є оксиди вуглецю та оксиди азоту при в'їзді та виїзді автотранспорту, вологовиділення при митті автотранспорту апаратом високого тиску «Kercher».



Рисунок 1.3 – Канальна витяжка ECOSYS A 21/2

В ремонтному відділенні в повітря потрапляє чадний газ, пари нафтопродуктів та фреонів. У ньому присутні частинки олії, лакофарбових матеріалів та розчинників.

Все це сприяє виникненню умов, небезпечних для здоров'я майстрів та клієнтів. Вентиляція в автосервісі відіграє важливу роль у створенні сприятливої робочої атмосфери [4].

Завданнями вентиляції на СТО є:

- виключення можливості отруєння людей токсичними речовинами;
- зниження концентрації парів бензину та інших вибухонебезпечних речовин;
- підтримка комфортної температури у приміщеннях автосервісу;
- усунення специфічних запахів;
- забезпечення захисту техніки від впливу вогкості та агресивних речовин, що є у повітрі.

При облаштуванні вентиляції можуть бути допущені такі помилки:

- неправильна організація забору та виведення повітря. Його приплив має здійснюватися рівномірно у різних зонах приміщення. Вхідний потік направляється таким чином, щоб у повітря не піднімався пил, що осів.



Необхідно організувати також рівномірне та акуратне виведення забрудненого повітря;

– проведення розрахунків вентиляції людиною, яка не має спеціальних знань та навичок. Помилки в розрахунках можуть спричинити необґрунтоване завищення енерговитрат, а також швидко поломку обладнання;

– відмова від примусової вентиляції в надії, що для створення прийнятних умов буде достатньо природного провітрювання та встановлення опалювальних батарей.

Вентиляція для автомийки повинна забезпечити стабільний приплив очищеного повітря до приміщень для миття та сушіння автомобіля, що пройшов багатокілометровий шлях по запилених трасах або бездоріжжю. Для видалення бруду, слідів мазуту та бензину використовуються автомобільні шампуні, гелі, здатні викликати у людей подразнення дихальних шляхів та алергію. Підвищена вологість може спричинити утворення плісняви, сприяти розмноженню вірусів та бактерій. За відсутності якісної примусової вентиляції у приміщенні буде накопичуватися конденсат, будівельні конструкції руйнуватимуться від корозії.

Потрібний точний розрахунок повітрообміну, монтаж вентиляції, що виключає протяги. Враховується тип автомийки (пристрій порталного, тунельного, безконтактного миття), а також розташування водопровідних труб, каналізації, електроустаткування. Відповідно до норм кратність повітрообміну повинна бути не менше 5, температура повітря, що подається повинна бути не нижче  $+15^{\circ}\text{C}$ . На в'їзді встановлюється повітряно-теплова завіса.

Приплив спроектований механічним, який розосереджений у робочу зону та оглядову яму.

У приміщенні ремонтного відділення спроектоване місцеве відсмоктування від електричного вулканізатора – панель рівномірного всмоктування, що забезпечує вловлювання теплових надлишків та сірчистих пар.

Під час пожежі передбачено централізоване відключення припливних та витяжних систем шляхом припинення подачі електроживлення на розподільні щити.

## 1.2 Характеристика електрообладнання

Електрообладнання вентиляційної установки СТО містить такі вузли:

- вузол керування теплопостачанням;
- вузол теплопостачання припливних установок;
- теплові завіси;
- припливні установки.

Вузол керування теплопостачанням складається з насоса циркуляційного, потужністю 180 Вт, насоса вихрового реверсивного потужністю 300 Вт та клапана регульованого муфтового з електроприводом (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Триходовий регулюючий клапан з електроприводом

Вузол теплопостачання припливних установок складається з циркуляційного насоса потужністю 430 Вт, автоматичного комбінованого балансувального клапану з фланцевим з'єднанням з електроприводом, регульованого кульового клапану з електроприводом поворотним (рисунок 1.5).





Рисунок 1.5 – Балансуєчий клапан

Теплові завіси (рисунок 1.6) складаються з пульта управління, кінцевого вимикача, термостатів, електропривода поворотного крана і шафи розподільної.



Рисунок 1.6 – Теплова завіса

Припливні установки мають витрату повітря 6690 м<sup>3</sup>/год або 9955 м<sup>3</sup>/год і напір 300 Па і включають в себе: щит управління з процесором, клапан утеплений повітрозабірний з виконавчим механізмом потужністю 0,006 кВт і потужністю тенів 2 кВт, що регулюється поворотним електроприводом, вентилятор радіальний з ремінним приводом з електроприводом 3 кВт і 5 кВт (рисунок 1.7), капілярний термостат від заморожування, сенсор перепаду тиску для контролю запилення фільтра, сенсор перепаду тиску для роботи вентилятора (рисунок 1.8).



Рисунок 1.7 – Припливна установка



Рисунок 1.8 – Вентилятор радіальний з ремінним приводом



## 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА

Попередньо розрахуємо потужність електричного двигуна та виберемо з каталогу найближчу для нього потужність для подальших розрахунків.

Розрахункова потужність двигуна з врахуванням коефіцієнта запасу [5]:

$$P = \frac{Lp}{1000\eta} \cdot k_3, \quad (2.1)$$

де  $L$  – подача повітря ( $L = 9955 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$p$  – тиск на виході ( $p = 300 \text{ Па}$ ;

$\eta$  – ККД вентилятора ( $\eta = 0,65$ );

$k_3$  – коефіцієнт запасу потужності ( $k_3 = 1,1$ ).

$$P = \frac{9955 \cdot 300}{1000 \cdot 0,65} \cdot 1,1 = 5,054 \text{ (кВт)}.$$

З каталогу [6] обираємо електричний двигун на 5,5 кВт.

## 3 ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ВИБІР СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ

### 3.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Розглянемо такі системи керування електроприводом:

- 1) асинхронний двигун з частотним перетворювачем (ПЧ-АД);
- 2) асинхронний двигун з тиристорним регулятором напруги (ТРН-АД);
- 3) двигун постійного струму з тиристорним перетворювачем (ТП-Д);
- 4) двигун постійного струму з широтно-імпульсним модулятором (ШИМ-Д);

Розглянемо ці варіанти з економічної точки зору. Використовуємо метод зведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (3.1)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_n = 0,12$ );

$K$  – капіталовкладення, в які входять вартість двигуна  $D$  та системи керування  $СК$ ;

$C$  – собівартість:

$$C = C_a + C_0 + C_{\Delta W}, \quad (3.2)$$

де  $C_0$  – витрати на обслуговування і ремонт:

$$C_0 = k_0 E_0 \cdot K, \quad (3.3)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт обслуговування і ремонту;

$C_a$  – амортизаційні відрахування:

$$C_a = E_a \cdot K, \quad (3.4)$$

де  $E_a = 0,05$ ;



$C_{\Delta W}$  – витрати на електроенергію ( $E_0 = 0,015$ ),

$$C_{\Delta W} = m_0 \cdot \Delta W, \quad (3.5)$$

де  $m_0$  – вартість електроенергії ( $m_0 = 5$  грн/кВт год);

$\Delta W$  – кількість втраченої електроенергії за рік:

$$\Delta W = \Delta P \cdot T_p, \quad (3.6)$$

де  $T_p$  – річний час роботи обладнання ( $T_p = 2496$  год.);

Втрати потужності:

$$\Delta P = k_p k_z \cdot P_n \cdot (1 - \eta_d) / \eta_d, \quad (3.7)$$

де  $k_z$  – коефіцієнт завантаження ( $k_z = 0,95$ );

$\eta_d$  – ККД двигуна ( $\eta_d = 0,94$ );

$k_p$  – коефіцієнт, що враховує втрати.

Ціни взято з [7] – [9].

В результаті розрахунків, отримано економічні показники, приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння економічних показників систем електроприводів

Показники	Тип системи			
	ПЧ-АД	ТРН-АД	ТП-Д	ШІМ-Д
Потужність двигуна $P_n$ , кВт	5,5			
Вартість двигуна ( $D$ ), грн.	10580	10580	16920	16920
Вартість системи керування ( $CK$ ), грн.	51253	41830	43280	44560
Капіталовкладення $K = D + CK$ , грн	61833	52410	60200	61480

Продовження таблиці 3.1

Показники	Тип системи			
	ПЧ-АД	ТРН-АД	ТП-Д	ШІМ-Д
$E_a$	0,05			
Амортизаційні відрахування $C_a = E_a \cdot K$ , грн.	3092	2621	3010	3074
$E_0$	0,015			
Коефіцієнт обслуговування і ремонту $k_0$	0,12	0,31	0,83	0,82
Витрати на обслуговування і ремонт $C_0 = k_0 E_0 K$ , грн.	111	244	749	756
Вартість електроенергії $m_0$ , грн/кВт год	5			
Коефіцієнт завантаження $k_3$	0,95			
Річний час роботи $T_p$ , год	2496			
ККД $\eta_\partial$ , %	0,94			
Коефіцієнт, що враховує втрати $k_p$	0,10	0,71	0,87	0,75
Втрати потужності $\Delta P = k_p k_3 \cdot P_n \cdot (1 - \eta_\partial) / \eta_\partial$ , кВт	0,03	0,24	0,29	0,25
Кількість втраченої електроенергії за рік $\Delta W = \Delta P \cdot T_p \cdot k_\omega$ , кВт	83	591	724	624
Витрати на електроенергію $C_{\Delta W} = m_0 \cdot \Delta W$ , грн	416	2955	3621	3122
Собівартість $C = C_a + C_0 + C_{\Delta W}$ , грн.	3619	5819	7381	6952
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності $E_n$	0,12			
Зведені витрати $Z = E_n \cdot K + C$ , грн.	11 039	12 109	14 605	14 329



Як видно з таблиці 3.1, за зведеними витратами кращою є система ПЧ-АД.

### 3.2 Вибір електродвигуна та частотного перетворювача

Обираємо асинхронний двигун типу 4A112M4 [6] з параметрами, приведеними в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Паспортні дані двигуна АИР 112М4

Параметр	Значення
Номінальна потужність $P_{ном}$ , кВт	5,5
Номінальна напруга $U_{ном}$ , В	380
Номінальний струм $I_{ном}$ , А	11,7
Номінальна частота $f_{ном}$ , Гц	50
Номінальна швидкість обертання $n_{ном}$ , об/хв	1440
Коефіцієнт потужності $\cos\phi$ , в.о.	0,83
Номінальний ККД $\eta_{ном}$ , %	85,7
Момент інерції $J$ , кг·м <sup>2</sup>	0,0236
Кратність максимального моменту $M_{max}/M_{ном}$	2,3
Кратність пускового моменту $M_n/M_{ном}$	2,3
Кратність пускового струму $I_n/I_{ном}$	7

Перетворювач частоти обираємо з умови:

$$\begin{cases} P_{ном} \leq P_{пч}, \\ I_{ном} \leq I_{пч}, \end{cases} \quad (3.8)$$

де  $P_{пч}$  – потужність перетворювача частоти;

$I_{пч}$  – струм перетворювача частоти.

Виходячи з таких умов, обираємо перетворювач частоти потужністю 7,5 кВт з каталожним номером ATV930U75M серії Altivar Process ATV900 фірми Schneider Electric [10] з параметрами, приведеними в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Паспортні дані перетворювача частоти ATV930U75M

Параметр	Значення
Номінальна потужність, кВт	7,5
Трифазна напруга живлення, В	220
Лінійний струм при 220 В, А	27,1
Лінійний струм при 240 В, А	22,6
Повна потужність, кВА	9,4
Максимальний струм КЗ, кА	50
Максимальний струм в усталеному режимі, А	32,7
Максимальний перехідний струм, А протягом 60 с	39,2
Маса, кг	13,8

Зовнішній вигляд перетворювача частоти ATV930U75M приведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти ATV930U75M

Altivar Process – це перетворювач частоти, який забезпечує скорочення експлуатаційних витрат у промислових галузях та галузях комунального



господарства, за допомогою вбудованих інтелектуальних сервісів та функціональності [11]:

- вбудований контроль та управління технологічним процесом;
- зниження споживання електроенергії при зупинці завдяки функції «Старт та стоп»;
- моніторинг відхилення поточного режиму насоса від максимальної ефективності;
- вбудоване вимірювання потужності та панель інструментів енергоспоживання;
- можливість конфігурування пристрою за допомогою технології Smart Process Object;
- технологія згладження гармонік та надійне охолодження;
- проста інтеграція до електромережі;
- повний набір функцій керування;
- захист та моніторинг виконавчого механізму;
- вбудований порт Ethernet для легкої інтеграції до комунікаційних мереж;
- компактна та модульна конструкція;
- місцеве та дистанційне управління (ПЛК, виносний термінал, ЧМІ);
- низький рівень гармонік (THDi < 48% при навантаженні 80% або THDi < 5% у перетворювачів з низькими гармоніками);
- вбудований Web-сервер;
- простота обслуговування (динамічний QR-код).

Переваги:

- впровадження управління обладнанням, енергоспоживанням та загальною продуктивністю;
- тривалість простоїв скорочено на 20% без додаткових витрат;
- запобіжне обслуговування на основі контролю технічного стану обладнання веде до сталого зниження витрат.

Перетворювач частоти Altivar Process ATV900 забезпечує широкі комунікаційні можливості та максимальну продуктивність двигуна:

- продовження роботи навіть у разі розриву з'єднання завдяки мережевим технологіям;

- ефективне керування будь-якими типами двигунів у розімкнутій або замкнутій системі регулювання;

- скорочення часу простою за рахунок ведення журналу подій та інтегрованого веб-сервера, які дозволяють усувати несправності за мінімальний час та забезпечують контроль своєчасності технічного обслуговування;

- прозорість технологічного процесу та передача даних у систему керування за допомогою зведеного порту Ethernet.

Постійний контроль параметрів технологічного процесу:

- керування моментом та швидкістю при використанні еластичних або жорстких з'єднань;

- можливість використання обміну даними між перетворювачами частоти: повний контроль за обладнанням за будь-яких типів з'єднань у режимі "провідний/відомий";

- повний список захисних функцій для зниження часу простою та підвищення ефективності.

Інтелект у режимі реального часу Веб-сервер та Ethernet-сервіси:

- віддалений та місцевий доступ до редагованих інформаційних панелей та даних енергоспоживання завжди та скрізь за наявності персонального комп'ютера, смартфона або планшета;

- можливість контролювати технологічний процес із використанням стандартних інструментів завдяки створеному на базі Ethernet-технологій інтегрованому веб-серверу.



## 4 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНА

### 4.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна

Фазна напруга обмотки статора [12]:

$$U_{1\phi n} = U_{ном}. \quad (4.1)$$

Фазний струм обмотки статора:

$$I_{1\phi n} = \frac{I_{ном}}{\sqrt{3}}, \quad (4.2)$$

$$I_{1\phi n} = \frac{11,7}{\sqrt{3}} = 6,76 \text{ (A)}.$$

Схема заміщення асинхронного двигуна приведена на рисунку 4.1.

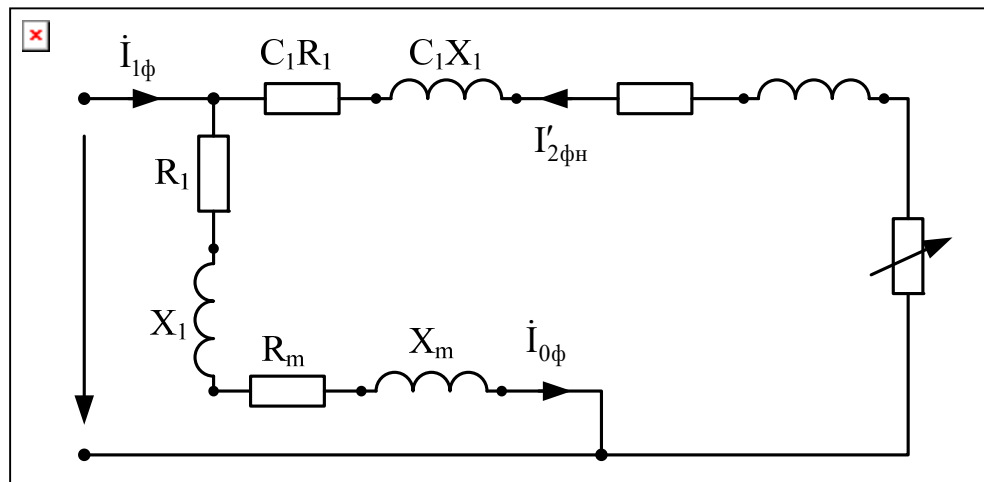


Рисунок 4.1 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Активна потужність, що споживається двигуном на холостому ході:

$$P_0 = 3U_{1\phi n} I_{0\phi} \cos \varphi_0, \quad (4.3)$$

де  $I_{0\phi}$  – струм холостого ходу ( $I_{0\phi} = 4,8 \text{ A}$ );

$\cos \varphi_0$  – коефіцієнт потужності на холостому ході ( $\cos \varphi_0 = 0,09$ ).

$$P_0 = 3 \cdot 380 \cdot 4,8 \cdot 0,09 = 492,5 \text{ (Вт)}.$$

Електричні втрати в обмотці статора на холостому ході:

$$\Delta p_{el10} = 3I_{0\phi}^2 R_1, \quad (4.4)$$

де  $R_1$  – активний опір обмотки статора ( $R_1 = 1,61 \text{ Ом}$ ).

$$\Delta p_{el10} = 3 \cdot 4,8^2 \cdot 1,61 = 111,28 \text{ (Вт)}.$$

Втрати потужності в сталі статора (магнітні втрати):

$$\Delta p_{m1} = P_0 - \Delta p_{el1} - \Delta p_{mex}, \quad (4.5)$$

де  $\Delta p_{mex}$  – механічні втрати ( $\Delta p_{mex} = 60 \text{ Вт}$ ).

$$\Delta p_{m1} = 492,5 - 111,28 - 60 = 321,2 \text{ (Вт)}.$$

Повний опір обмотки статора:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}, \quad (4.6)$$

де  $X_1$  – індуктивний опір обмотки статора ( $X_1 = 4,2 \text{ Ом}$ ).

$$Z_1 = \sqrt{1,61^2 + 4,2^2} = 4,5 \text{ (Ом)}.$$

Повний опір двигуна в режимі холостого ходу:

$$Z_0 = \frac{U_{1\phi n}}{I_{0\phi}}, \quad (4.7)$$

$$Z_0 = \frac{380}{4,8} = 79,16 \text{ (Ом)}.$$

Опори кола намагнічування схеми заміщення:

➤ повний

$$Z_m = Z_0 - Z_1; \quad (4.8)$$

➤ активний

$$R_m = \frac{\Delta p_{m1}}{3I_{0\phi}^2}; \quad (4.9)$$

➤ реактивний

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}. \quad (4.10)$$

В результаті розрахунків отримаємо:  $Z_m = 74,66$  Ом;  $R_m = 4,65$  Ом;  
 $X_m = 74,52$  Ом.

Коефіцієнт схеми заміщення:

$$C_1 = 1 + \frac{X_1}{X_m}, \quad (4.11)$$

$$C_1 = 1 + \frac{4,2}{74,52} = 1,056.$$

Параметри головної вітки схеми заміщення:  $C_1 R_1 = 1,7$  Ом;  
 $C_1 X_1 = 4,44$  Ом;  $C_1^2 R_2' = 2,79$  Ом;  $C_1^2 X_2' = 4,91$  Ом.

## 4.2 Розрахунок параметрів двигуна при номінальному навантаженні

Номінальне ковзання [13]:

$$s_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1}, \quad (4.12)$$

де  $n_1$  – синхронна частота обертання магнітного поля,

$$s_H = \frac{1500 - 1440}{1000} = 0,04.$$



Повний опір головної вітки схеми заміщення:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{\left(C_1 R_1 + \frac{C_1^2 R_2'}{s_H}\right)^2 + (C_1 X_1 + C_1^2 X_2')^2}, \quad (4.13)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{\left(1,7 + \frac{2,79}{0,04}\right)^2 + (4,44 + 4,91)^2} = 72,05 \text{ (Ом)}.$$

Приведений струм ротора:

$$I'_{2\phi} = \frac{U_{1\phi H}}{Z_{\Sigma}}, \quad (4.14)$$

$$I'_{2\phi} = \frac{380}{72,05} = 5,27 \text{ (А)}.$$

Косинус і синус кута між векторами  $\dot{U}_{1\phi H}$  і  $I'_{2\phi}$ :

$$\cos \varphi'_2 = \frac{C_1 R_1 + \frac{C_1^2 R_2'}{s_H}}{Z_{\Sigma}}; \quad (4.15)$$

$$\sin \varphi'_2 = \frac{C_1 X_1 + C_1^2 X_2'}{Z_{\Sigma}}. \quad (4.16)$$

В результатів розрахунків отримаємо:  $\cos \varphi'_2 = 0,992$ ;  $\sin \varphi'_2 = 0,13$ .

Активна і реактивна складові струму головної вітки:

$$I'_{2a} = I'_{2\phi} \cos \varphi'_2; \quad (4.17)$$

$$I'_{2p} = I'_{2\phi} \sin \varphi'_2. \quad (4.18)$$

В результатів розрахунків отримаємо:  $I'_{2a} = 5,23 \text{ А}$ ;  $I'_{2p} = 0,68 \text{ А}$ .

Активна і реактивна складові струму холостого ходу:

$$I_{0a} = I_{0\phi} \cos \varphi_0; \quad (4.19)$$

$$I_{0p} = I_{0\phi} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}. \quad (4.20)$$

В результаті розрахунків отримаємо:  $I_{0a} = 0,43$  А;  $I_{0p} = 4,78$  А.

Активна і реактивна складові повного струму статора:

$$I_{1a} = I_{0a} + I'_{2a}; \quad (4.21)$$

$$I_{1p} = I_{0p} + I'_{2p}. \quad (4.22)$$

В результаті розрахунків отримаємо:  $I_{1a} = 5,66$  А;  $I_{1p} = 5,47$  А.

Номінальний фазний струм, що споживається двигуном із мережі:

$$I_{1\phi n} = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}, \quad (4.23)$$

$$I_{1\phi n} = \sqrt{5,66^2 + 5,47^2} = 7,87 \text{ (А)}.$$

Коефіцієнт потужності двигуна:

$$\cos \varphi_{1n} = \frac{I_{1a}}{I_{1\phi n}}, \quad (4.24)$$

$$\cos \varphi_{1n} = \frac{5,66}{7,87} = 0,72.$$

Номінальна активна потужність, що споживається двигуном із мережі:

$$P_{1n} = 3U_{1\phi n} I_{1\phi n} \cos \varphi_{1n}, \quad (4.25)$$

$$P_{1n} = 3 \cdot 380 \cdot 7,87 \cdot 0,72 = 6,454 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}.$$

Втрати потужності в двигуні:

– в обмотці статора

$$\Delta p_{e1} = 3I_{1\phi H}^2 R_1; \quad (4.26)$$

– в обмотці ротора

$$\Delta p_{e2} = 3I_{2\phi}^2 C_1^2 R_2'; \quad (4.27)$$

– додаткові

$$\Delta p_{\partial} = 0,005P_{1H}. \quad (4.28)$$

В результатів розрахунків отримаємо:  $\Delta p_{e1} = 299,04$  Вт;  $\Delta p_{e2} = 232,78$  Вт;  
 $\Delta p_{\partial} = 32,27$  Вт.

Сумарні втрати потужності в двигуні:

$$\Delta p_{\Sigma} = \Delta p_{e1} + \Delta p_{e2} + \Delta p_{\partial} + \Delta p_{m1} + \Delta p_{mex}, \quad (4.29)$$

$$\Delta p_{\Sigma} = 299,04 + 232,78 + 32,27 + 321,2 + 60 = 945,29 \text{ (Вт)}.$$

Корисна потужність на валу:

$$P_{2H} = P_{1H} - \Delta p_{\Sigma}, \quad (4.30)$$

$$P_{2H} = 6,454 \cdot 10^3 - 945,29 = 5,509 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}.$$

Кількість пар полюсів обмотки статора:

$$p = \frac{60 f_1}{n_1}. \quad (4.31)$$

$$p = \frac{60 \cdot 50}{1000} = 3.$$

Номінальний електромагнітний обертовий момент двигуна:



$$M_n = \frac{3pU_{1\phi n}^2 \frac{C_1^2 R_2'}{s_n}}{2\pi f_1 \left[ \left( C_1 R_1 + C_1^2 \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left( C_1 X_1 + C_1^2 X_2' \right)^2 \right]}. \quad (4.32)$$

В результатів розрахунків отримаємо  $M_n = 37$  Нм.

### 4.3 Розрахунок пускового та максимальних моментів

Пусковий момент двигуна (при ковзанні  $s = 1$ ):

$$M_n = \frac{3pU_{1\phi n}^2 C_1^2 R_2'}{2\pi f_1 \left[ \left( C_1 R_1 + C_1^2 R_2' \right)^2 + \left( C_1 X_1 + C_1^2 X_2' \right)^2 \right]}. \quad (4.33)$$

В результатів розрахунків отримаємо  $M_n = 71,6$  Нм.

Критичне ковзання:

$$s_{кр} = \frac{C_1^2 R_2'}{\sqrt{(C_1 R_1)^2 + (C_1 X_1 + C_1^2 X_2')^2}}. \quad (4.34)$$

В результатів розрахунків отримаємо  $s_{кр} = 0,294$ .

Максимальний момент:

$$M_{\max} = \frac{3pU_{1\phi n}^2}{4\pi f_1 \left[ \sqrt{(C_1 R_1)^2 + (C_1 X_1 + C_1^2 X_2')^2} + C_1 R_1 \right]}. \quad (4.35)$$

В результатів розрахунків отримаємо  $M_{\max} = 123,1$  Нм.

#### 4.4 Розрахунок характеристик асинхронного двигуна

Механічна характеристика  $s = f(M)$  показана на рисунку 4.2.

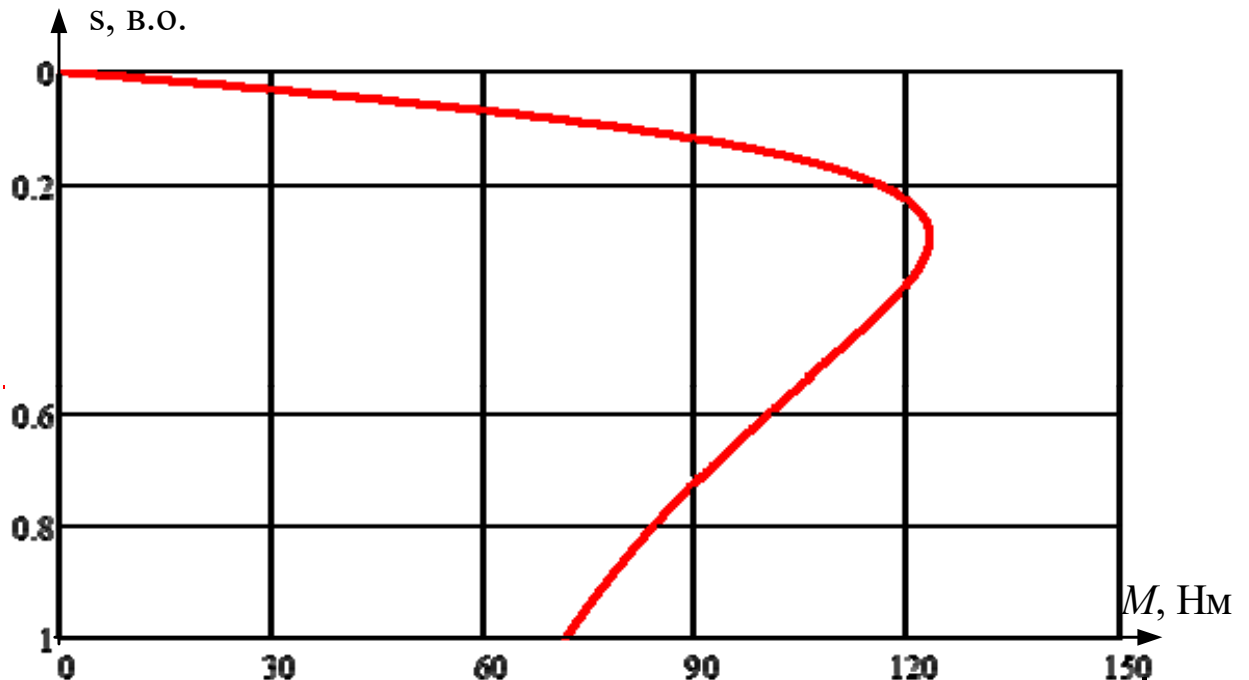


Рисунок 4.2 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

При частотному регулюванні швидкості обертання асинхронного двигуна використаємо формулу

$$M(n) = \frac{3pU_{1\phi n}^2 \frac{C_1^2 R'_2}{n_1 - n}}{2\pi f_1 \left[ \left( C_1 R_1 + C_1^2 \frac{R'_2}{n_1 - n} \right)^2 + (C_1 X_1 + C_1^2 X'_2)^2 \right]}. \quad (4.36)$$

При сталому моменті  $M = \text{const}$ :

$$\frac{U_{1\phi}}{f_1} = \text{const} \quad (4.37)$$

характеристики показані на рисунку 4.3.

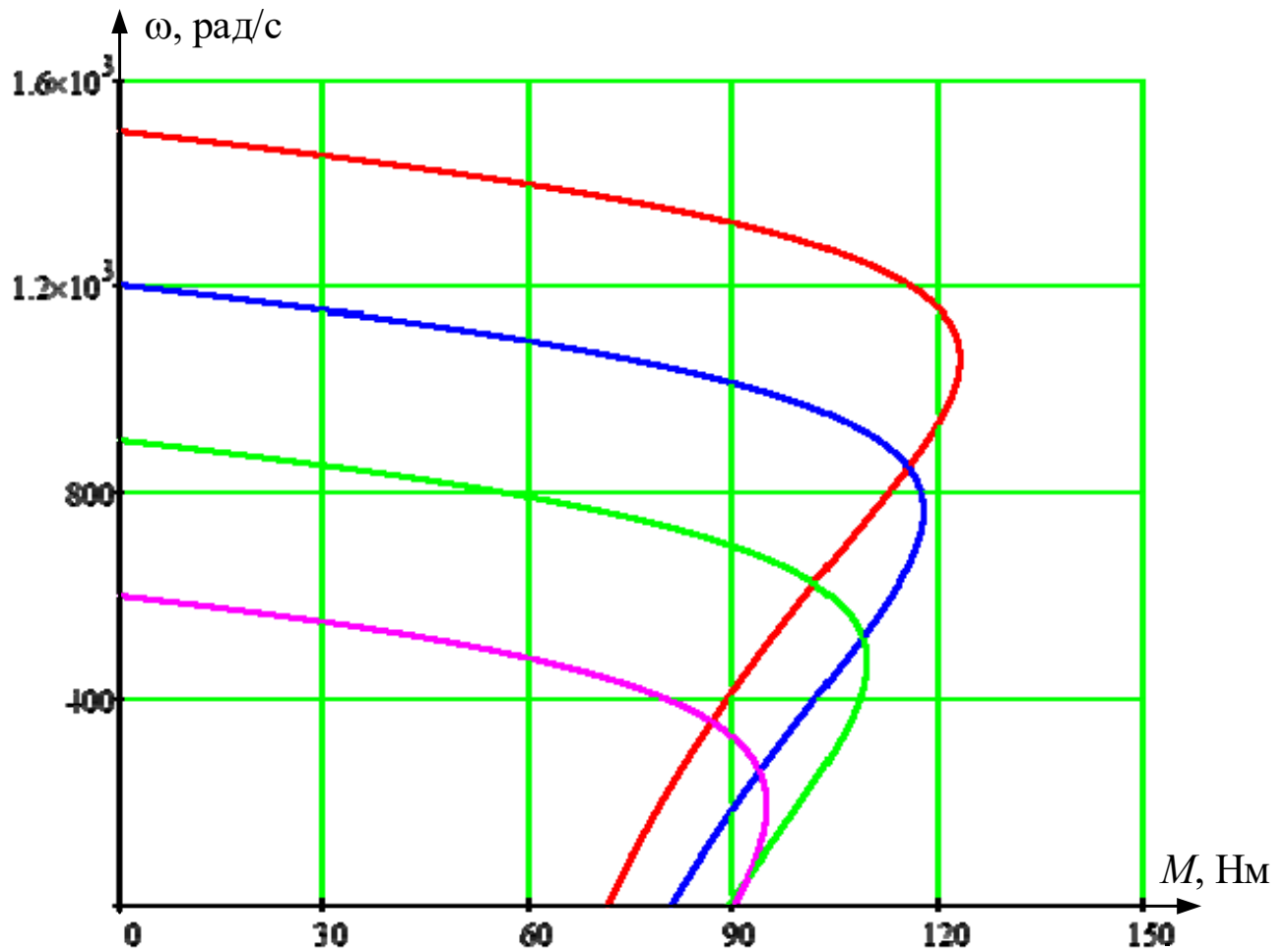


Рисунок 4.3 – Механічні характеристики АД при  $M = \text{const}$

При  $P_2 = \text{const}$ :

$$\frac{U_{1\phi}}{\sqrt{f_1}} = \text{const} \quad (4.38)$$

характеристики показані на рисунку 4.4.



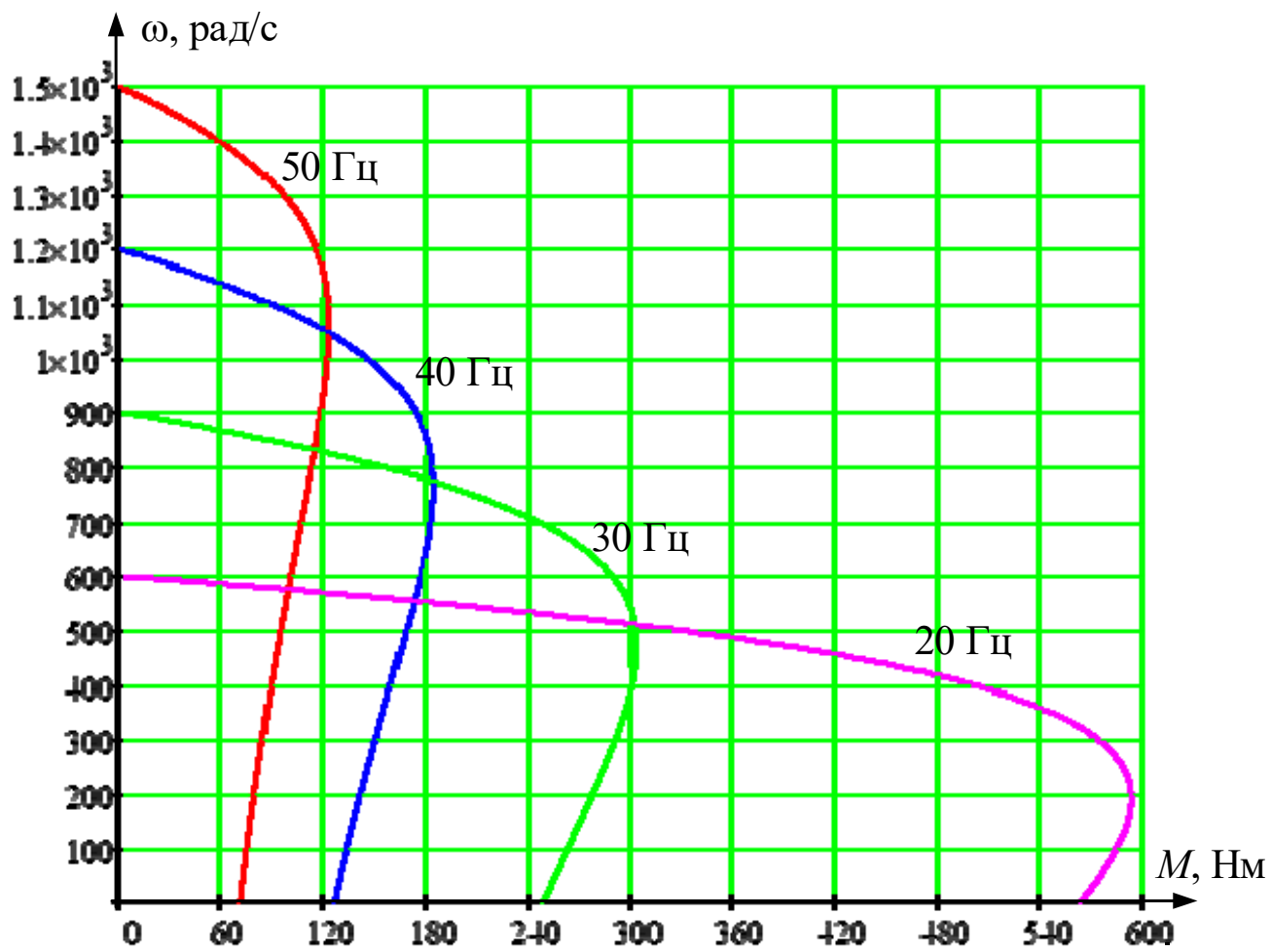


Рисунок 4.4 – Механічні характеристики АД при  $P_2 = \text{const}$

## 5 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Для частотного керування асинхронним двигуном обдremo векторний спосіб, який дозволяє максимально мінімізувати рівень споживання електроенергії [14] – [16]. Схему керування в такому випадку доцільно взяти за потокозчепленням ротора. Її зовнішній вигляд приведено на рисунку 5.1, вхідними каналами якої є потокозчеплення ротора (встановлено на рівні  $U_{\Psi r0} = 10 \text{ В}$ ), швидкість (встановлено на рівні напруги задання  $U_3 = 10 \text{ В}$ ), момент статичного навантаження  $M_c$ .

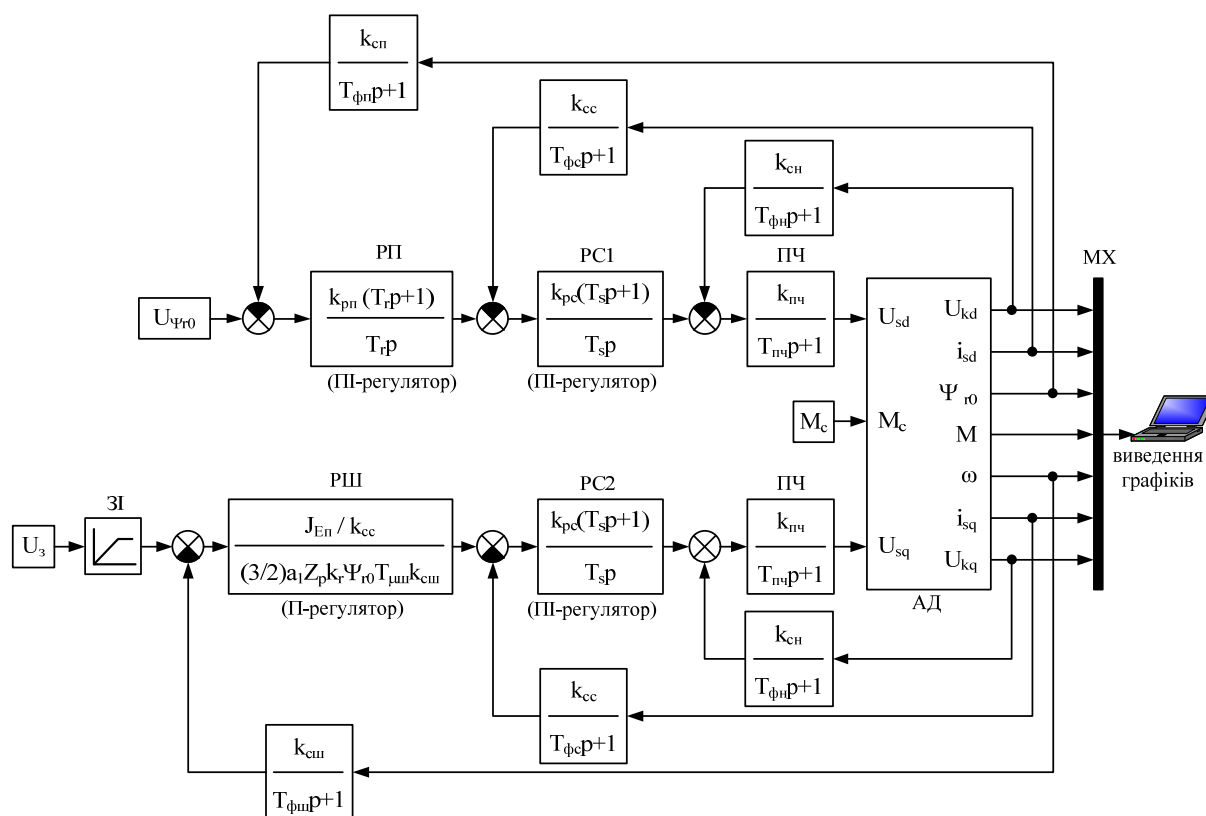


Рисунок 5.1 – Структурна схема системи ПЧ-АД

Кутова швидкість обертання (номінальна) [13]:

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60}, \quad (5.1)$$

де  $n_n$  – номінальна швидкість обертання двигуна.

$$\omega_n = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1440}{60} = 150,8 \text{ (рад/с)}.$$

Кутова частота напруги живлення статора:

$$\omega_s = 2\pi f, \quad (5.2)$$

де  $f$  – частота напруги живлення.

$$\omega_s = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,2 \text{ (с)}.$$

Синхронна кутова швидкість:

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_s}{60}, \quad (5.3)$$

де  $n_s$  – синхронна швидкість обертання валу двигуна ( $n_s = 1500$  об/хв).

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157,08 \text{ (рад/с)}.$$

Індуктивність [16]:

– розсіювання статора:

$$L_{sl} = \frac{X_{sl}}{\omega_s}, \quad (5.4)$$

де  $X_{sl}$  – індуктивний опір обмотки статора;

– розсіювання ротора:

$$L_{rl} = \frac{X'_{rl}}{\omega_s}, \quad (5.5)$$

де  $X'_{rl}$  – приведений індуктивний опір обмотки ротора;

– основного магнітного потоку:



$$L_m = \frac{X_m}{\omega_s}, \quad (5.5)$$

За результатами розрахунків отримано:  $L_{sl} = 0,011$  Гн;  $L_{rl} = 0,01$  Гн;  
 $L_m = 0,706$  Гн.

Індуктивності обмоток:

– статора:

$$L_s = L_{sl} + L_m, \quad (5.6)$$

– ротора:

$$L_r = L_{rl} + L_m. \quad (5.7)$$

$$L_s = 0,011 + 0,706 = 0,717 \text{ (Гн)}.$$

$$L_r = 0,01 + 0,706 = 0,716 \text{ (Гн)}.$$

Коефіцієнт зв'язку ротора:

$$k_r = \frac{L_m}{L_r}, \quad (5.8)$$

$$k_r = \frac{0,706}{0,716} = 0,986.$$

Сумарна індуктивність:

$$L'_s = L_{sl} + k_r L_{rl}, \quad (5.9)$$

$$L'_s = 0,011 + 0,986 \cdot 0,01 = 0,021 \text{ (Гн)}.$$

Постійна стала часу:

– статора:

$$T_s = \frac{L'_s}{R'}, \quad (5.10)$$

де  $R'$  – сумарний активний опір ( $R' = 13,021$  Ом);

– ротора:

$$T_r = \frac{L_r}{R_r}. \quad (5.11)$$

$$T_s = \frac{0,716}{13,021} = 1,644 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}.$$

$$T_r = \frac{0,716}{13,021} = 0,096 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт зв'язку:

– статора:

$$k_s = \frac{L_m}{L_s}, \quad (5.12)$$

$$k_s = \frac{0,706}{0,717} = 0,984;$$

– ротора:

$$k_r = \frac{L_m}{L_r}, \quad (5.13)$$

$$k_r = \frac{0,706}{0,716} = 0,986.$$

Потокозчеплення:

– статора

$$\Psi_{s0} = \frac{U_{\text{фн}}}{\omega_s}, \quad (5.14)$$

$$\Psi_{s0} = \frac{380}{314,2} = 1,21 \text{ (Вб)};$$

– ротора:

$$\Psi_{r0} = k_s \Psi_{s0}, \quad (5.15)$$

$$\Psi_{r0} = 0,984 \cdot 1,21 = 1,19 \text{ (Вб)}.$$

Передаточна функція перетворювача частоти:

$$W_{nc}(p) = \frac{k_{nc}}{T_{nc}p + 1}, \quad (5.16)$$

де  $k_{nc}$  – коефіцієнт підсилення:

$$k_{nc} = \frac{U_{\phi n}}{U_{on.max}}, \quad (5.17)$$

де  $U_{on.max}$  – амплітуда опорної синусоїдальної напруги ( $U_{on.max} = 10 \text{ В}$ );

$T_{nc}$  – стала часу перетворювача частоти:

$$T_{nc} = \frac{1}{m_n f}, \quad (5.18)$$

де  $m_n$  – кратність пульсацій струму ( $m_n = 3$ ).

$$k_{nc} = \frac{387}{10} = 38.$$

$$T_{nc} = \frac{1}{3 \cdot 50} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}.$$

Тоді

$$W_{nc}(p) = \frac{38}{3,333 \cdot 10^{-3} p + 1}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку (за напругою):

$$k_{сн} = \frac{U_{з.н.}}{U_{фн}}, \quad (5.19)$$

де  $U_{з.н.}$  – напруга задання ( $U_{з.н.} = 10$  В).

$$k_{сн} = \frac{10}{380} = 0,026.$$

Стала часу фільтра сенсора напруги:

$$T_{фн} = \frac{1}{\omega_g}, \quad (5.20)$$

де  $\omega_g$  – гранична частота смуги пропускання (приймаємо  $\omega_g = 500$  с<sup>-1</sup>).

$$T_{фн} = \frac{1}{500} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}.$$

Передавальна функція фільтра в каналі зворотного зв'язку:

$$W_{фн}(p) = \frac{1}{T_{фн}p + 1}, \quad (5.21)$$

Мала некомпенсована стала часу контуру струму:

$$T_{\mu c} = T_{mn} + T_{фс}, \quad (5.22)$$

де  $T_{фс}$  – стала часу фільтра в колі зворотного зв'язку за струмом (можна прийняти  $T_{фс} = T_{фн}$ ).

Коефіцієнт зворотного зв'язку (за струмом) –  $k_{сс} = 0,667$ .

Передавальна функція ПІ-регулятора контуру струму при налаштуванні на модульний оптимум:



$$W_{pc}(p) = \frac{k_{pc}(T_s p + 1)}{T_s p}, \quad (5.23)$$

де  $k_{pc}$  – коефіцієнт підсилення регулятора струму:

$$k_{pc} = \frac{T_s}{T_{\mu c} k_{n\mu} k_{cc} \frac{1}{R'}}. \quad (5.24)$$

$$k_{pc} = \frac{1,644 \cdot 10^{-3}}{8,867 \cdot 10^{-3} \cdot 38 \cdot 0,667 \cdot \frac{1}{13,021}} = 0,098.$$

Тоді

$$W_{pc}(p) = \frac{0,098 \cdot (1,644 \cdot 10^{-3} p + 1)}{1,644 \cdot 10^{-3} p}.$$

Передавальна функція ПІ-регулятора магнітного потоку:

$$W_{pn}(p) = \frac{k_{pn}(T_r p + 1)}{T_r p}, \quad (5.25)$$

де  $k_{pn}$  – коефіцієнт підсилення регулятора потоку:

$$k_{pn} = \frac{T_r}{\frac{1}{k_{cn}} L_m T_{\mu n}}, \quad (5.26)$$

де  $k_{cn}$  – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за за потоком:

$$k_{cn} = \frac{U_{3.n}}{\Psi_{r0}}, \quad (5.27)$$

де  $U_{3.n}$  – напруга задання потоку ( $U_{3.n} = 10$  В);

$T_{\mu n}$  – мала некомпенсована стала часу контуру потоку, яку в спрощеному вигляді можна подати як

$$T_{\mu n} = 2T_{\mu c} + T_{\phi n}, \quad (5.28)$$

де  $T_{\phi n}$  – стала часу фільтра в колі зворотного зв'язку за потоком (можна прийняти  $T_{\phi n} = T_{\phi n} = 2 \cdot 10^{-3}$  с).

$$T_{\mu n} = 2 \cdot 8,867 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,019 \text{ (с)}.$$

$$k_{cn} = \frac{10}{1,19} = 8,402.$$

$$k_{pn} = \frac{0,096}{\frac{1}{0,667} \cdot 8,402 \cdot 0,706 \cdot 0,019} = 0,559.$$

Тоді

$$W_{pn}(p) = \frac{0,559 \cdot (0,096p + 1)}{0,096p}.$$

Передавальна функція П-регулятора контуру швидкості:

$$W_{\mu}(p) = \frac{J_{en} \cdot \frac{1}{k_{cc}}}{\frac{3}{2} \cdot a_1 Z_p k_r \Psi_{r0} T_{\mu n} k_{c\mu}}, \quad (5.29)$$

де  $T_{\mu n}$  – мала некомпенсована стала часу контуру швидкості, яку в спрощеному вигляді можна подати як

$$T_{\mu n} = 2T_{\mu c} + T_{\phi n}, \quad (5.30)$$

де  $T_{\phi n}$  – стала часу фільтра в колі зворотного зв'язку за швидкістю (можна прийняти  $T_{\phi n} = T_{\phi n} = 2 \cdot 10^{-3}$  с);

$k_{c\mu}$  – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю ( $k_{c\mu} = 0,095$ ).

$$T_{\mu n} = 2 \cdot 8,867 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,019 \text{ (с)}.$$



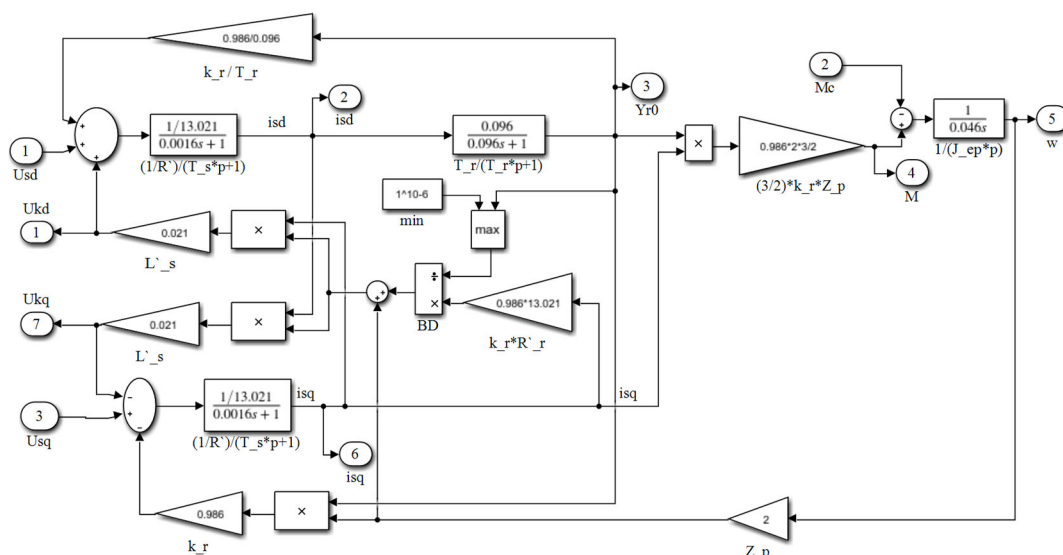


Рисунок 5.3 – Структура асинхронного двигуна (блок АД)

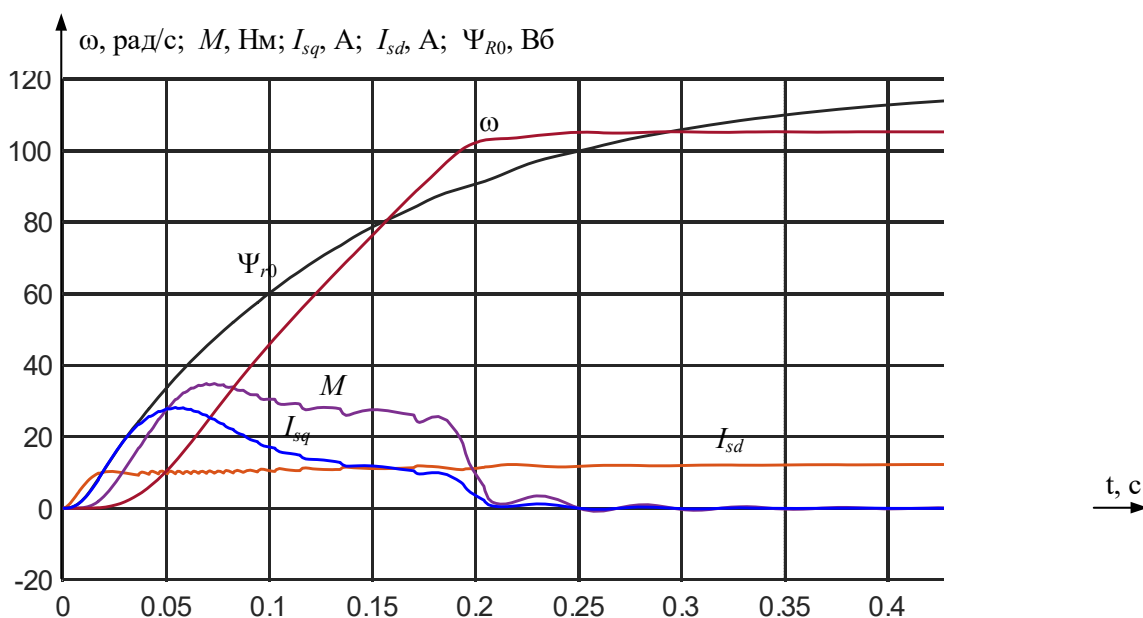


Рисунок 5.4 – Результат моделювання системи електропривода

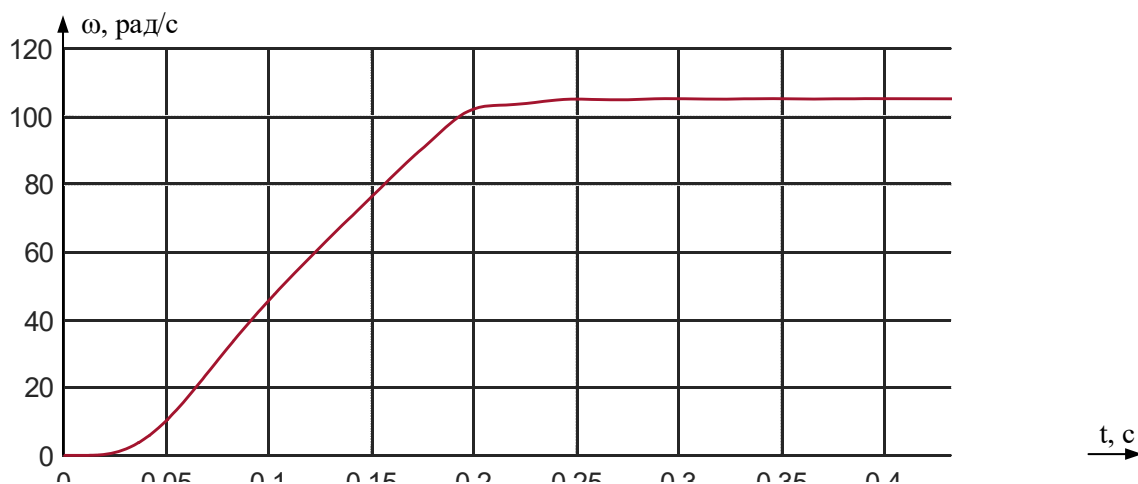


Рисунок 5.5 – Графік перехідного процесу кутової швидкості

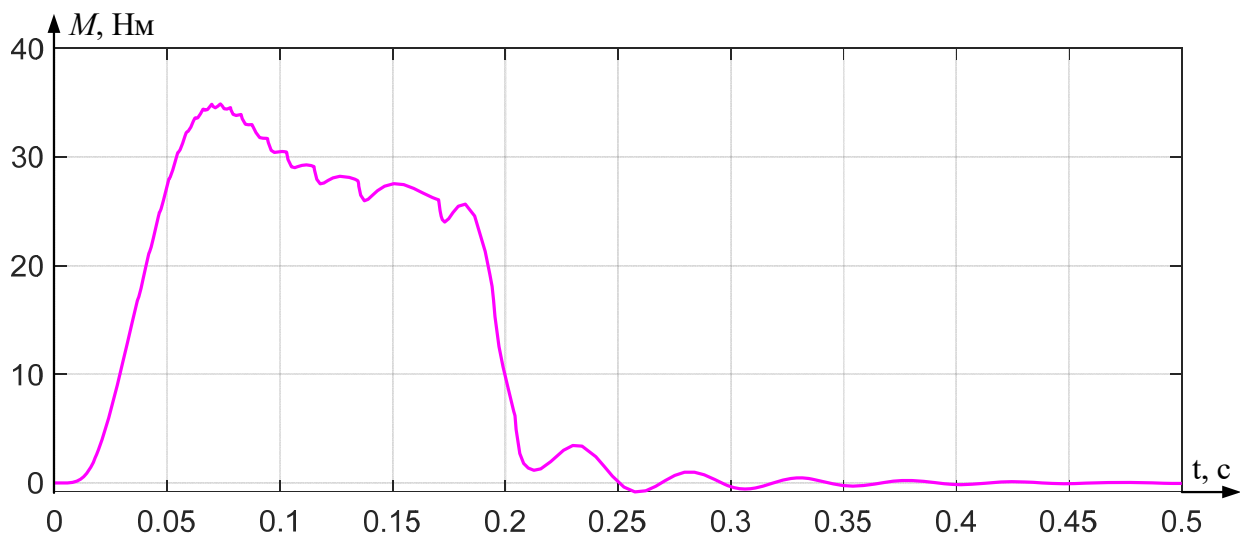
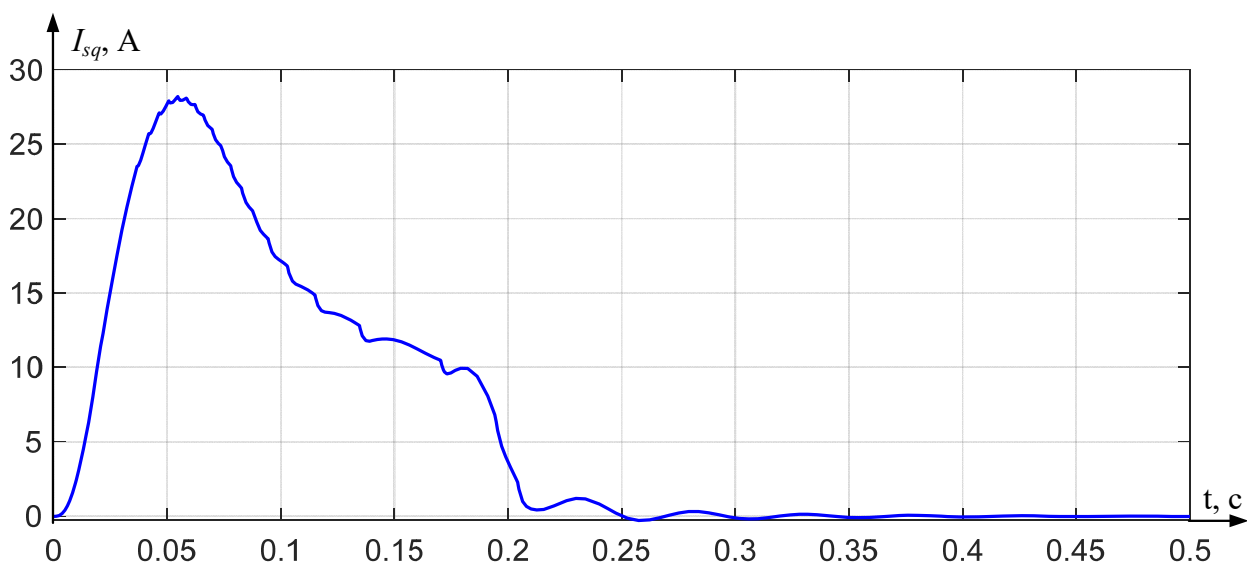
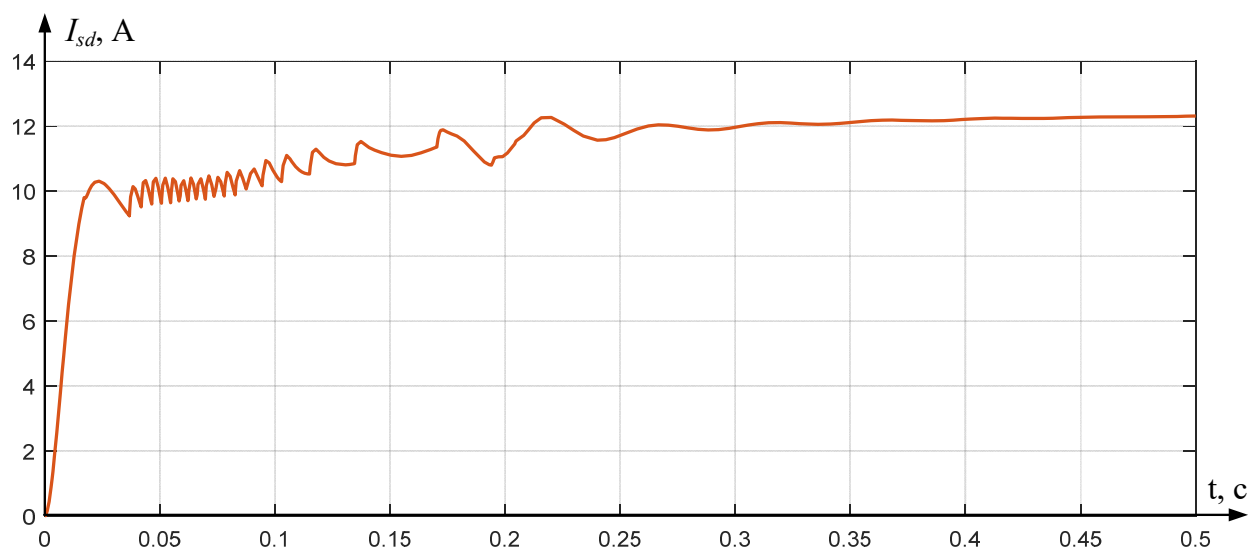


Рисунок 5.6 – Графік переходного процесу моменту

Рисунок 5.7 – Графік переходного процесу струму  $I_{sq}$ Рисунок 5.8 – Графік переходного процесу струму  $I_{sd}$



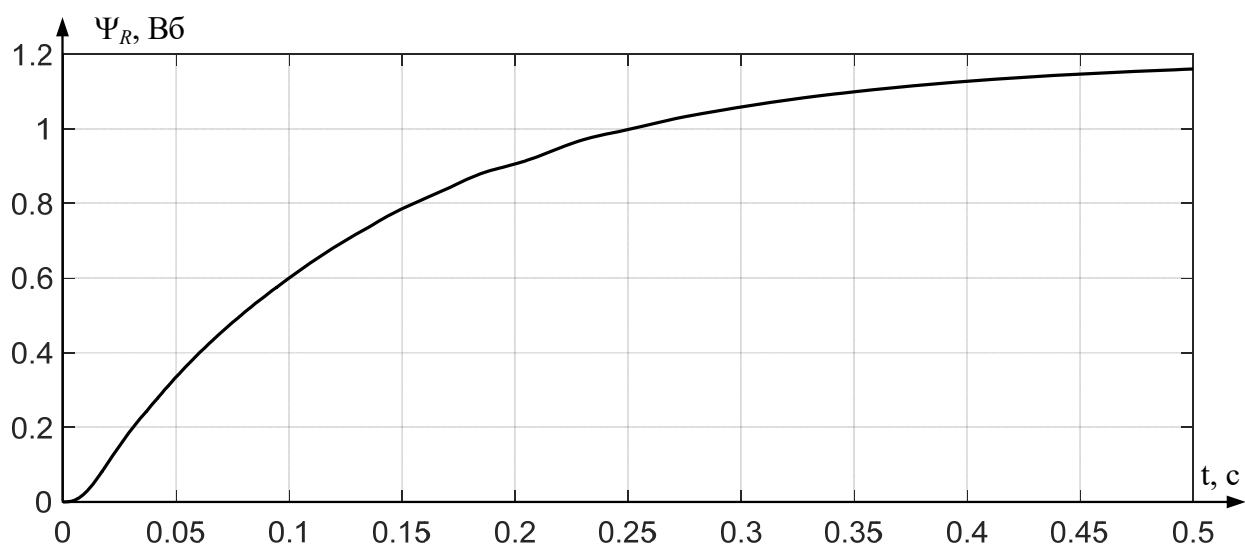


Рисунок 5.9 – Графік переходного процесу потокозчеплення

Як видно з результатів моделювання, розрахунки зроблені вірно. Система виходить на усталений режим роботи за час, що становить 0,24 с.

## 6 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Автоматизацію процесу реалізуємо на базі контролера Zelio Logic фірми Schneider Electric.

Обираючи модель контролера, потрібно знати кількість вхідних та вихідних портів відповідно до пристроїв, які будуть підключені.

Вхідні порти:

- 1) кнопка SB1 – Start – запуск системи;
- 2) кнопка SB2 – Stop – зупинка системи;
- 3) кнопка SB3 – Start M1 – подача вентилятором повітря в цех (запуск двигуна M1);
- 4) кнопка SB4 – Stop M1 – зупинка двигуна M1;
- 5) кнопка SB5 – Start M2 – включення витяжки цеху (запуск двигуна M2);
- 6) кнопка SB6 – Stop M2 – зупинка двигуна M2;
- 7) кнопка SB7 – Start M3 – подача вентилятором повітря у відділення мийки (запуск двигуна M3);
- 8) кнопка SB8 – Stop M3 – зупинка двигуна M3;
- 9) кнопка SB9 – Start M4 – включення витяжки відділення мийки (запуск двигуна M4);
- 10) кнопка SB10 – Stop M4 – зупинка двигуна M4;
- 11) сенсор температури;
- 12) сенсор вологості;
- 13) сенсор вуглекислого газу CO<sub>2</sub>.

Вихідні порти для:

- 1) підключення основного контактора KM1;
- 2) підключення контактора KM2 (подача живлення на двигун M1);
- 3) підключення контактора KM3 (подача живлення на двигун M2);
- 4) підключення контактора KM4 (подача живлення на двигун M3);

- 5) підключення контактора КМ5 (подача живлення на двигун М4);
- 6) підключення контактора КМ6 (подача живлення на двигун М5 – канальна витяжка 1);
- 7) підключення контактора КМ7 (подача живлення на двигун М6 – канальна витяжка 2);
- 8) підключення контактора КМ8 (підключення кондиціонера);
- 9) підключення контактора КМ9 (включення теплової завіси над воротами);
- 10) підключення контактора КМ10 (підключення опалення).

Виходячи з аналізу, потрібно мати не менше 13 вхідних і 10 вихідних портів. Для такої задачі достатньо контролера

Zelio Logic типу SR3B261BD (рисунок 6.1). Він живиться постійною напругою 24 В; має 10 дискретних і 6 аналогових (0-10 В) вхідних портів, а вихідні порти – релейні, 10 шт.



Рисунок 6.1 – Контролер SR3B261BD (Zelio Logic)

Для програмування контролера обрано мову програмування FBD.

Зовнішній вигляд програми в режимі конструктора показаний на рисунку 6.2.

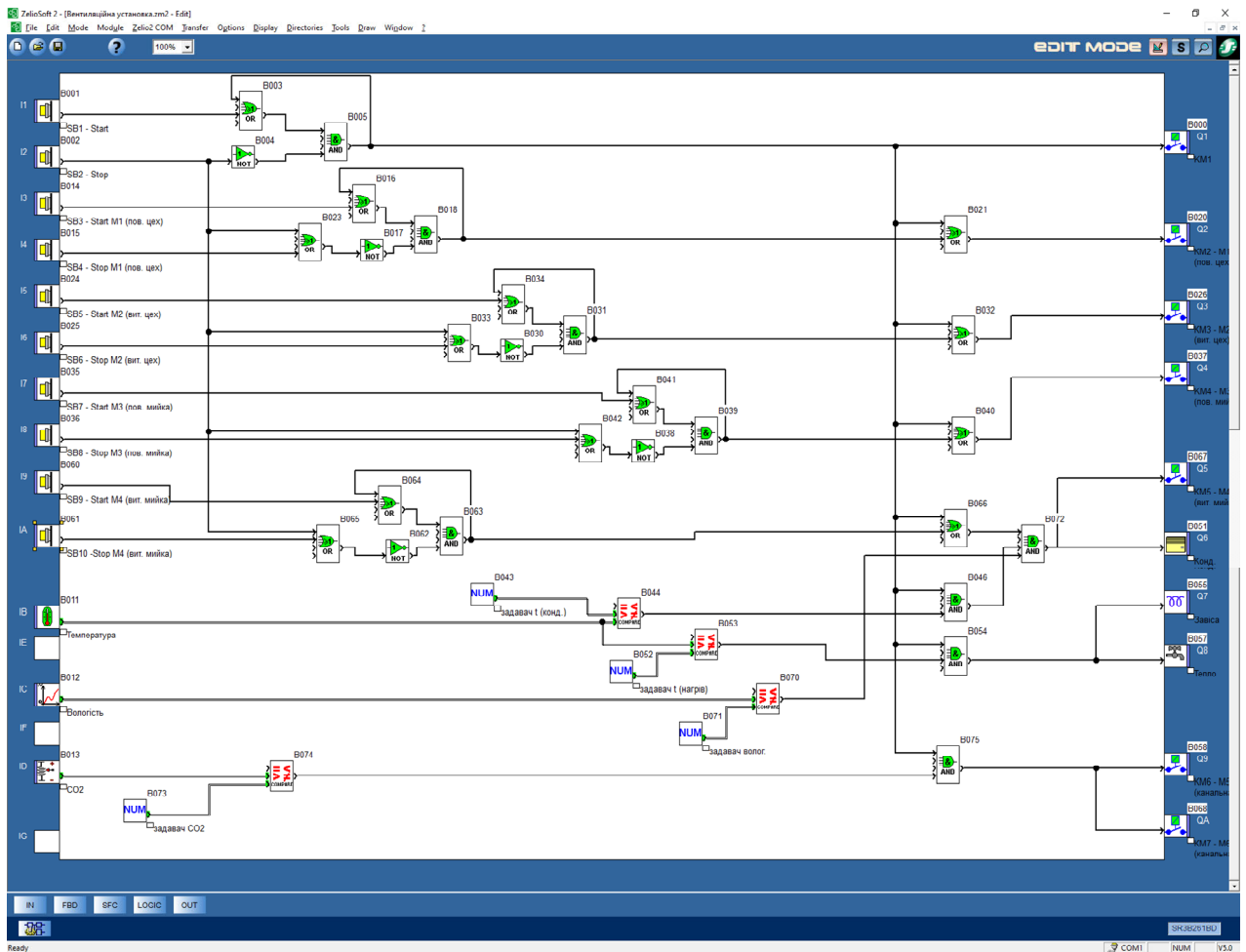


Рисунок 6.2 – Зовнішній вигляд програми в режимі конструктора

Вікно програми в режимі моделювання при запуску системи (натиснутій кнопці SB1 – Start) при температурі 12<sup>0</sup>С, 60% вологості та 35% вмісту вуглекислого газу приведена на рисунку 6.3. При цьому відбувається підключення основного контактора KM1, який подає живлення до всіх інших систем:

- подачі вентилятором повітря в цех (KM2 – двигун M1);
- включення витяжки цеху (KM3 – двигун M2);
- подачі вентилятором повітря у відділення мийки (KM4 – M3);
- включення витяжки відділення мийки (KM5 – двигун M4).

В задавачі температури (задавач t (конд.), блок B043) виставлена уставка 20<sup>0</sup>С. Оскільки температура повітря 12<sup>0</sup>С (блок B011 Температура) нижча уставки, то кондиціонер (порт вихідний Q6) не працює. В блоці задання температури (задавач t (нагрів), блок B052) виставлена уставка в 15<sup>0</sup>С, що

перевищує вхідну, а тому активні вихідні порти Q7 (включення теплової завіси над воротами), Q8 (підключення опалення). При вологості 60% (вимірюється сенсором вологості, підключеного до порта V012 (Вологість), що перевищує уставку в 50% (блок V071, задавач волог.), активований вихідний порт Q5 (включення витяжки відділення мийки). При вмісті вуглекислого газу в 35%, що перевищує уставку в 30% (блок V073, задавач CO<sub>2</sub>), задіяні порти Q9 та QA, що включають двигуни каналних витяжок 1 і 2, відповідно.

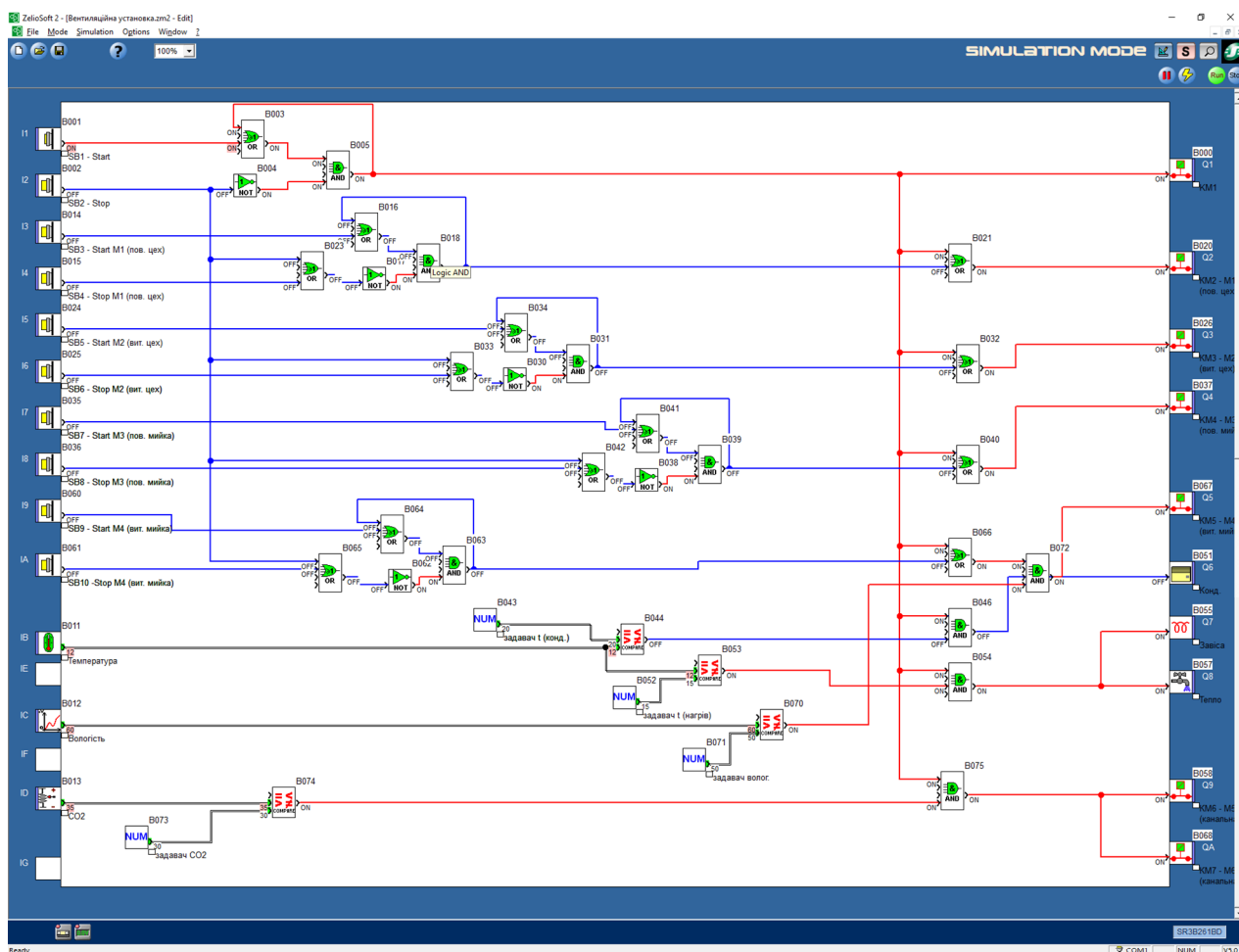


Рисунок 6.3 – Вікно програми в режимі моделювання при запуску системи

Система дозволяє в ручному режимі включати та відключати кожен об'єкт незалежно від стану інших: запуск двигуна M1 (рисунок 6.4) та його зупинка (рисунок 6.5); запуск двигуна M2 (рисунок 6.6) та його зупинка (рисунок 6.7); запуск двигуна M3 (рисунок 6.8) та його зупинка (рисунок 6.9).





Рисунок 6.4 – Стан програми при натисканні на кнопку SB3 – Start M1



Рисунок 6.5 – Стан програми при натисканні на кнопку SB4 – Stop M1

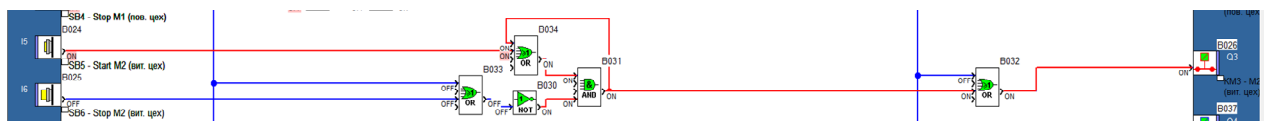


Рисунок 6.6 – Стан програми при натисканні на кнопку SB5 – Start M2

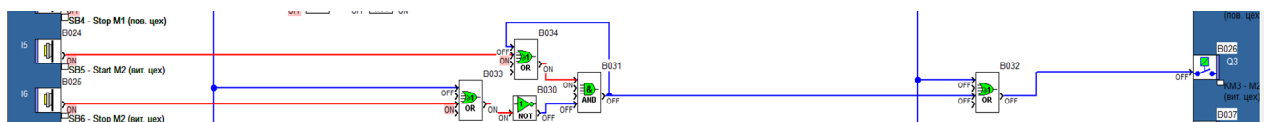


Рисунок 6.7 – Стан програми при натисканні на кнопку SB6 – Stop M2

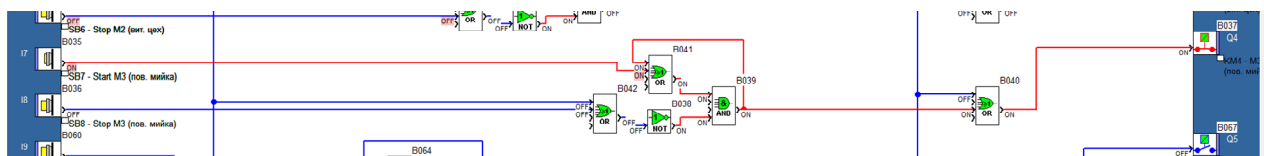


Рисунок 6.8 – Стан програми при натисканні на кнопку SB7 – Start M3

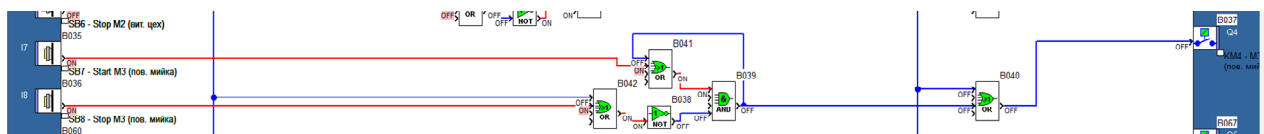


Рисунок 6.9 – Стан програми при натисканні на кнопку SB8 – Stop M3

Запуск двигуна М4, що включає витяжку мийного відділення, можливий лише за умови, що вологість буде не меншою 50%, яка виставляється у блоці В071 (рисунок 6.10). Якщо вологість буде меншою, то система не буде реагувати на запуск при натисненні на кнопку SB0 – Start M4 (рисунок 6.11).

При натисканні на кнопку SB10 – Stop M4 (рисунок 6.12) система відключається.

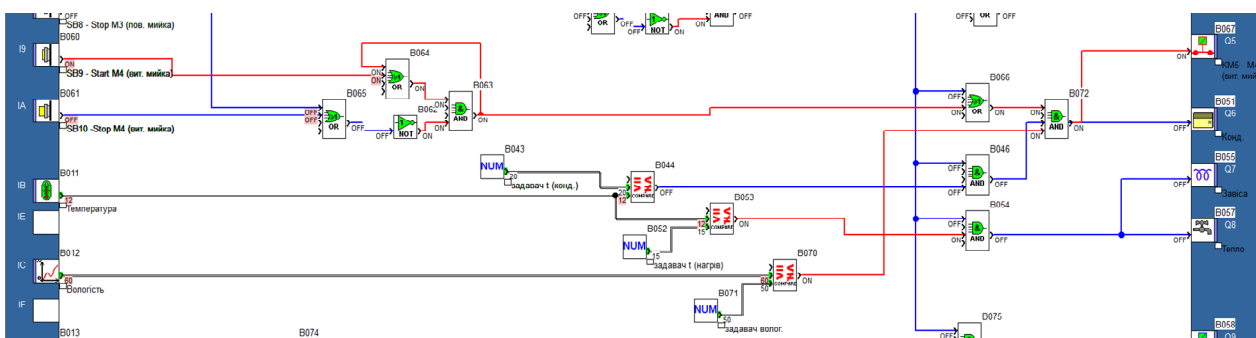


Рисунок 6.10 – Стан програми при натисканні на кнопку SB9 – Start M4 (вологість 60%)

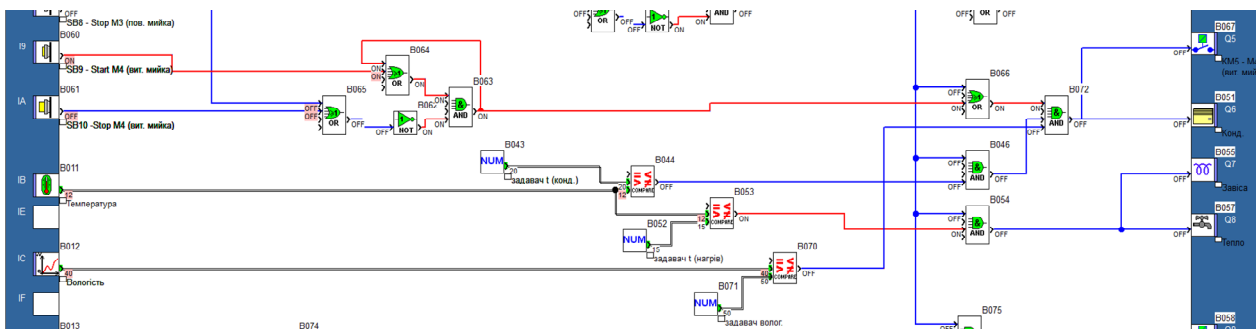


Рисунок 6.11 – Стан програми при натисканні на кнопку SB9 – Start M4 (вологість 40%)

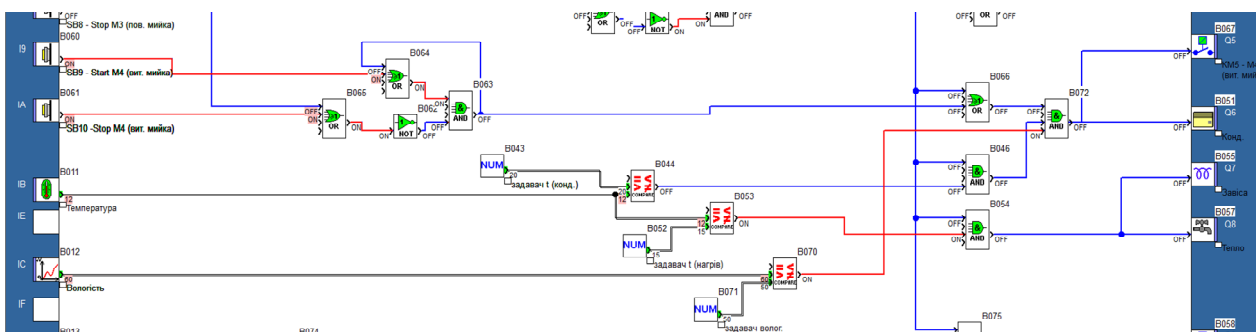


Рисунок 6.12 – Стан програми при натисканні на кнопку SB10 – Stop M4 (вологість 60%)

При натисканні на кнопку SB1 – Start при температурі 25<sup>0</sup>С, вологості 30%, концентрації вуглекислого газу 20% (рисунок 6.13) система включає

кондиціонер (порт Q6), а при цьому двигун M4 на витяжку мийного відділення (порт Q5), тепла завіса (порт Q7), подача тепла (порт Q8) і каналні витяжки 1 (порт Q9) і 2 (порт Q10) відключені.

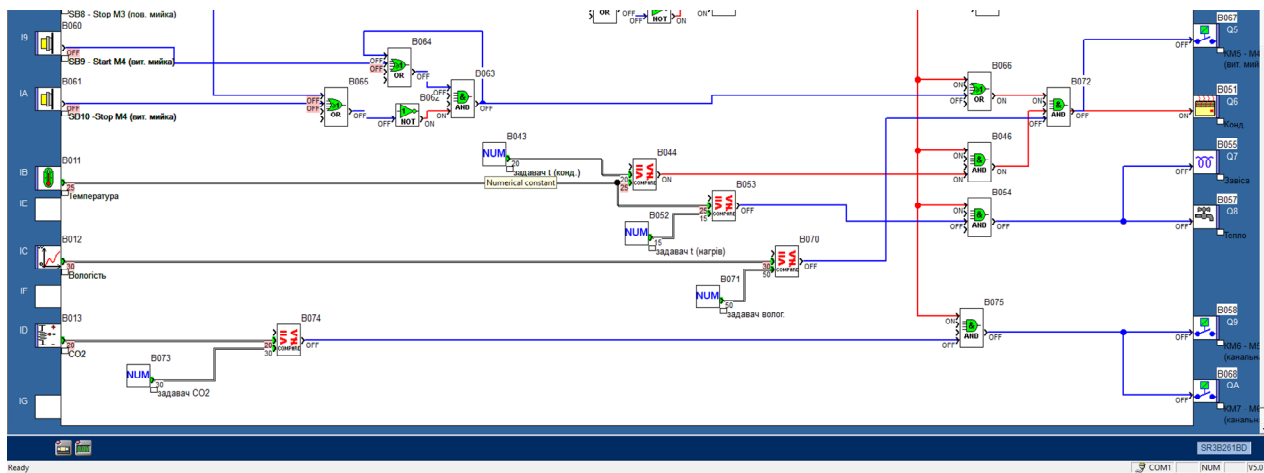


Рисунок 6.13 – Стан програми при натисканні на кнопку SB1 – Start (температура 25<sup>0</sup>С, вологість 30%, концентрація вуглекислого газу 20%)

При збільшенні концентрації вуглекислого газу (рисунок 6.14) включаються каналні витяжки 1 (порт Q9) і 2 (порт Q10).

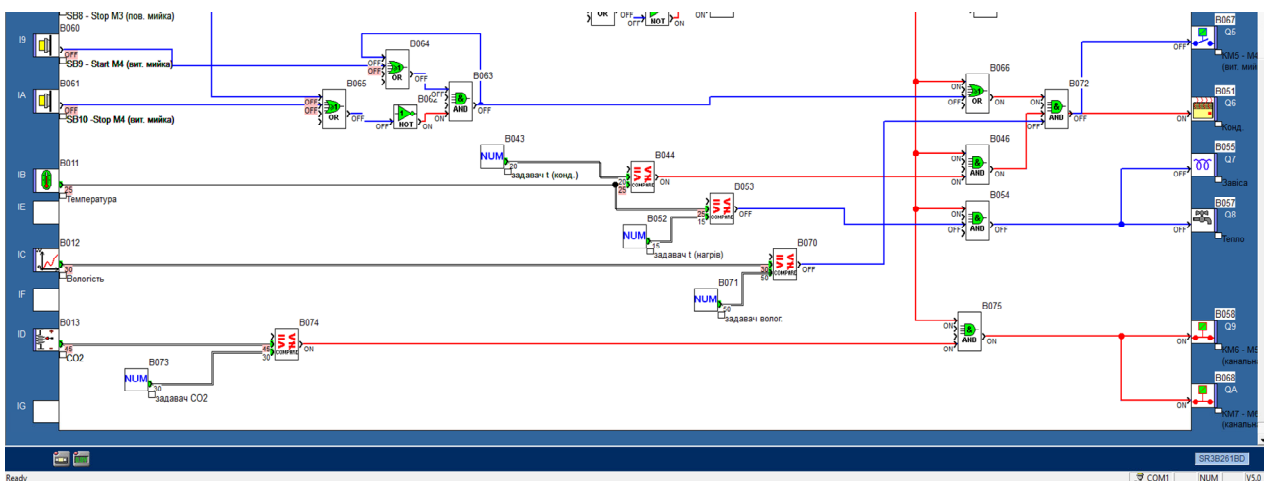


Рисунок 6.14 – Стан програми при натисканні на кнопку SB1 – Start (температура 25<sup>0</sup>С, вологість 30%, концентрація вуглекислого газу 45%)

Інформація про контролер Zelio Logic та програму, яка зашита в нього, приведена на рисунку 6.15, а її зовнішній вигляд – на рисунку 6.16.

Вентиляційна установка.zm2 - v1.0



Вентиляційна установка

### Program information

Author : Дмитро СОКОЛОВ  
 Project name : Вентиляційна установка  
 Version : 1.0

Module : SR3B261BD Cycle time in the module : 5 x 2 ms WATCHDOG action : Inactive Type of Hardware Input Filtering : Slow (3ms) <input type="checkbox"/> Locking of module front panel  Date format : dd/mm/yyyy <input type="checkbox"/> Daylight Saving Time change activated Zone : Europe Change to Daylight Saving Time : March, Last Sunday Return to winter time : October, Last Sunday
--

### Comments

Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування

Мігістерська кваліфікаційна робота  
 Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
 ВНТУ - 2023

Рисунок 6.15 – Інформація про контролер Zelio Logic та програму

### Program diagram

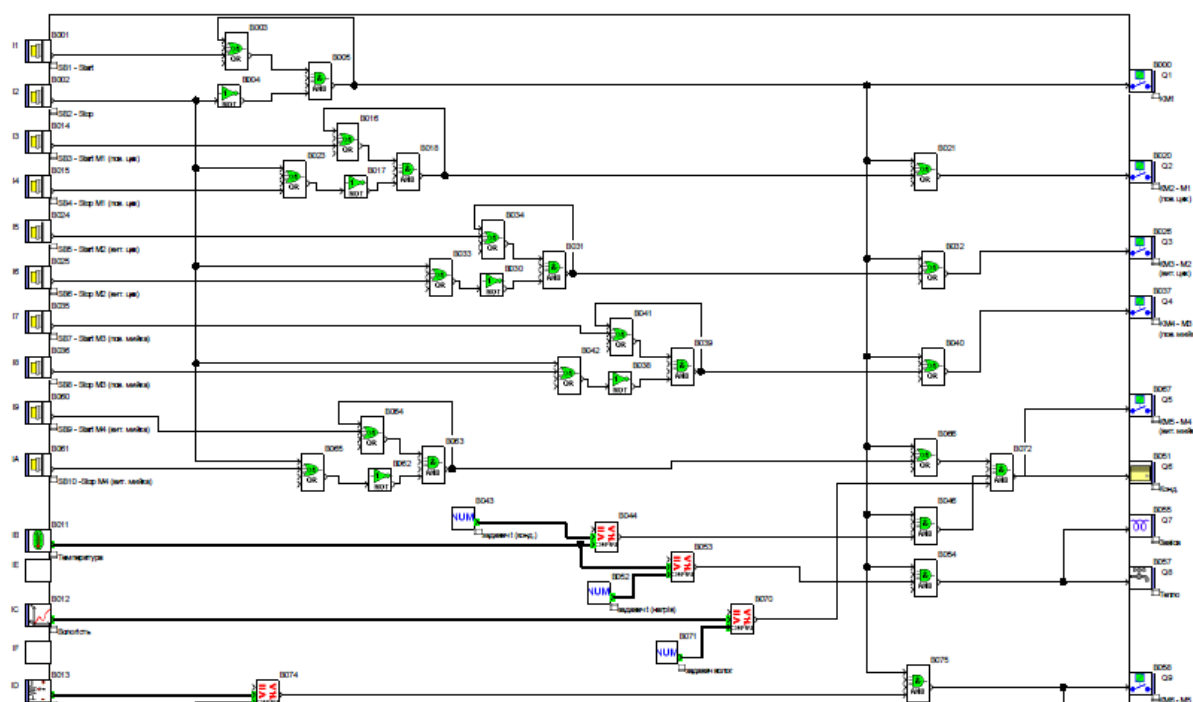


Рисунок 6.16 – Зовнішній вигляд програми

Фізичні входи програми показані на рисунку 6.17.

Вентиляційна установка.zm2 - v1.0



Вентиляційна установка

### Physical inputs

Input	No	Symbol	Function	Lock	Parameters	Comment
I1	B001		Pushbutton	—	No parameters	SB1 - Start
I2	B002		Pushbutton	—	No parameters	SB2 - Stop
I3	B014		Pushbutton	—	No parameters	SB3 - Start M1 (пов. цех)
I4	B015		Pushbutton	—	No parameters	SB4 - Stop M1 (пов. цех)
I5	B024		Pushbutton	—	No parameters	SB5 - Start M2 (виг. цех)
I6	B025		Pushbutton	—	No parameters	SB6 - Stop M2 (виг. цех)
I7	B035		Pushbutton	—	No parameters	SB7 - Start M3 (пов. мийка)
I8	B036		Pushbutton	—	No parameters	SB8 - Stop M3 (пов. мийка)
I9	B060		Pushbutton	—	No parameters	SB9 - Start M4 (виг. мийка)
IA	B061		Pushbutton	—	No parameters	SB10 -Stop M4 (виг. мийка)
IB	B011		Analog input 0...10V	—	Electrical connection at input : 0 - 10 V	Температура
IC	B012		Analog input 0..10V	—	Electrical connection at input : 0 - 10 V	Вологість
ID	B013		Analog input 0...POW SUP V	—	Electrical connection at input : 0 - 10 V	CO2

Рисунок 6.17 – Фізичні входи програми

Фізичні виходи програми показані на рисунку 6.18.

Функції конфігурації програми приведені на рисунку 6.19.

## Physical outputs











Output	No	Symbol	Function	Comment
Q1	B000		Normally open contact	КМ1
Q2	B020		Normally open contact	КМ2 - М1 (пов. цех)
Q3	B026		Normally open contact	КМ3 - М2 (вит. цех)
Q4	B037		Normally open contact	КМ4 - М3 (пов. мийка)
Q5	B067		Normally open contact	КМ5 - М4 (вит. мийка)
Q6	B051		Heating	Конд.
Q7	B055		Resistance	Завіса
Q8	B057		Valve	Тепло
Q9	B058		Normally open contact	КМ6 - М5 (канальна вит. 1)
QA	B068		Normally open contact	КМ7 - М6 (канальна вит. 2)

Рисунок 6.18 – Фізичні виходи програми

## Configurable functions





No	Symbol	Function	Lock	Latching	Parameters	Comment
B043	NUM	Numerical constant	No	—	Value of the constant : 20	задавач t (конд.)
B044		Comparison of 2 values	—	—	VALEUR 1 ≤ VALEUR 2	
B052	NUM	Numerical constant	No	—	Value of the constant : 15	задавач t (нагрів)
B053		Comparison of 2 values	—	—	VALEUR 1 ≤ VALEUR 2	
B070		Comparison of 2 values	—	—	VALEUR 1 ≥ VALEUR 2	
B071	NUM	Numerical constant	No	—	Value of the constant : 50	задавач волог.
B073	NUM	Numerical constant	No	—	Value of the constant : 30	задавач CO2
B074		Comparison of 2 values	—	—	VALEUR 1 ≥ VALEUR 2	

Рисунок 6.19 – Функції конфігурації програми

Схема електрична принципова системи вентиляції приведена на рисунку 6.20.



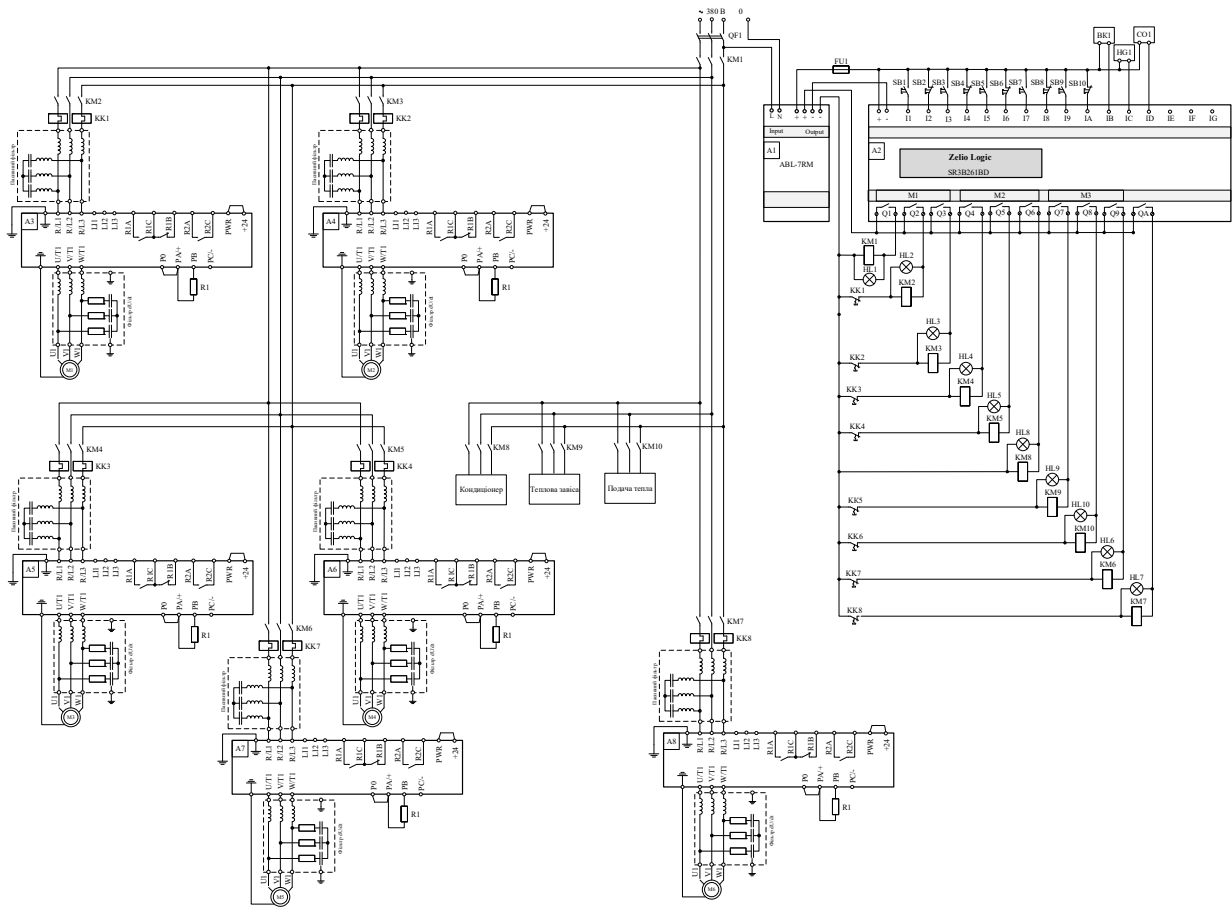


Рисунок 6.20 – Схема електрична принципова системи вентиляції

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

У випускній кваліфікаційній роботі розробляється електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування.

На персонал, який працює на СТО, впливають такі шкідливі виробничі фактори [17], [18].

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, переважно аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний 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 [18].

### **7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації вентиляційної установки**

#### **7.1.1 Вимоги до організації робочого місця обслуговуючого персоналу**

На підприємстві повинні бути створені для кожного працівника здорові і безпечні умови праці. При цьому необхідно дотримуватись таких основних принципів запобігання небезпекам:

- виключення небезпек, якщо це є можливим і реальним;
- обмеження небезпек, яких уникнути неможливо;

- усунення небезпек у їх першоджерелах, виключення або максимальне обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- забезпечення пріоритету колективних засобів захисту над індивідуальними;
- врахування людського фактору, зокрема під час вибору засобів виробництва, технології, організації праці, устаткування робочих місць тощо.

Роботи підвищеної небезпеки виконуються за нарядами-допусками, оформленими в установленому порядку.

Конструкція і міцність будівель та споруд, призначених для розміщення робочих зон, повинні відповідати їх призначенню, зокрема забезпечувати:

- справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв у робочих зонах, сприятливі умови для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників;
- регулярне очищення робочих зон і їх устаткування, особливо в закритих робочих приміщеннях, для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов;
- можливість регулярного контролю і перевірок здатності функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або її усунення.

Конструкція та монтаж електричного устаткування повинні відповідати вимогам протипожежної безпеки, вибухобезпеки та захисту людей від нещасних випадків внаслідок контакту з ним.

Під час вибору електричних засобів праці і захисних пристроїв, а також напруги живлення повинні враховуватись вплив зовнішніх умов і професійна кваліфікація персоналу, який матиме доступ до деталей устаткування.

Шляхи евакуації і аварійні виходи мають забезпечуватися евакуаційним освітленням відповідно до вимог будівельних норм та правил улаштування електроустановок. Світильники евакуаційного освітлення повинні вмикатися з настанням сутінків у разі перебування в приміщеннях працівників [19].

У закритих робочих приміщеннях повинно бути достатньо придатного для дихання повітря з урахуванням граничних допустимих концентрацій

шкідливих речовин, характеру робочого процесу і фізичних потреб організму працівників з розрахунку на максимально можливу їх кількість під час роботи відповідно до передбаченого технологічного процесу.

### 7.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення підприємства здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380x220 В (фазна напруга (фаза – "0") – 220 В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В ).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – з підвищеною небезпекою, у зв'язку з наявністю у виробничих приміщеннях струмопровідної підлоги [20].

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [21]:

1) для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

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

– використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - 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.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

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 струмовимірвальні 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.

Роботи по обслуговуванню електрообладнання.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електрообладнання, необхідно на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає розпорядження.

## 7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 72.1 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.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови [22].

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Крім того, між людиною та навколишнім середовищем відбуваються процес безперервного теплового обміну, при цьому слід враховувати, що незалежно від температури навколишнього середовища температура людини залишається постійною – 36,5-37°C. вологість в свою чергу значно впливає на терморегуляцію організму людини.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат



організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Нормування параметрів мікроклімату

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора лінії передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

### 7.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [23]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

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

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;

- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилю в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

### 7.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [24] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств приведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – 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		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	1	0,6

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). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури

оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

#### 7.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі [25]:

$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right), \quad (7.1)$$

де  $L$  – рівень шуму, дБ;

$P$  – звуковий тиск, Па;

$U_0$  – коливальна швидкість ( $U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/с);

$P_0$  – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 7.4).

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. 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».

Таблиця 7.4 – 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 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.

### 7.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань [26].

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація діюча на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються сама лінія та вентилятори, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
За	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

### 7.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Умов праці оператора системи дистанційної діагностики асинхронних двигунів за показниками важкості праці для категорії Ia:

При регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) для чоловіків клас умов праці допустимий (середньої важкості) до 45 Вт.

Маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну для чоловіків складає до 15 кг, що є оптимальними умовами праці.

Статичне навантаження, величина статичного навантаження за зміну при утриманні вантажу, докладанні зусиль складає 36000 кг/с для чоловіків що є оптимальним.

Робоча поза є оптимальна: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом, протягом зміни) складає до 4 км по горизонталі та до 2 км по вертикалі.

Умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією. Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій. Характер виконуваної роботи є за індивідуальним планом [27].

Також на працівника впливають сенсорні навантаження, такі як:

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни) до 50%;
- навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів). Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%.

Всі ці фактори є оптимальними (напруженість праці легкого ступеня).

Монотонність навантажень. Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни складає менше 75% що є оптимальним.

### **7.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи вентиляції в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

Під стійкістю роботи системи вентиляції розуміють її здатність виконувати задані функції, що відповідають вимогам відповідних планів в умовах надзвичайних ситуацій, а також пристосованість системи вентиляції до відновлення її роботи.



На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи системи вентиляції та оцінки стійкості елементів до дії уражаючих факторів стихійних лих та виробничих аварій, необхідно завчасно організувати і провести організаційні, інженерно-технічні й технологічні заходи для підвищення стійкості роботи. До загальних інженерно-технічних заходів можна віднести: розміщення системи автоматики в заглиблених приміщеннях, а також використання спеціальних захисних пристосувань, застосування контрфорсів для підвищення стійкості проти перекидання обладнання.

На автоматику системи вентиляції можуть впливати іонізуючі випромінювання та електромагнітний імпульс і відповідно виводити з ладу стратегічні об'єкти, спецоб'єкти та об'єкти критичної інфраструктури .

У системі вентиляції найбільш чутливими до дії іонізуючого випромінювання є мікросхеми, які використовуються в контролері, частотних перетворювачах.

В результаті опромінення системи вентиляції в перетворювачах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до загоряння чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

### **7.3.1 Дослідження стійкості роботи системи вентиляції**

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $D_{grі}$ , для елементної бази системи вентиляції, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 7.6.

Таблиця 7.6 – Граничні значення експозиційних доз елементів засобів діагностування

Блоки та елементи засобів діагностування	$D_{epi}, P$	$D_{ep}, P$
Мікросхеми типу ТТЛ, КМОП	$10^5$	10 <sup>4</sup>
Блок керування	$5 \cdot 10^5$	
Транзистори	$10^4$	
Діоди	$10^4$	
Конденсатори	$10^7$	
Резистори	$10^7$	

Проаналізувавши дані таблиці 7.6, визначили, що самим уразливим елементом системи вентиляції з мінімальною дозою  $D_{epi} = 10^4 P$  є транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою [28]:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}}, \quad (7.2)$$

де  $P_1$  – максимальне значення рівня радіації ( $P_1 = 6,76 P/\text{год}$ );

$t_k$  – час кінця опромінення ( $t_k = 131400$  год (15 років));

$t_n$  – час початку опромінення ( $t_n = 1$  рік).

$K_{осл}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{осл} = 2$ ).

$$D_m = \frac{2 \cdot 6,76 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2443,68 (P).$$

Оскільки  $D_{epi} > D_m$ , то дана система вентиляції стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_\delta = \frac{D_{ep} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (7.3)$$

$$t_\delta = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 6,76 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,76} = 1480,29 (\text{год}).$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази  $D_m = 2443,68 \text{ Р}$ , а допустима –  $10^4 \text{ Р}$ . Отже, система вентиляції є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 1480 год., при рівні радіації 6,76 Р/год, що є достатнім.

### 7.3.2 Дослідження стійкості роботи системи вентиляції в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_z = 9,82 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,82 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки:

$$U_z = 9,82 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 4910 \text{ (В)},$$

$$U_g = 9,82 \cdot 0,5 = 4,91 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_\partial = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} \cdot N, \quad (7.4)$$

де  $N$  – відсоток допуску.

$$U_\partial = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)},$$

$$U_\partial = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)},$$

$$U_\partial = 306 + \frac{306}{100} \cdot 5 = 320,25 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

– горизонтальної:

$$K\bar{b}_{z1} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4910} = -51,25 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{b}_{z2} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{4910} = -45,23 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{b}_{z3} = 20 \cdot \lg \frac{320,5}{4910} = -23,15 \text{ (дБ)};$$

– вертикальної:

$$K\bar{b}_{e1} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4,91} = 8,75 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{b}_{e2} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{4,91} = 14,77 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{b}_{e3} = 20 \cdot \lg \frac{320,5}{4,91} = 36,85 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 7.7.

Таблиця 7.7 – Значення коефіцієнтів безпеки системи вентиляції

№	Найменування блоків	$K\bar{b}_z, \text{дБ}$	$K\bar{b}_e, \text{дБ}$	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-51,25	8,75	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	-45,23	14,77	Нестійкий
3	Силові елементи, 305 В	-23,15	36,85	Нестійкі

Границя стійкості системи вентиляції  $K\bar{b}_{\min} = -51,25$  дБ, а  $K\bar{b}_{ep} = 36,85$  дБ. Отже, пристрій є нестійким в умовах дії електромагнітного імпульсу. Дія підвищення стійкості необхідно використовувати пасивне екранування блоків РЕА.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 - K\bar{b}_{\min}, \quad (7.5)$$

– для БЖ:

$$A_1 = 40 + 51,25 = 91,25 \text{ (дБ);}$$

– для БУ:

$$A_2 = 40 + 45,23 = 85,23 \text{ (дБ);}$$

– для БСЕ:

$$A_3 = 40 + 23,15 = 63,15 \text{ (дБ).}$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (7.6)$$

де  $f$  – найбільш характерна частота ( $f = 15$  кГц).

Для БЖ:

$$t_1 = \frac{91,25}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,098 \text{ (см).}$$

Для БУ:

$$t_2 = \frac{85,23}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,093 \text{ (см).}$$

Для БСЕ:

$$t_3 = \frac{63,25}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,087 \text{ (см).}$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною до 1 мм зі сталі, система вентиляції буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,1 см, вони будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Після проведених розрахунків визначено, що робота елементів системи вентиляції стійка при заданому рівні радіації 8,21 Р/год. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система вентиляції працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 9,82 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії імпульсу є зменшення довжини струмопровідних частин шляхом вдосконалення схемокомпоновки РЕА. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали електронні схеми на період впливу ЕМІ.

## 8 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для врахування впливу надійності на економічну ефективність технічних засобів рекомендуються такі показники:

а) вартість річного випуску продукції з врахуванням надійності:

$$Ц' = Ц_0(V - V_{зниж}), \quad (8.1)$$

де  $Ц_0$  – вартість одиниці випущеної продукції;

$V$  – річна продуктивність при абсолютній надійності;

$V_{зниж}$  – об'єм продукції, на який знижується продуктивність в зв'язку з тим, що надійність об'єкта не ідеальна (наявні відмови об'єкта);

б) річний прибуток з врахуванням надійності використовуваного об'єкта:

$$П' = П_0 - (S + R), \quad (8.2)$$

де  $П_0$  – річний прибуток при ідеальній надійності об'єкта;

$(S + R)$  – витрати, пов'язані з забезпеченням виробництва при його нормальному функціонуванні  $S$  і при виникненні відмов технічних засобів  $R$ .

З ростом надійності технічних засобів знижується втрати від пристроїв і витрати на обслуговування, росте річний прибуток.

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень з врахуванням надійності:

$$E_e = \frac{П'}{K} = \frac{П_0 - S - R}{K}. \quad (8.3)$$

Економія засобів, отримана при використанні більш надійного виробу за час  $t$ , визначається за формулою:

$$E = n_1(З_{1обс} + C_{1ем}) - n_2(З_{2обс} + C_{2ем}), \quad (8.4)$$



де  $n_1, n_2$  – відповідно кількість відмов менш надійного і більш надійного виробів за час  $t$ :

$$n_1 = (1 - P(t))N, \quad (8.5)$$

де  $P(t)$  – ймовірність відсутності відмов за час  $t$ ;

$N$  – число виробів, що є в експлуатації;

$Z_{1обс}, Z_{2обс}$  – витрати на обслуговування менш надійного і більш надійного виробів;

$C_{1вт}, C_{2вт}$  – втрати, викликані відповідно відмовами менш і більш надійного виробів.

Витрати на обслуговування складаються із витрат на технічні огляди, регламентні перерви, профілактику, усунення несправностей та ремонтів.

В таблиці 8.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на розробку електропривода системи вентиляції.

Таблиця 8.1 – Капітальні витрати на електроустаткування

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Сенсори: температури, вологості, концентрації вуглекислого газу	11400
Частотні перетворювачі	307520
Електродвигуни	63480
Контролер Zelio Logic та блок живлення	12840
Інше обладнання	53630
Всього	448870
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	44887
Всього капітальні вкладення	493757

Отже, капітальні витрати  $E_k = 493757$  грн.

### 8.1 Розрахунок експлуатаційних витрат

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

Експлуатаційні витрати  $E$  включають:

- 1) амортизаційні відрахування  $E_a$ ;
- 2) заробітна плата  $E_{zn}$  обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
- 3) витрати на силову електроенергію  $E_e$ ;
- 4) витрати на поточний ремонт  $E_{np}$ ;
- 5) інші витрати  $E_{in}$ .

Тобто:

$$E = E_a + E_{zn} + E_e + E_{np} + E_{in}. \quad (8.6)$$

### 8.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

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

$$E_a = 10\% \cdot E_k, \quad (8.7)$$

$$E_a = 0,1 \cdot 493757 = 49375,7 \text{ (грн)}.$$

### 8.3 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.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_{zn} = E_{zo} + E_{zd} + E_{zn}, \quad (8.8)$$

де  $E_{zo}$  – основна заробітна плата по тарифу;

$E_{zd}$  – додаткова заробітна плата;

$E_{zn}$  – нарахування на заробітну плату.

$$E_{zo} = NT_1 K \Phi_{ef} K_c \beta, \quad (8.9)$$

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

$T_1$  – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ( $T_1 = 38,07$  грн/год);

$K$  – тарифний коефіцієнт ( $K = 1,97$ );

$\Phi_{ef}$  – ефективний фонд робочого часу на обслуговування електропривода системи вентиляції за рік (приймаємо  $\Phi_{ef} = 110$  год);

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

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

Розраховуємо основну заробітну плату по тарифу:

$$E_{zo} = 1 \cdot 38,07 \cdot 1,97 \cdot 110 \cdot 1 \cdot 1 = 8249,77 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата  $E_{zd}$  становить 10% основної заробітної плати:

$$E_{zd} = 8249,77 \cdot 0,1 = 824,98 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 82.

Таким чином, маємо:

$$E_{zn} = 8249,77 + 824,98 + 1996,46 = 11071,21 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 8.2 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата $E_{зо}$ , грн.	8249,77
Додаткова заробітна плата $E_{зд}$ , грн.	824,98
Разом основна і додаткова заробітна плата ( $E_{зо}+E_{зд}$ ), грн.	9074,75
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%), грн.	1996,46
Всього нарахування, грн	11071,21

#### 8.4 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} B \Phi_{ef} K_{вм} K_з, \quad (8.10)$$

де  $B$  – вартість електроенергії (листопад 2023 р. для II класу напруги  
 $B = 5$  грн/кВт·год);

$P$  – номінальна потужність ( $P = 34$  кВт);

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії ( $\eta = 0,857$ );

$\Phi_{ef}$  – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{вм}$  – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом  $K_{вм} = 0,8$ );

$K_з$  – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0,8, а коефіцієнт завантаження  
рівний 0,72.

Ефективний фонд робочого часу при режимі роботи в 1 зміну протягом  
95% часу за рік становить:

$$\Phi_{ef} = 220 \cdot 8 \cdot 0,95 = 1672 \text{ (год)}.$$

Отже, маємо:

$$E_e = \frac{5,5}{0,857} \cdot 5 \cdot 1672 \cdot 0,8 \cdot 0,72 = 191041 \text{ (грн/рік)}.$$

### 8.5 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 8.3), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер шостого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт (таблиця 8.3), основну заробітну плату розрахуємо за формулою:

$$E_{zo} = T_I K \Phi_{рем}, \quad (8.11)$$

де  $K$  – тарифний коефіцієнт ( $k = 2,33$ );

$\Phi_{рем}$  – трудомісткість ремонтних робіт ( $\Phi_{рем} = 19$  год/рік).

$$E_{zo} = 22 \cdot 2,33 \cdot 19 = 973,9 \text{ (грн/рік)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$E_{зн} = 0,22 \cdot E_{zo}, \quad (8.12)$$

$$E_{zn} = 0,22 \cdot 973,9 = 214,3 \text{ (грн/рік)}.$$

Таблиця 8.3 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудоміст- кість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сенсори				2									2
Частотні перетворювачі						4							4
Електродвигуни		2											2
Контролер Zelio Logic та блок живлення									2				2
Інше обладнання					3							3	6
Монтаж кабелів	3												3
Загальна трудомісткість												19	

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять:

$$E_{зр} = E_{зо} + E_{zn}, \quad (8.13)$$

$$E_{зр} = 973,9 + 214,3 = 1188,2 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати. Тобто, витрати на матеріали для ремонтів становить:

$$E_m = 0,15 \cdot E_{зо}, \quad (8.14)$$

$$E_m = 0,15 \cdot 973,9 = 146,1 \text{ (грн/рік)}$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{np} = E_{zp} + E_m, \quad (8.18)$$

$$E_{np} = 1188,2 + 146,1 = 1334,3 \text{ (грн/рік)}.$$

### 8.6 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 5% від загальної суми попередніх витрат. Тобто:

$$E_{in} = (E_a + E_{zn} + E_e + E_{np}) \cdot 5\%, \quad (8.19)$$

$$E_{in} = (49375,7 + 11071,21 + 191041 + 1334,3) \cdot 0,05 = 12641,1 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведемо в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Розрахунок сумарних експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Сума
Амортизаційні відрахування $E_a$ , грн.	49375,7
Заробітна плата $E_{zn}$ обслуговуючого персоналу, грн.	11071,21
Витрати на електроенергію $E_e$ , грн.	191041
Витрати на поточний ремонт $E_{np}$ , грн.	1334,3
Інші витрати $E_{in}$ , грн.	12641,1
Всього експлуатаційні витрати $E$ , грн.	265463,3

В даному розділі було проведено розрахунок капітальних вкладень для електропривода вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування. Була розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати. Оскільки,



прибуток від даної системи не розраховується як такий, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи отримано такі результати:

1. Проаналізовано особливості функціонування вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування. Встановлено, що крім вихлопних газів для ефективної роботи обслуговуючого персоналу важливим є контроль і температури в цеху та вологості.

2. На підставі проведених техніко-економічних розрахунків для розрахованої потужності електродвигуна в 5,5 кВт обрано векторну систему електропривода з частотним перетворювачем ATV930U75M серії Altivar Process ATV900 фірми Schneider Electric, що дозволяє отримати якісні характеристики та мінімізацію споживання електроенергії.

3. Для даної системи електропривода здійснено з використанням математичного пакету Mathcad оптимізацію контурів регулювання та досліджено з використанням математичного пакету Matlab поведінку системи електропривода в статичному та динамічному режимах. Як показали результати, система адекватно відпрацьовує задані режими роботи.

4. Запропоновано й реалізовано автоматизацію системи вентиляційної установки з використанням контролера Zelio Logic типу SR3B261BD фірми Schneider Electric. Розроблено програму на мові програмування FBD та промодельовані режими роботи системи автоматизації.

5. Розглянуті питання з охорони праці та здійснено економічний розрахунок по даній розробці.

Результати досліджень опубліковані в роботі [29].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наукові дослідження. Електронний ресурс]. URL: [https://cemsc.vntu.edu.ua/?page\\_id=1309](https://cemsc.vntu.edu.ua/?page_id=1309)
2. Рельсові витяжні системи для гаражів і СТО. [Електронний ресурс]. URL: <https://farby.in.ua/ua/p2458846-relsovye-vytyazhnye-sistemy.html>
3. Устаткування для вихлопних газів. [Електронний ресурс]. URL: <https://trommelberg.com.ua/garazhnoe-oborudovanie/dlya-vyhlopnyh-gazov/>
4. Вентиляція СТО і автомийки. [Електронний ресурс]. URL: <https://tehno-master.com.ua/ru/ventilyatsiya/sto-avtomojki/>
5. Дипломне проектування зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Методичні рекомендації. «Розрахунок і вибір потужності електродвигуна для тривалого режиму роботи» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова, О.М. Речина. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – 13 с.
6. ТОВ «Дніпроресурс». Асинхронні електродвигуни України. Виробництво, продаж, обслуговування. [Електронний ресурс]. URL: <https://elmo.ua/uk/>
7. Електродвигун 5,5 кВт AIP112M4/AIP 112 M4 / 1500 об. хв. [Електронний ресурс]. URL: <https://prom-vent.com.ua/ua/p109182561-elektrodivigatel-kvt-air112m4.html>
8. Altivar Process ATV900. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/uk/>
9. АТ «Вінницяобленерго». [Електронний ресурс]. URL: <https://www.voe.com.ua/>
10. Преобразователи частоты Altivar Process ATV900. Каталог. – Schneider Electric, МКР-САТ-АТV900-17, 2017. – 92 с.
11. ATV930U75N4 Преобразователь частоты Schneider ATV930 7,5/5,5кВт 380В 3ф. [Електронний ресурс]. URL:

<https://electrocontrol.com.ua/preobrazovateli-chastoty/atv930u75n4-preobrazovatel-chastoty-atv930-75-55kvt-380v-3f>

12. Грабко В.В., Розводюк М.П. Електричні машини. Розрахунок експлуатаційних характеристик. Курсове проектування: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ. 2010. 110 с.

13. Грабко В.В., Розводюк М.П., Левицький С.М., Казак М.О. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ. 2007. 197 с.

14. Приймак Б.І., «Векторне керування асинхронним генератором з підвищеним коефіцієнтом корисної дії», Вісник ВПІ, 2021. Вип. 1. С. 49–56. – URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2582>

15. Пересада С.М., Ніконенко Є.О. Курсовий проект з керування електроприводами [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.М. Пересада, Є.О. Ніконенко – Електронні текстові дані (1 файл: 2,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

16. Пересада С.М., Ніконенко Є.О. Керування електроприводами – посібник, КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, 2022, 396 с.

17. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. [Електронний ресурс]. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=58073](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073)

18. 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. [Чинний від 2007-12-01]. [Електронний ресурс]. 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->

19. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України. 2009. 116 с.

20. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>

21. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ». 2016. 109 с.

22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. [Електронний ресурс]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

23. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України. 2013. 149 с.

24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України. 2018. 133 с.

25. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. [Електронний ресурс]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

26. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99#Text>

27. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікацій-них роботах здобувачів освітнього ступеня магістра галузі знань 14 «Електрична інженерія» / уклад.: С.В. Дембіцька, І.М. Кобилянська, О.В. Кобилянський. – Вінниця: ВНТУ. 2022. 52 с.

28. Кодекс Цивільного захисту України. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2013. № 34-35. С. 458. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>

29. Розводюк М.П. Автоматизації вентиляційної установки станції технічного обслуговування / М.П. Розводюк, К.М. Розводюк, Д.В. Соколов // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2024), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 15.10.2023 – 20.05.2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19590>



Додаток А  
(обов'язковий)

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

ПОГОДЖЕНО

Заст. декана ФЕЕЕМ



К.т.н. доц. Віра ТЕПТЯ  
«07» 11 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

К.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ  
«07» 11 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**ЕЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ВИДАЛЕННЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ НА СТАНЦІЇ ТЕХНІЧНОГО  
ОБСЛУГОВУВАННЯ**

08-24.МКР.016.00.000 ТЗ

Керівник роботи

Розводюк М.П., к.т.н., доцент

«07» 11 2023 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-22м

Соколов Д.В.

«07» 11 2023 р.



08-24.МКР.016.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Мас.	Висновок
Розробив:		Соколов Д.В.		21.11			
Перевірив		Розводюк М.П.		21.11			
Т. контр.							
Реценз.		Рубаченко О.А.		11.12	Аркуш 1		
Норм.кон.		Бомбик В.С.		28.11	ВНТУ, гр. ЕДН-20		
Затверд.		Мошноріз М.М.		28.11			

Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування.  
 Мета і задачі дослідження



## **1 Загальні відомості**

Повне найменування дослідження – «Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод вентиляційної установки».

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**

Вентиляційна установка призначена для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування, а також для підтримки температури та вологості в цеху в межах допустимих параметрів.

Галузь використання – станції технічного обслуговування.

## **4 Вимоги до розробки**

Вентиляційна установка повинна мати низький рівень споживання електроенергії, надійність функціонування. Автоматизація повинна бути реалізована на сучасному обладнанні.

## **Комплектація розробки**

Електропривод вентиляційної установки складається з системи керування, електродвигунів, системи автоматизації.

## **6 Технічні характеристики**

Діапазон регулювання швидкості – 25:1.

Точність регулювання швидкості – 2%.

Перевантажувальна здатність – 2,2.

Режим роботи тривалий; тривалість увімкнення 80%.

## **7 Джерела розробки**

1. Рельсові витяжні системи для гаражів і СТО. [Електронний ресурс]. URL: <https://farby.in.ua/ua/p2458846-relsovye-vytyazhnye-sistemy.html>
2. Устаткування для вихлопних газів. [Електронний ресурс]. URL: <https://trommelberg.com.ua/garazhnoe-oborudovanie/dlya-vyhlopnyh-gazov/>
3. Вентиляція СТО і автомийки. [Електронний ресурс]. URL: <https://tehno-master.com.ua/ru/ventilyatsiya/sto-avtomojki/>
4. Пересада С.М., Ніконенко Є.О. Курсовий проект з керування електроприводами [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.М. Пересада, Є.О. Ніконенко – Електронні текстові дані (1 файл: 2,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

## **8 Елементарна база**

Система керування, двигуни, апаратура управління і захисту, провідники, кабелі тощо виробництва України чи європейських країн.

## **9 Конструктивне виконання**

Система електропривода виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

## **10 Показники технологічності**

Електропривод виконується на сучасній елементній базі, її монтаж, струмопроводи повинні відповідати правилам влаштування електроустановок.

## **11 Технічне обслуговування**

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками та слюсарями відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється один раз на тиждень. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електроприводу.

## **12 Живлення електропривода**

Живлення системи електропривода повинне бути виконане напругою 380 В, 50 Гц.

**Додаток Б**  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**ЕЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ВИДАЛЕННЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ НА СТО**

# Новизна та практичне значення одержаних результатів.

## Апробація результатів

### Новизна одержаних результатів:

– запропоновано систему автоматизації вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на СТО на основі контролера Zelio Logic фірми Schneider Electric, що дозволяє контролювати температуру, вологість та концентрацію вихлопних газів в межах заданих значень, чим забезпечується ефективна робота обслуговуючого персоналу.

### Практичне значення одержаних результатів:

– використання запропонованої системи вентиляційної установки забезпечить мінімізацію електроспоживання при дотриманні заданих показників мікроклімату робочої зони обслуговуючого персоналу. Використання частотних перетворювачів для асинхронних двигунів дозволить підвищити надійність установок при мінімальних затратах на її обслуговування.

### Апробація результатів:

– основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 15.10.2023 – 20.05.2024.

### Основний зміст роботи опубліковано в 1 тезі:

Розводюк М.П. Автоматизації вентиляційної установки станції технічного обслуговування / М.П. Розводюк, К.М. Розводюк, Д.В. Соколов // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2024), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 15.10.2023 – 20.05.2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19590>

## **Об'єкт, предмет та методи дослідження**

**Об'єктом дослідження** в роботі є процеси зміни поведінки векторного частотно-регульованого асинхронного електропривода при різних параметрах налагодження контурів регулювання.

**Предметом дослідження** є математичні моделі контурів регулювання векторного частотно-регульованого асинхронного електропривода.

**Методи дослідження.** Для вирішення і аналізу поставлених задач використані методи: теорія автоматичного керування, теорія систем керування електроприводами, математичне моделювання.

## Загальна характеристика системи вентиляції на СТО



Зовнішній вигляд СТО



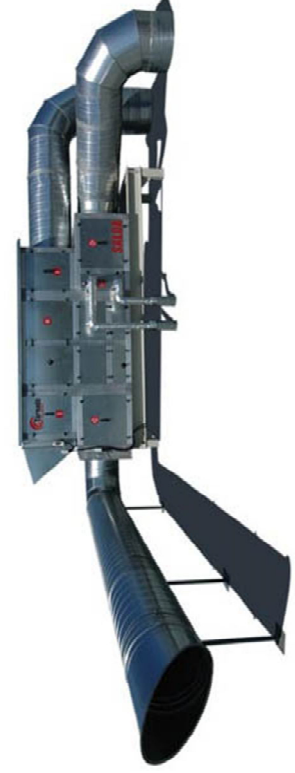
Ремонтне відділення



Канальна витяжка



Теплова завіса



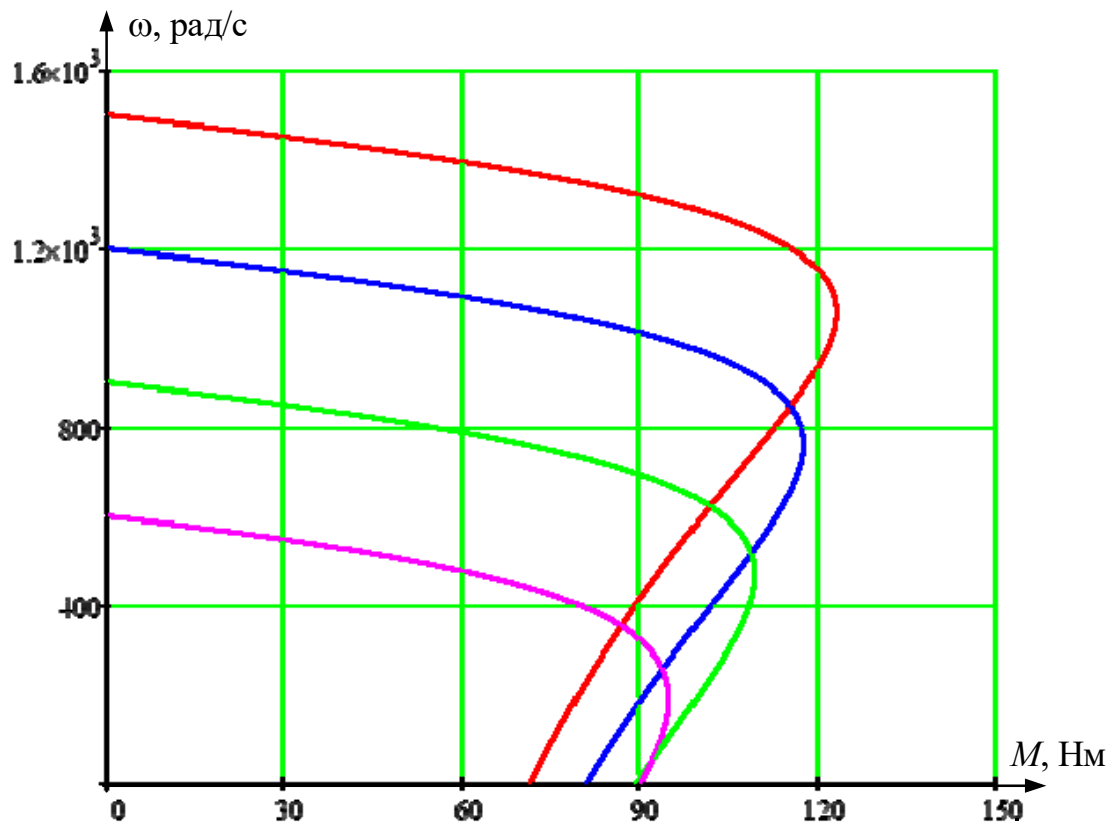
Припливна установка



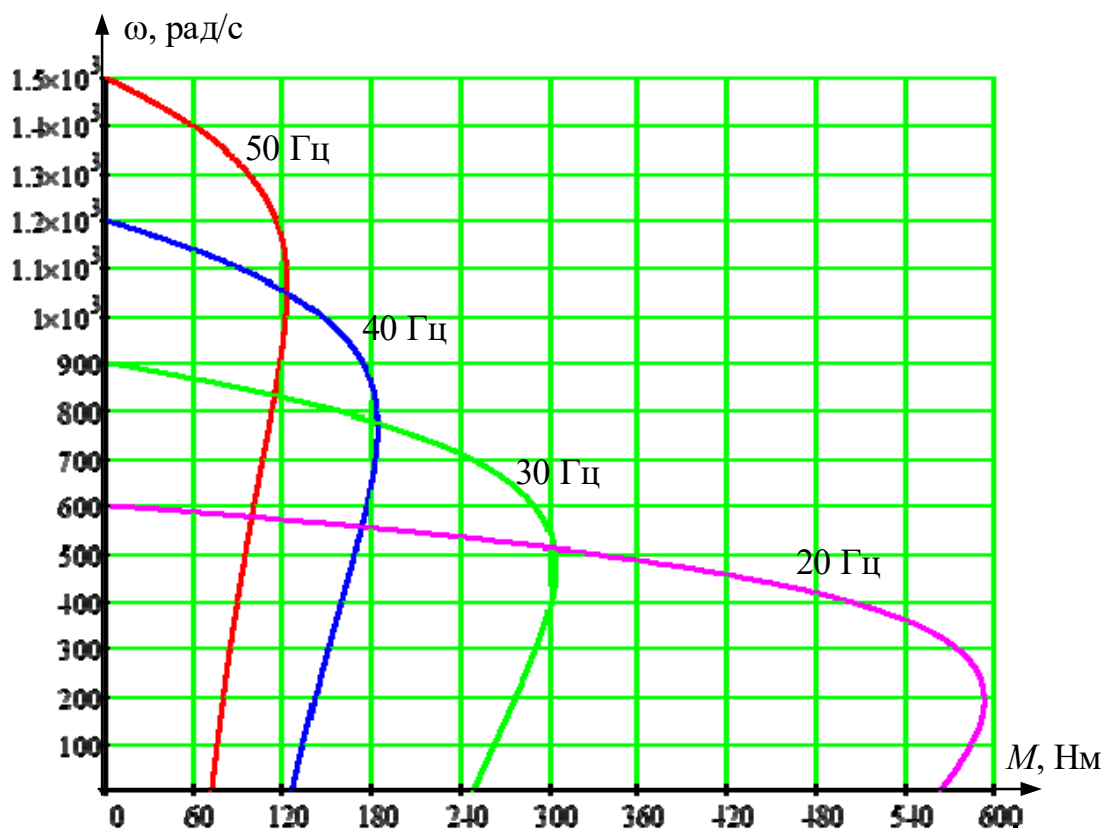
## Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Показники	Тип системи			
	ПЧ-АД	ТРН-АД	ТП-Д	ШІМ-Д
Потужність двигуна $P_n$ , кВт	5,5			
Вартість двигуна ( $D$ ), грн.	10580	10580	16920	16920
Вартість системи керування ( $СК$ ), грн.	51253	41830	43280	44560
Капіталовкладення $K=D+СК$ , грн	61833	52410	60200	61480
$E_a$	0,05			
Амортизаційні відрахування $C_a = E_a \cdot K$ , грн.	3092	2621	3010	3074
$E_0$	0,015			
Коефіцієнт обслуговування і ремонту $k_0$	0,12	0,31	0,83	0,82
Витрати на обслуговування і ремонт $C_0 = k_0 E_0 K$ , грн.	111	244	749	756
Вартість електроенергії $m_0$ , грн/кВт год	5			
Коефіцієнт завантаження $k_3$	0,95			
Річний час роботи $T_p$ , год	2496			
ККД $\eta_{\partial}$ , %	0,94			
Коефіцієнт, що враховує втрати $k_p$	0,10	0,71	0,87	0,75
Втрати потужності $\Delta P = k_p \cdot k_3 \cdot P_n \cdot (1-\eta_{\partial})/\eta_{\partial}$ , кВт	0,03	0,24	0,29	0,25
Кількість втраченої електроенергії за рік $\Delta W = \Delta P \cdot T_p \cdot k_{\omega}$ , кВт	83	591	724	624
Витрати на електроенергію $C_{\Delta W} = m_0 \cdot \Delta W$ , грн	416	2955	3621	3122
Собівартість $C = C_a + C_0 + C_{\Delta W}$ , грн.	3619	5819	7381	6952
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності $E_n$	0,12			
Зведені витрати $Z = E_n \cdot K + C$ , грн.	11 039	12 109	14 605	14 329

## Розрахунок характеристик асинхронного двигуна



Механічні характеристики АД при  $M = \text{const}$



Механічні характеристики АД при  $P_2 = \text{const}$

### Структура системи ПЧ-АД при керуванні за потоком зчепленням ротора

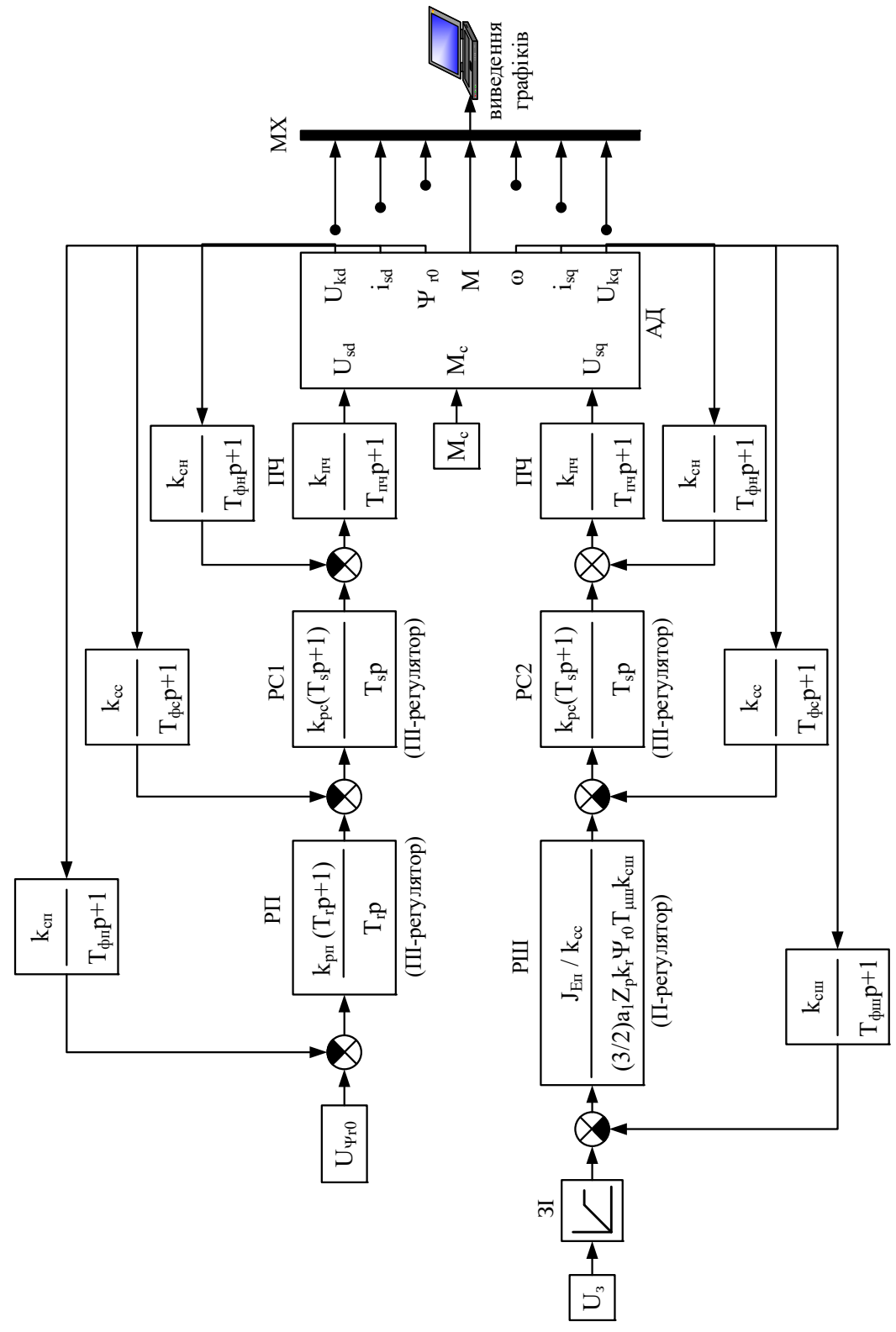
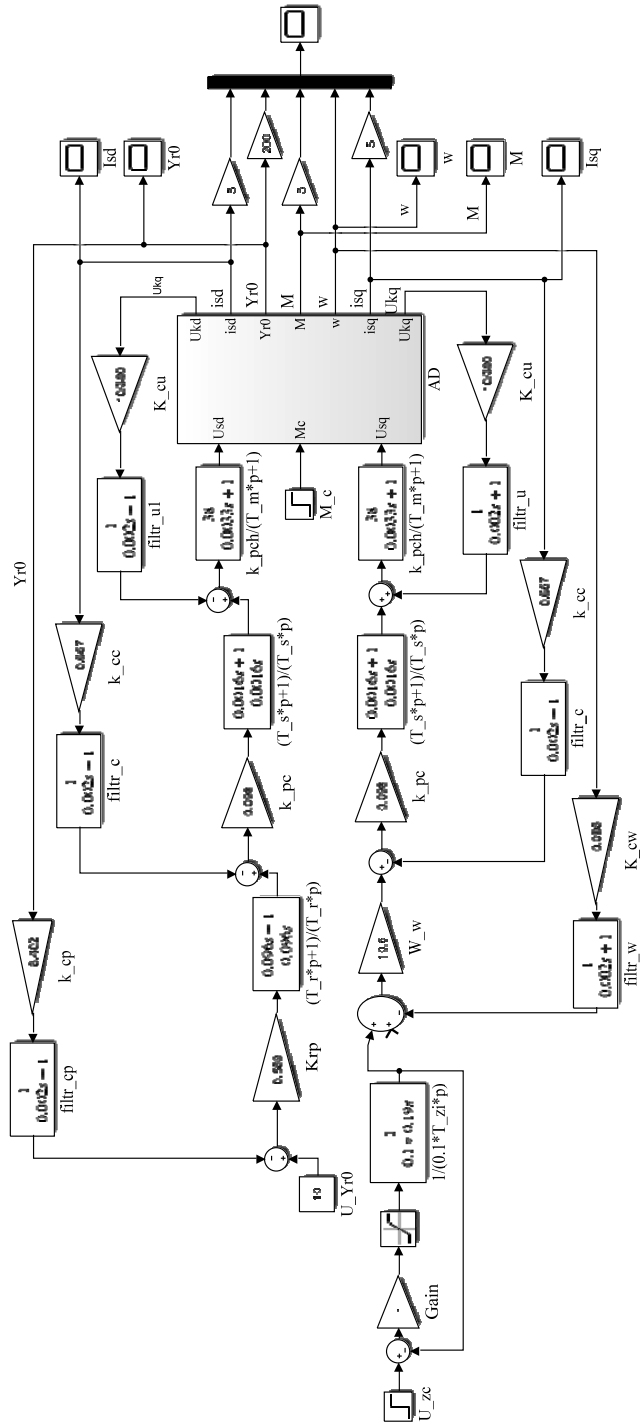
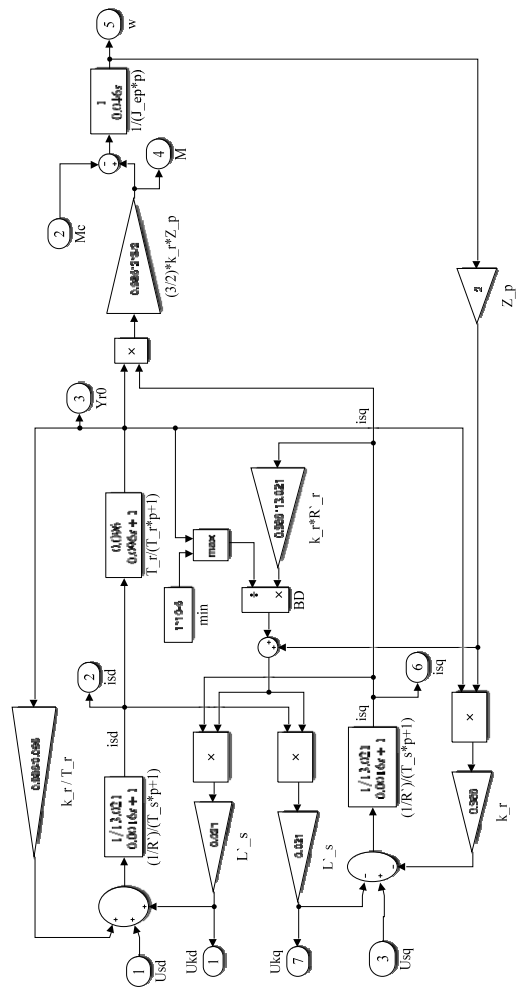


Схема системи електропривода та асинхронного двигуна в середовищі Simulink (Matlab)

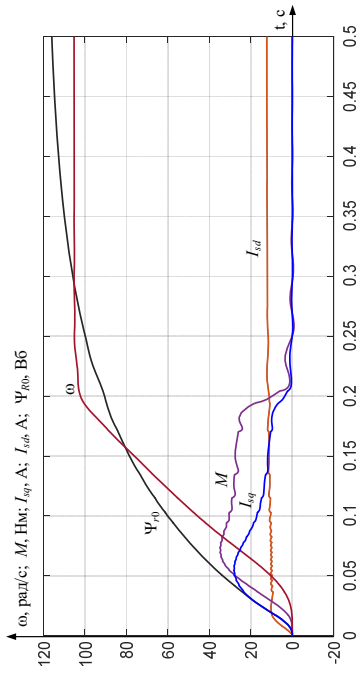


Структура системи електропривода

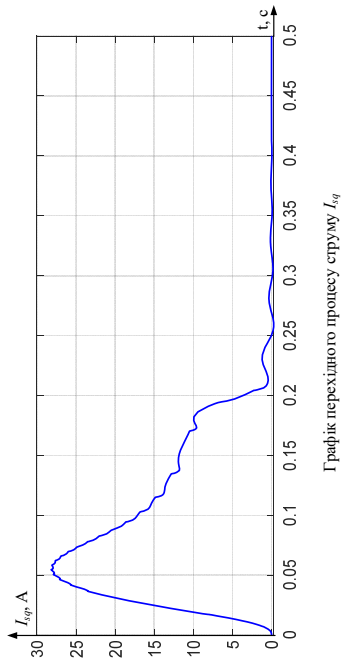


Структура асинхронного двигуна AD

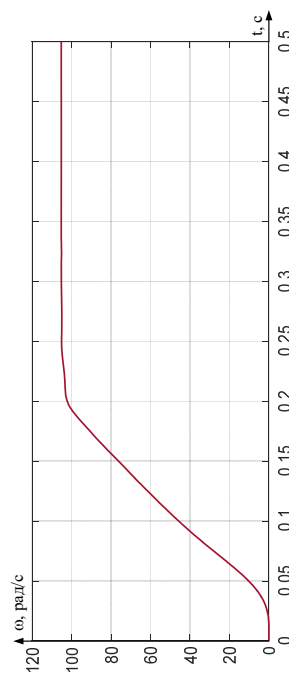
## Дослідження системи електропривода при оптимізованих параметрах



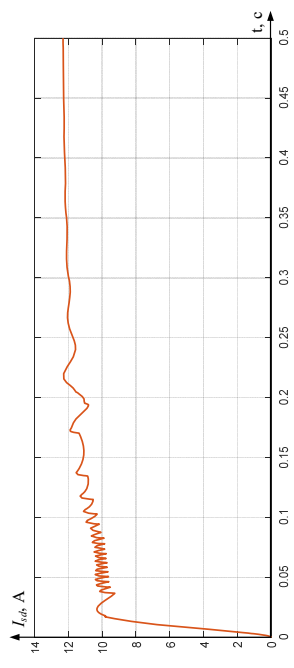
Результат моделювання системи електропривода



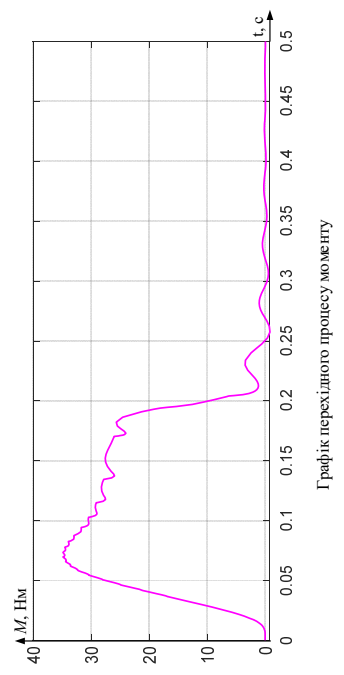
Графік перехідного процесу струму  $I_{sp}$



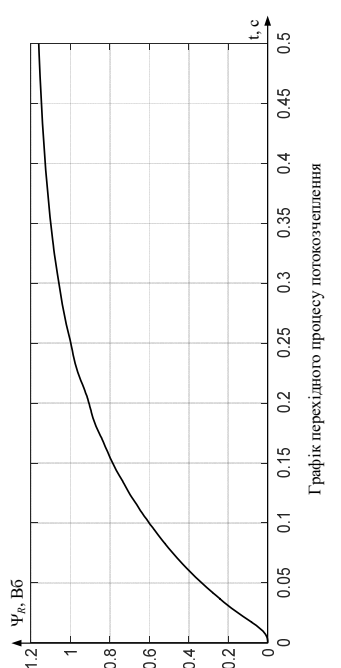
Графік перехідного процесу кутової швидкості



Графік перехідного процесу струму  $I_{id}$

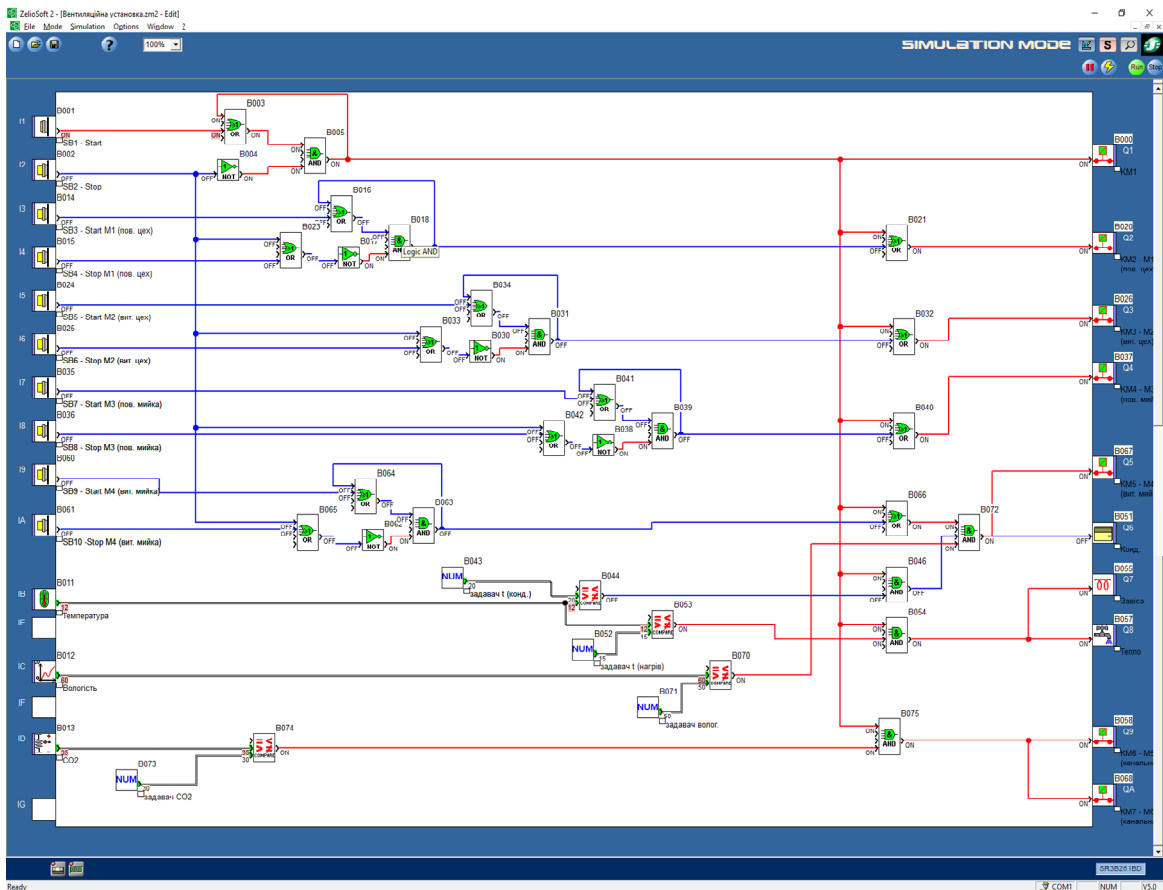
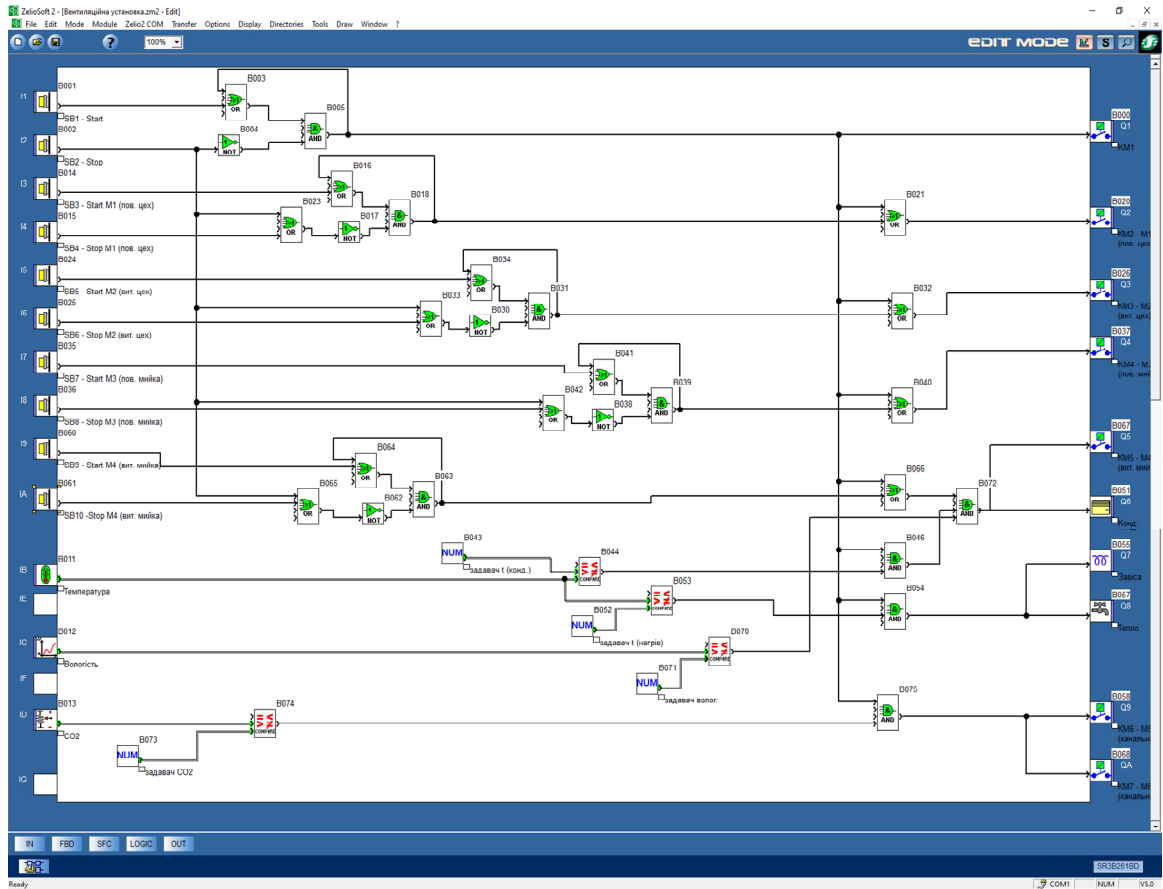


Графік перехідного процесу моменту



Графік перехідного процесу потокозчеплення

# Програма контролера Zelio Logic



# Параметри програми контролера Zelio Logic

Вентиляційна установка zm2 - v1.0



Вентиляційна установка

## Program information

Author : Дмитро СОКОЛОВ  
 Project name : Вентиляційна установка  
 Version : 1.0

Module : SR3B261BD Cycle time in the module : 5 x 2 ms WATCHDOG action : Inactive Type of Hardware Input Filtering : Slow (3ms) <input type="checkbox"/> Locking of module front panel  Date format : dd/mm/yyyy <input type="checkbox"/> Daylight Saving Time change activated Zone : Europe Change to Daylight Saving Time : March, Last Sunday Return to winter time : October, Last Sunday
--

## Comments

Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на станції технічного обслуговування

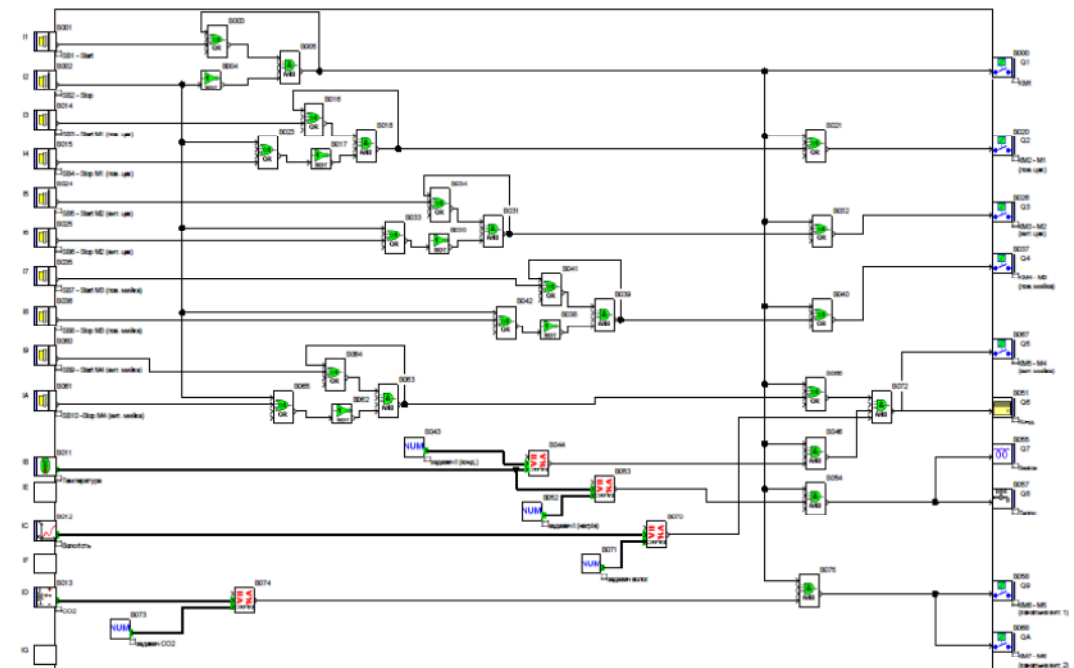
Міністерська кваліфікаційна робота  
 Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
 ВНТУ - 2023

Вентиляційна установка zm2 - v1.0



Вентиляційна установка














## Program diagram















# Параметри програми контролера Zelio Logic





## Physical inputs

Input	No	Symbol	Function	Lock	Parameters	Comment
I1	B001		Pushbutton	---	No parameters	SB1 - Start
I2	B002		Pushbutton	---	No parameters	SB2 - Stop
I3	B014		Pushbutton	---	No parameters	SB3 - Start M1 (пов. цех)
I4	B015		Pushbutton	---	No parameters	SB4 - Stop M1 (пов. цех)
I5	B024		Pushbutton	---	No parameters	SB5 - Start M2 (вит. цех)
I6	B025		Pushbutton	---	No parameters	SB6 - Stop M2 (вит. цех)
I7	B035		Pushbutton	---	No parameters	SB7 - Start M3 (пов. мийка)
I8	B036		Pushbutton	---	No parameters	SB8 - Stop M3 (пов. мийка)
I9	B060		Pushbutton	---	No parameters	SB9 - Start M4 (вит. мийка)
IA	B061		Pushbutton	---	No parameters	SB10 - Stop M4 (вит. мийка)
IB	B011		Analog input 0...10V	---	Electrical connection at input : 0 - 10 V	Температура
IC	B012		Analog input 0...10V	---	Electrical connection at input : 0 - 10 V	Вологість
ID	B013		Analog input 0...POW SUP V	---	Electrical connection at input : 0 - 10 V	CO2

## Physical outputs

Output	No	Symbol	Function	Comment
Q1	B000		Normally open contact	KM1
Q2	B020		Normally open contact	KM2 - M1 (пов. цех)
Q3	B026		Normally open contact	KM3 - M2 (вит. цех)
Q4	B037		Normally open contact	KM4 - M3 (пов. мийка)
Q5	B067		Normally open contact	KM5 - M4 (вит. мийка)
Q6	B051		Heating	Конд.
Q7	B055		Resistance	Завіса
Q8	B057		Valve	Тепло
Q9	B058		Normally open contact	KM6 - M5 (канальна вит. 1)
QA	B068		Normally open contact	KM7 - M6 (канальна вит. 2)

## Configurable functions

No	Symbol	Function	Lock	Latching	Parameters	Comment
B043	NUM	Numerical constant	No	---	Value of the constant : 20	задавач t(конд.)
B044		Comparison of 2 values	---	---	VALEUR 1 ≤ VALEUR 2	
B052	NUM	Numerical constant	No	---	Value of the constant : 15	задавач t(нагрів)
B053		Comparison of 2 values	---	---	VALEUR 1 ≤ VALEUR 2	
B070		Comparison of 2 values	---	---	VALEUR 1 ≥ VALEUR 2	
B071	NUM	Numerical constant	No	---	Value of the constant : 50	задавач волор.
B073	NUM	Numerical constant	No	---	Value of the constant : 30	задавач CO2
B074		Comparison of 2 values	---	---	VALEUR 1 ≥ VALEUR 2	



# Новизна та практичне значення одержаних результатів. Апробація результатів

## Новизна одержаних результатів:

– запропоновано систему автоматизації вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на СТО на основі контролера Zelio Logic фірми Schneider Electric, що дозволяє контролювати температуру, вологість та концентрацію вихлопних газів в межах заданих значень, чим забезпечується ефективна робота обслуговуючого персоналу.

## Практичне значення одержаних результатів:

– використання запропонованої системи вентиляційної установки забезпечить мінімізацію електроспоживання при дотриманні заданих показників мікроклімату робочої зони обслуговуючого персоналу. Використання частотних перетворювачів для асинхронних двигунів дозволить підвищити надійність установки при мінімальних затратах на її обслуговування.

## Апробація результатів:

– основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 15.10.2023 – 20.05.2024.

## Основний зміст роботи опубліковано в 1 тезі:

Розводюк М.П. Автоматизації вентиляційної установки станції технічного обслуговування / М.П. Розводюк, К.М. Розводюк, Д.В. Соколов // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2024), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 15.10.2023 – 20.05.2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19590>



## Додаток В

(обов'язковий)

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

**Назва роботи:** Електропривод вентиляційної установки для видалення вихлопних газів на СТО

**Тип роботи:** магістерська кваліфікаційна робота

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

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

### Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	86,1%
Схожість	13,9%

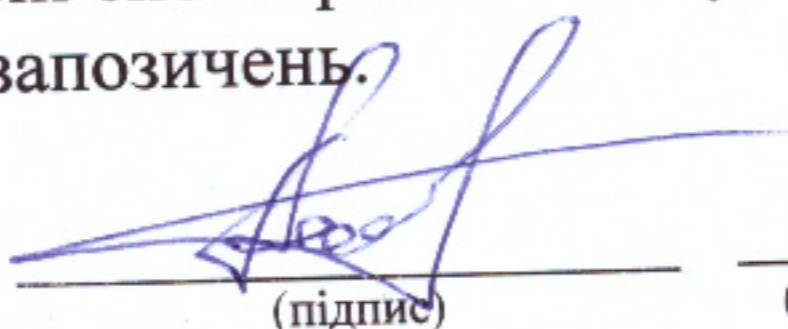
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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.

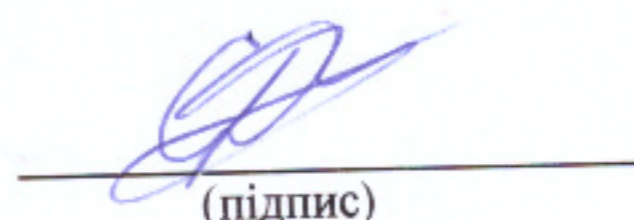
Особа, відповідальна за перевірку

  
(підпис)

Паянок О.А.  
(прізвище, ініціали)

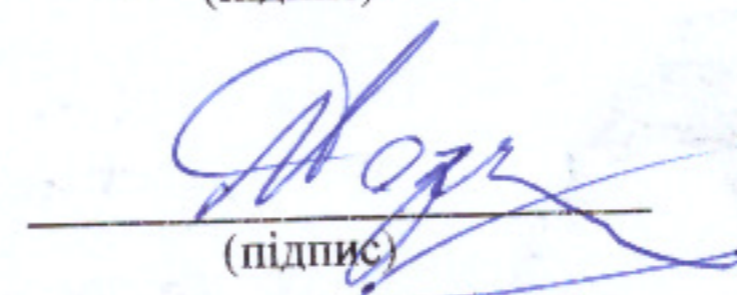
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи

  
(підпис)

Соколов Д.В.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Розводюк М.П.  
(прізвище, ініціали)