

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра автоматизації управління електротехнічними  
комплексами

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Віктор РОЗЕН**

«\_\_» червня 2021 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

за освітньо-професійною програмою: «Інжиніринг автоматизованих  
електротехнічних комплексів»

спеціальності 141: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація вентиляторної  
установки метрополітену»

Виконав:

студент III курсу, групи ОА-п81

**Хрипко Вадим Віталійович**

Керівник:

ст. викладач **Прядко Сергій Леонідович**

Консультант з електропостачання:

к.т.н., доц. **Мейта Олександр В'ячеславович**

Консультант з охорони праці:

к.т.н., доц. **Козлов Сергій Степанович**

Рецензент: \_\_\_\_\_

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

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ– 2021 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра автоматизації управління електротехнічними  
комплексами

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Віктор РОЗЕН**

«\_\_» червня 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту  
Хрипку Вадиму Віталійовичу**

1. Тема проєкту: «**Електромеханічне обладнання та автоматизація вентиляторної установки метрополітену**», керівник проєкту ст. викладач Прядко Сергій Леонідович, затверджені наказом по університету від «27» травня 2021 р. № 1353-с
2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2021р.
3. Вихідні дані до проєкту Технічні дані системи вентиляторної установки метрополітену.
4. Зміст пояснювальної записки
  - **Загально-технічна частина** (*Технічна характеристика вентилятора ВОМД-24*)
  - **Електропостачання** (*Відомості про електропостачання вентиляторної установки метрополітену*)
  - **Спеціальна частина** (*Вибір електроприводу вентилятора LeroySomer LSRPM280MD*)
  - **Охорона праці** (*Вимоги діючих правил електроустановок ,а також правил технічної експлуатації електроустановок*)
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)  
**1 аркуш** – **Схема електропостачання ділянки метрополітену**  
**2 аркуш** – **Застосування активного випрямляча як енергозберігаючого елемента в електроприводі ВУ.**

**3 аркуш** – Цифрова модель електропривода. Динамічні і статичні характеристики.

**4 аркуш** – Принципова схема електропривода.

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Електропостачання	к.т.н., доц. Мейта Олександр В'ячеславович		
Охорона праці	к.т.н., доцент Козлов С.С.		

7. Дата видачі завдання 11 травня 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Загально-технічна частина	11..17 травня 2021р.	
2	Електропостачання	16...22 травня 2021 р.	
3	Спеціальна частина	11.05....9.06 2021р	
4	Охорона праці	17....30 травня 2021р.	
5	Захист дипломного проекту	15-17 червня 2021р.	

Студент

Вадим ХРИПКО

Керівник

Сергій ПРЯДКО

---

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП 2410. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	68	
3	A1	ДП 2410. 01.000 ТК	Схема електропостачання ділянки метрополітену	1	
4	A1	ДП 2410. 02.000 ТК	Застосування активного випрямляча як енергозберігаючого елемента в електроприводі ВУ.	1	
5	A1	ДП 2410. 03.000 ТК	Цифрова модель електропривода. Динамічні і статичні характеристики.	1	
6	A1	ДП 2410. 03.000 ТК	Цифрова модель електропривода. Динамічні і статичні характеристики.	1	

				<b>ДП 2410 00.000.00</b>		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Хрипко В.В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	
Керівн.	Прядко С.Л.				1	
Консульт.					1	
Н/контр.	Смоляр В.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АУЕК Гр. ОА-п81	
Зав.каф.	Розен В.П.					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація  
вентиляторної установки метрополітену»**

Київ – 2021 року

## **Зміст**

<b>ВСТУП.....</b>	
<b>1. Загальна-технічна частина .....</b>	
<b>1.1 Системи вентиляції тунелів метрополітену .....</b>	
<b>2. Електропостачання.....</b>	
<b>2.1 Розрахунок освітлення.....</b>	
<b>2.2 Розрахунок навантажень та вибір потужностей трансформатора</b>	
<b>2.3 Вибір перерізу кабелів.....</b>	
<b>2.4 Вибір перерізу зовнішніх кабелів.....</b>	
<b>2.5 Перевірка кабельної мережі на стійкість роботи захисту від струму</b>	
<b>витоку.....</b>	
<b>2.6 Перевірка електричної мережі за пусковим режимом.....</b>	
<b>2.7 Розрахунок струмів короткого замикання.....</b>	
<b>2.8 Вибір магнітних пускачів та автоматичних вимикачів.....</b>	
<b>2.9 Вибір запобіжників та плавких вставок.....</b>	
<b>2.10 Вибір розподільних шаф.....</b>	
<b>3. Спеціальна частина.....</b>	
<b>3.1 Актуальність теми.....</b>	
<b>3.2 Способи регулювання продуктивності вентиляторних установок</b>	
<b>метрополітену.....</b>	
<b>3.3 Вибір електроприводу вентилятора.....</b>	
<b>3.4 Вибір силового устаткування.....</b>	
<b>3.5 Параметри розімкненої структурної схеми ВД.....</b>	
<b>3.6 Розрахунок параметрів регуляторів системи автоматичного</b>	
<b>керування .....</b>	
<b>3.7 Підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок</b>	
<b>3.8. Автоматизації вентиляторних установок метрополітену.....</b>	

										Арк.
Зм.	Арк.	докум.№	Підпис	та						

<b>4. Охорона праці.....</b>	
<b>4.1 Вимоги до роботи вентиляторних установок.....</b>	
<b>4.2 Вентиляція теплопостачання, опалення.....</b>	
<b>4.3 Електробезпека.....</b>	
<b>4.4 Пожежна безпека.....</b>	
<b>4.5 Системи раннього виявлення надзвичайної ситуації.....</b>	
<b>4.6 Захист будівель та споруд від вібрації і шуму.....</b>	
<b>4.7 Розрахунок захисного заземлення.....</b>	
<b>Перелік посилань.....</b>	

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. Загальна-технічна частина

## 1.1 .Системи вентиляції тунелів метрополітену

Вентиляція тунелів метрополітену передбачається для вилучення на поверхню що виділяються в них вредні речовини (тепло, волога, пил, гази та ін.), а також підтримки в тунелях заданих метеорологічних умов і хімічного складу повітря. Вона може здійснюватися з природним і штучним способом при поперечному, полупоперечном і поздовжньому схемах розподілу повітря. Схему, принцип і спосіб вентиляції тунелів вибирають в залежності від кліматичних умов міста, в якому споруджується метрополітен, глибини заложення тунелів, їх перетину і конструкції, довжини перегонів між станціями, забудови поверхні, загальної довжини траси і пропускної здатності метрополітену.

При вентиляції з природним спонуканням повітря в тунель надходить внаслідок поршневого дії проходять по тунелях поїздів і під дією гравітаційних сил (внаслідок різниці питомих ваг зовнішнього і внутрішнього тунельного повітря). При вентиляції з штучним способом повітря в тунель або тільки подається, або тільки з нього витягується, або одночасно подається і витягується примусово (вентиляторами).

При поперечному способі розподілу повітря останній подається в тунель і витягується з нього через систему воздуховодів, прокладаються майже на всьому протязі тунелів. Повітроводи можуть прокладатися в тунелях (під їх проїжджою частиною і у склепіння) або замість них можуть споруджуватися поруч з тунелями спеціальні вентиляційні штольні (рис. 1.1). В обох випадках повітря з воздуховода подається в тунель через спеціальні отвори, рівномірно розташовані по довжині тунелю, а відпрацьований витягується з тунелю через такі ж отвори в витяжному повітроводі, припливні і витяжні отвори зміщуються між собою.

					<b>2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Хрипко В.В.</i>			<b>Загальна-технічна частина</b>	Літера	Аркуш	Аркушів
Перев.		<i>Прядко С.Л.</i>						
Н. контр.								
Затверд.								
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		

При поперечному способі розподілу ,чистий зовнішнє повітря подається в тунель примусово (аналогічно поперечному способу), а відпрацьований проходить по всьому тунелю і виходить назовні через портали тунелю і спеціальні вентиляційні шахти, розташовані уздовж тунелю (див. Рис. 1.1).

Для поздовжнього способу, що застосовується при вентиляції зі штучним і природним спонуканням, сам тунель служить воздуховодом, по якому проходить необхідний для вентиляції повітря. Напрямок руху повітря по тунелю в цьому випадку визначається взаємним розташуванням на його довжині приточних і витяжних вентиляційних шахт (див. Рис. 1).

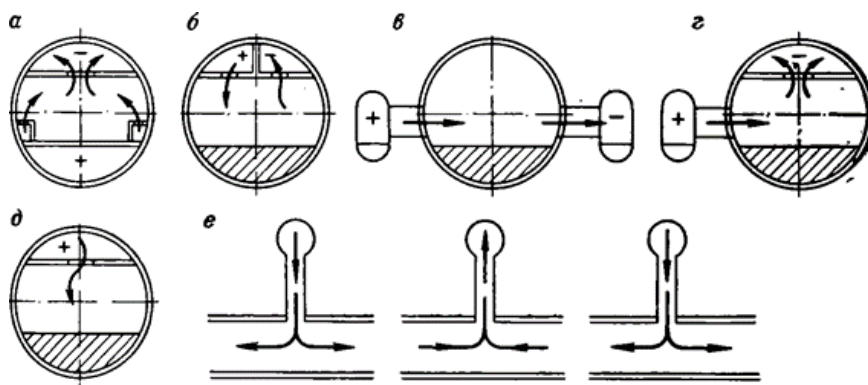


Рис.1. Схема вентиляції тунелів при поперечному способу розподілу повітря(а,б,в,г), поперечному (д), поздовжньому (е); Стрілками показано напрямлення руху повітря.

Поперечний і поперечний способи розподілу повітря застосовують при вентиляції автодорожніх тунелів.

Поздовжній спосіб розподілу повітря, а в деяких випадках і поперечний застосовуються при вентиляції метрополітенів і залізничних тунелів. При вентиляції станцій і тупиків метрополітенів часто застосовують поперечний спосіб, а перегінних тунелів - поздовжній. Слід зазначити, що поздовжній спосіб розподілу повітря вимагає мінімальних капітальних і експлуатаційних витрат, а також мінімальної витрати електроенергії (в порівнянні з витратами і витратою електроенергії при інших способах).

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення основного принципу вентиляції споруд метрополітену, яка полягає в підтримці в допустимих межах параметрів і складу повітря, необхідно подавати чисте повітря до місць найбільшого скупчення пасажирів і тривалого перебування обслуговуючого персоналу з подальшим розподілом повітря по всьому тунелях. Обслуговуючий персонал в основному знаходиться на станціях і в пристанційних спорудах. Найбільше скупчення пасажирів також буває на станціях (особливо на пересадочних станціях), тому чисте повітря слід подавати на станції і через перегін витягувати відпрацьоване повітря. Для забезпечення нормальних умов експлуатації (збереження оздоблювальних матеріалів, виключення можливості заморожування систем водовідливу, водопроводу і каналізації) температура повітря на станціях по існуючим нормам повинна бути не менше  $t_{ст} \geq +5^{\circ} C$ .

Виходячи з цього в кліматичних районах, де середня температура найхолоднішого місяця  $t_m < 0^{\circ} C$ , систему вентиляції слід споруджувати реверсивної, в теплу пору року повітря необхідно подавати на станцію і вилучати через перегін, а в холодну - на перегін і вилучати через станцію. У теплу пору року на станції буде підтримуватися найнижча температура, а в холодну пору року повітря, що надходить на перегін, підігрівається за рахунок тепла, що виділяється в тунелях різним обладнанням, і на станцію надходить з найбільш високою температурою. У кліматичних районах з середньою температурою найхолоднішого місяця  $t_{х м} > 0^{\circ} C$  система подачі і вилучення повітря на станціях і перегінних тунелях протягом року може бути постійною (приплив чистого повітря тільки через станцію, а витяг відпрацьованого повітря тільки через перегін). Однак дослідження, проведені автором останнім часом, показують, що така система вентиляції призводить, як правило, до підвищеного повітрообміну.

Систему вентиляції тунелів, по яких рухаються поїзди (перегінні тунелі, станції, тупики, з'їзди і сполучні тунелі), називають основною тунельної, а систему вентиляції окремих приміщень або їх групи - міської. При вентиляції тунелів рух повітря в них викликається рухом поїздів ( в результаті їх поршневого дії), роботою вентиляторів і дією гравітаційних сил під час

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відсутності руху поїздів повітря в тунелях рухається або під дією гравітаційних сил, або в результаті роботи вентиляторів і дії гравітаційних сил. У кожному з двох паралельно розташованих та ізольованих один від одного перегінних тунелях при великій частоті руху (24-48 пар поїздів на годину) повітря рухається в напрямку руху поїздів. При невеликій частоті руху (менше 24 пар поїздів на годину) в момент найбільшого видалення поїзда від розглянутого перерізу тунелю можуть спостерігатися окремі випадки зміни напрямку руху повітря в бік, протилежний руху поїздів.

Тип і характеристика вентиляторів тунельної вентиляції визначаються специфічними умовами їх роботи і проживання в підземних вентиляційних камерах. Виходячи з цього вентилятори тунельної вентиляції повинні відповідати таким вимогам. При порівняно невеликому статичному тиску ( $H_c = 30 \div 70 \text{ кгс/м}^2$ ), вони повинні володіти великою продуктивністю ( $L = 180\,000 - 250\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Для зручності експлуатації і можливості обмеження одним типом вентилятора (хоча б на одній лінії) діапазон допустимого зміни продуктивності повинен бути досить широкий (приблизно в межах  $70\,000 - 250\,000 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ). Коефіцієнт корисної дії (ККД) вентиляторів тунельної вентиляції при оптимальному режимі роботи повинен бути максимальним. Вони повинні працювати як на прямому, так і на реверсивному ході. Реверсування необхідно здійснювати дистанційно .

З огляду на широке застосування у вітчизняній практиці реверсивних систем тунельної вентиляції і тривалість їх роботи в режимі реверсування, продуктивність вентилятора при роботі на реверс повинна становити не менше 80% його продуктивності при прямому ході. На відміну від вентиляторів, які застосовуються в гірській промисленості, вентилятори тунельної вентиляції в реверсивних системах повинні працювати на реверс 40-60% річного часу.

Тому економічність установки обумовлює необхідність отримання КПД Вентилятора при реверсивної його роботі, близькою до роботи прямого ходу.

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Їх аеродинамічна характеристика повинна забезпечувати стійку паралельну роботу двох однакових вентиляторів. Розміри їх повинні бути найменшими і забезпечувати доступ до всіх місць, які вимагають обслуговування і спостереження без повного розбирання вентилятора. Привід від електродвигуна до вентилятора повинен бути надійним, простим в обслуговуванні і малOSHумним. Конструкція вентиляторів повинна бути маловібраційної, простою і надійною, а також устоїчівою проти поршневого знакозмінного пульсуючого дії рухомих по тунелях поїздів. Вона повинна забезпечувати розбірний, а розбираються вузли повинні бути транспортабельні. Конструктивна схема вентилятора повинна дозволити економічно встановлювати його в підземній вентиляційній камері прямокутного і круглого перетину з найменшим аеродинамічним опором за умови спільної установки двох вентиляторів. Аеродинамічний шум від роботи вентиляторів повинен бути найменшим, так як повітрязабірні і витяжні кіоски вентиляційних шахт, як правило, розташовуються серед житлових і адміністративних будівель, для яких не допускається високий рівень шуму, а спеціальні шумопоглинаючі пристрої вимагають великих капітальних витрат. Цим вимогам найкраще відповідають осьові вентилятори, які застосовуються у вітчизняних метрополітенах, починаючи з першої черги Київського метрополітену. Відцентрові вентилятори (в порівнянні з осьовими) мають більш низький рівень шуму, однак за іншими вимогами для умов метрополітену значно поступаються осьових вентиляторів. Інтенсивність шуму вентилятора зростає зі збільшенням його окружної швидкості «*n*» і діаметра «*D*» (м), пов'язаних між собою залежністю

$$v = \frac{3,14 D n}{60}, \quad \text{м/с.}$$

Тому для зниження інтенсивності шуму слід зменшувати швидкість обертання вентилятора *n*, а для забезпечення заданого напору влаштовувати багатоступеневу схему робочих коліс (два ступені і більше).

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даний час основним вентилятором для провітрювання метрополітену використовується осьовий вентилятор ВОМД-24

*Технічна характеристика вентилятора ВОМД-24*

*Продуктивність, м<sup>3</sup> / с: ..... 20 ..... ..70*

*Тиск повне, даПа;*

*при прямому ході 80-20*

*при реверсивному ході 45-15*

*ККД. Повний максимальний, % 84*

*Частота обертання робочих коліс, об / хв. . . 320*

*Встановлена потужність електродвигуна, кВт 22-75*

При реверсуванні вентилятор забезпечує продуктивність, що становить близько 80% максимальної продуктивності. Вентилятор оснащений електричним гальмом, що запобігає його мимовільне обертання (на додаток до направляючої і спрямляються апаратів, які виконують роль заслінок) від поршневого дії рухомих поїздів або повітряних потоків, що виникають від дії гравітаційних сил в умовах, коли вентилятор відключений від роботи.

Конструкція вентилятора приведена на рис. 1.1

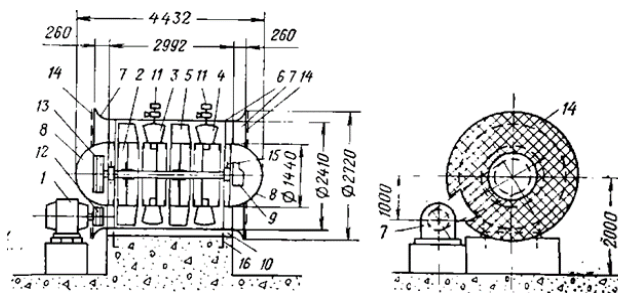


Рис.1.1. Конструкція осьового двоступеневого вентилятора ВОМД-24

Для метрополітену з дистанційним управлінням (робоче колесо діаметром 2400 мм і колекторами): 1 - приводний електродвигун; 2 - ротор вентилятора; 3 - направляючий апарат-заслінка; 4 - спрямляючий апарат-заслінка; 5 - робоче колесо; в - кожух; 7 - колектор; в - кок; 9 - електрогальмами; 10 - рама; і - приводний редуктор з сервомотором РБ-100 і командоапаратом; 12 - шків електродвигуна; 13 - пгкїй вентилятора; 14 - захисна сітка; 15 - Електротермометрія підшипників; 16 - анкерні болти

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

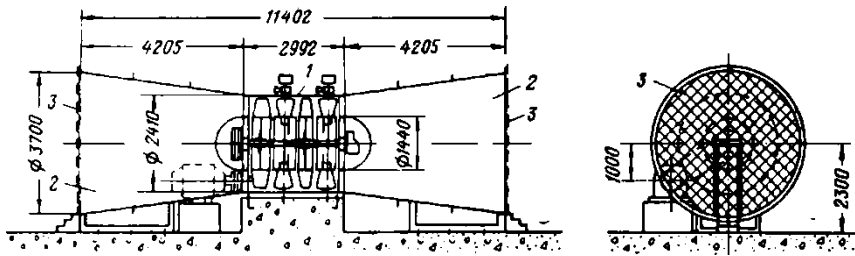


Рис.1.2. Конструкція осевого двоступеневого вентилятора ВОМД-24 для метрополітену (робоче колесо діаметром 2400 мм) з дистанційним управлінням і дифузорами: 1 - вентилятор (див. Рис.1.2.); 2 - дифузор; 3 - захисна сітка.

Таблиця 1. Потужності електродвигунів в залежності від кута установки лопатей

Кут установки лопаток робочих коліс, градуси	Потужність електродвигу на, кВт	Тип електродвигуна	Швидкість обертання валу двигуна, об/мин	Напруга, В
15	22	АОП2-81-8	750	380/220
20; 25	30	АОП2-82-8	750	380/220
30; 35	40	АОП2-91-8	750	380/220
35; 40	55	АОП2-92-8	750	380/220
45	75	А101-8	750	380/220

Характеристики вентилятора ВОМД-24 наведено на рис.1.3

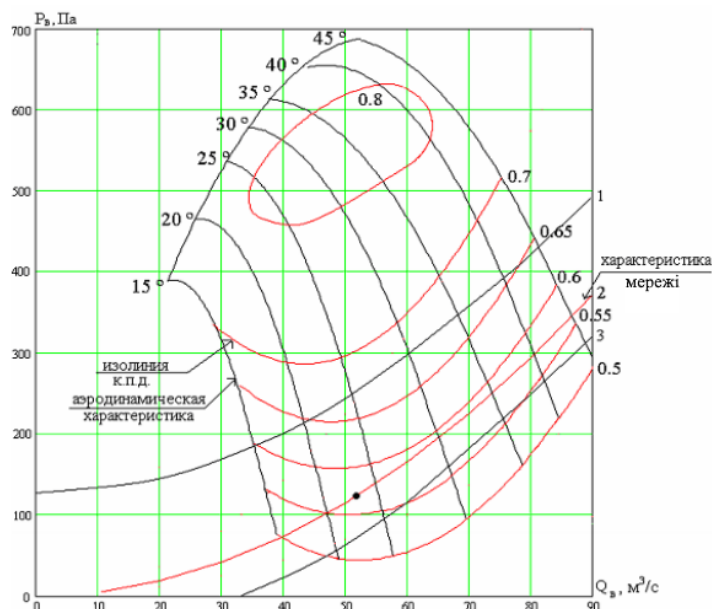


Рисунок 1.3 Характеристики вентилятора ВОМД-24

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведемо розрахунки для отримання робочої зони вентилятора  
Побудуємо характеристики для всіх режимів роботи установки:

$$R_1 = \frac{H_1}{Q_1^2} = \frac{45}{70^2} = 0.009$$

$$R_2 = \frac{H_2}{Q_2^2} = \frac{6}{30^2} = 0.007$$

Для побудови графіків  $H_1 = R_1 Q^2$ ,  $H_2 = R_2 Q^2$ , складаємо таблицю 1.1:

Таблиця 1.1 Результати побудови графіків зовнішньої мережі

Q м <sup>3</sup> /с		20	40	60	70	80
K=1	H <sub>1</sub> даПа	3.6	14.4	32.4	44.1	57.6
K=2	H <sub>2</sub> даПа	2.8	11.2	25.2	34.3	44.8

Для знаходження робочих характеристик вентилятора використовуємо програму «GR3.bus». Апроксимація полінома 2 степеня дає робочі характеристики (рис. 1.5 та 1.6):

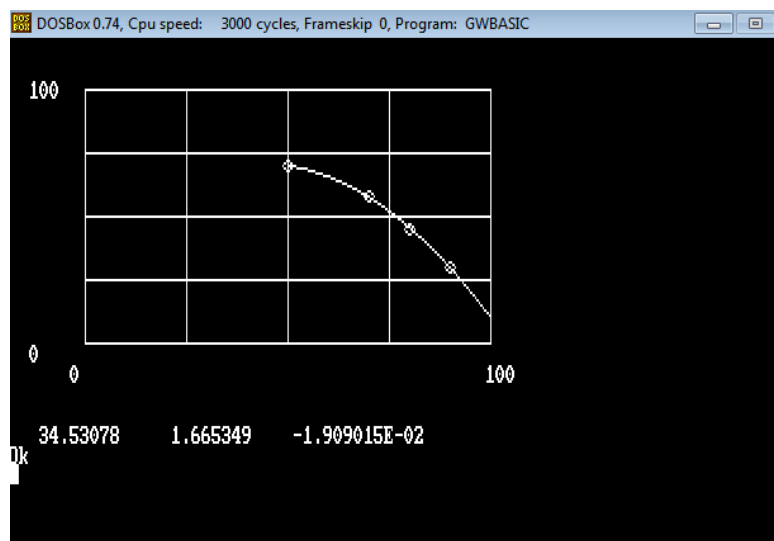


Рисунок 1.4 Характеристика для кута 45<sup>0</sup>

Для режиму K=1 :

$$H_{45} = 34.53 + 1.665 * 70 - 0.01909 * 70^2 = 54 \text{ даПа}$$

Для режиму K=2 :

$$H_{20} = 8.273 + 3.111 * 30 - 0.06354 * 30^2 = 43 \text{ даПа}$$

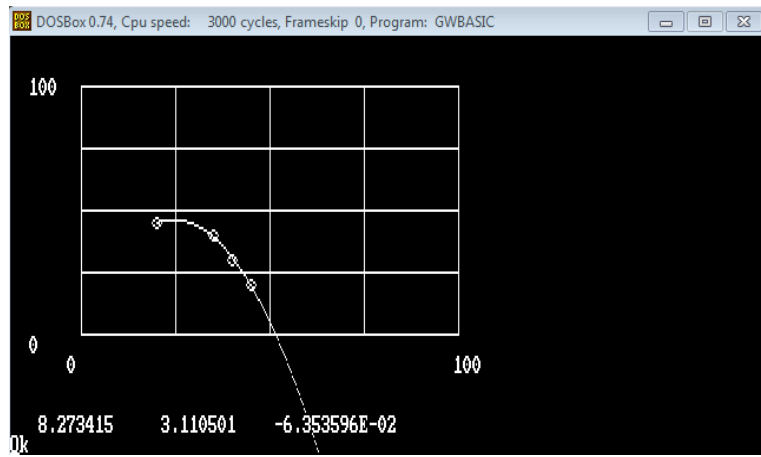


Рисунок 1.5 Характеристика для кута  $20^{\circ}$

Розрахуємо потужність на валу вентилятора

$$P_1 = \frac{k \cdot Q_1 \cdot H_1}{102 \cdot \eta_{p1}} = \frac{1.1 \cdot 70 \cdot 54}{102 \cdot 0.7356} = 55.5 \text{ кВт}$$

$$P_2 = \frac{k \cdot Q_2 \cdot H_2}{102 \cdot \eta_{p2}} = \frac{1.1 \cdot 30 \cdot 43}{102 \cdot 0.56} = 24,8 \text{ кВт}$$

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Електропостачання

### 2.1 Розрахунок освітлення

Вхідними умовами для розрахунку методом коефіцієнта світлового потоку є:

Майстерня 12\*8 м, h=1,8 м

Метод враховує не тільки потік, який падає на робочу поверхню безпосередньо від світильника, але й потік, відбитий від стін та стелі, за рахунок введення коефіцієнта використання освітлювальної установки. Останній залежить від кольору стін і стелі, розмірів приміщення.

Метод використовують для розрахунку освітлення приміщень, насосних, машинних камер, камер ЦПП, РПП та інших.

Приймаємо тип світильника і знаходять світловий потік лампи  $F_{л}$   
(Додатки 22-24).

Тип світильника - «Астра-1»;

Тип лампи – Б220-60(100);

$P = 60(100)$  Вт;

$U = 220$  В;

ККД – 70%;

$\cos \varphi = 1$ ;

$F_{л} = 715 (1350)$  лм.

Розраховуємо показник приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{12 \cdot 8}{2 \cdot (12+8)} = 2,4$$

де: А і В - довжина та ширина освітлюваного приміщення, м;  
h - висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ			
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Хрипко В.В.			Електропостачання	Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Мейта О.В.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затвер.								
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		



$$\Sigma \Phi = E_n \cdot S \cdot Z \cdot k_3 \cdot k_{BT} = 13 \cdot 1800 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 = 84240 \text{ лк} \quad (1.4)$$

де  $k_3 = 1,2 \dots 1,5$  - коефіцієнт запасу,  $k_{BT} = 1,15 \dots 1,5$  - коефіцієнт, що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної площі,  $Z = 1 \dots 3$  - коефіцієнт нерівномірності освітлення. де  $k_3 = 1,2 \dots 1,5$  - коефіцієнт запасу,  $k_{BT} = 1,15 \dots 1,5$  - коефіцієнт, що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної площі,  $Z = 1 \dots 3$  - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

При розрахунку освітлення нафтопромислу освітлювану територію можна представити у вигляді прямокутника площею  $S=A \cdot B$ ,  $m^2$ , де  $A$  та  $B$  – довжина та ширина майданчику.

Приймаємо прожектор з Додатку 31

Тип світильника	Тип лампи	Напруга, В	Потужність, кВт	Світловий потік, лм $10^3$	Максимальна сила світла, кд $10^3$	ККД %
ИСУ01	КГ-220-2000-3	220	2	54	1.85	65

Визначаємо число прожекторів для освітлення даної площі:

$$N_{пр} = \frac{\Sigma \Phi}{\Phi_l \cdot \eta_{пр}} = \frac{84240}{54000 \cdot 0.65} = 2,4$$

де  $\eta_{пр}$  = ККД прожектора (у відносних одиницях, а не відсотках);

$\Phi_l$  - світловий потік лампи прожектора, лм.

Приймаємо  $N_{пр} = 2$  шт.

Визначаємо висоту встановлення прожектора на щоглі

За умовами обмеження осліплюючої дії висота установки прожекторів, м:

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{max}}{300}}$$

$$h \geq \sqrt{\frac{1850}{300}}$$

$$h \geq 2.483$$

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ		



Структурна схема мережі прохідницької ділянки метробуду «Либідська» представлена на рис.2.1

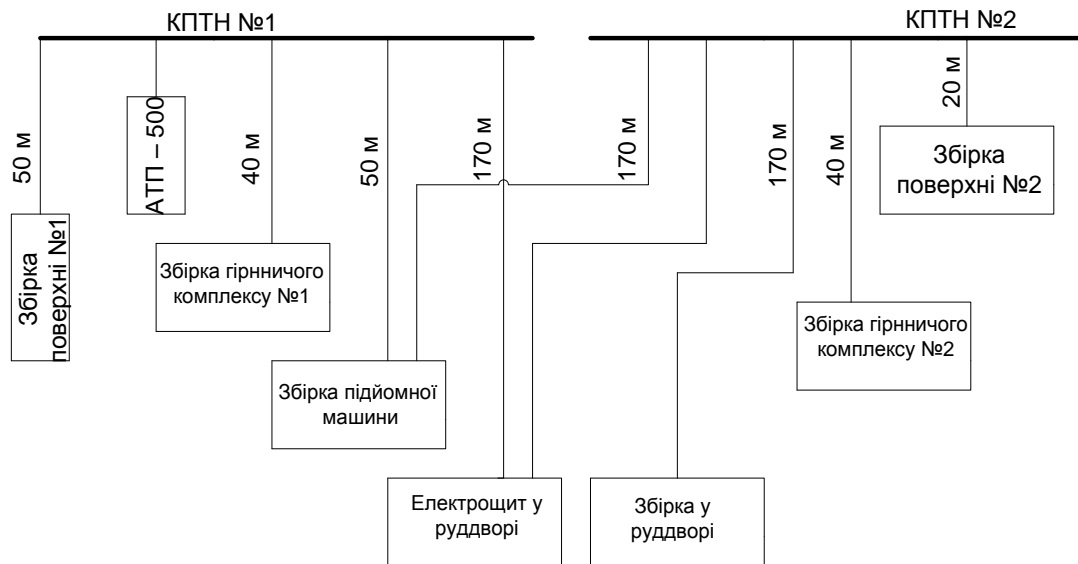


Рисунок 2.1-Структурна схема мережі прохідницької ділянки метробуду «Либідська»

## 2.2 Розрахунок навантажень та вибір потужностей трансформатора

$$K_n = 0,43 + 0,57 \cdot \frac{P_{H_{max}}}{\sum P_H} ; \text{ де } K_n - \text{ коефіцієнт попиту,}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} ; \text{ де: } U_H - \text{ номінальна напруга мережі}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} ;$$

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} ;$$

Вибір потужностей трансформатора зводимо в табл.2.2

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Вибір потужностей трансформатора

Назва	L,м	P <sub>н</sub> ,кВт	ККД	Cosφ	Sinφ	Тип машини	tgφ	$Q = \frac{P_H \cdot t_g}{\eta_H}$
	1	2	3	4	5	6	7	8
Збірка поверхні №1								
1. Освітлення будови	20	0.6	0.95	1	-		-	-
2. Лебідка лісоспуску	15	20	0.88	0.84	0.543	АО	0.65	14.8
3. Вентилятор	15	55	0.9	0.86	0.51	4А225М 4У3	0.59	36.1
4. Вентилятор	15	55	0.9	0.86	0.561	4А225М 4У3	0.59	36.1
		130.6						86.9
Збірка поверхні №2								
1. Точильний станок	10	10	0.865	0.82	0.57	АОЛ	0.7	8.1
2. Циркулярна пила	10	5.5	0.82	0.69	0.724	АОЛ	1.05	7.04
3. Строгальний станок	5	5.5	0.83	0.74	0.673	МА142	0.91	7.04
4. Освітлення майстерні	10	4	0.95	1	-		-	-
		25						22.2
Збірка гірничого комплексу №1								
1. Освітлення ствола	10	3.4	0.95	1	-		-	-
2. Освітлення естакади	15	1.6	0.95	1	-		-	-
3. Маслостанція	20	18.5	0.895	0.88	0.475	4А- 160МУ	0.54	11.2
4. Джерело живлення	5	7	0.86	0.81	0.586	АОС-62	0.73	5.9
5. Таль 5т	25	7	0.86	0.81	0.586	АОС-62	0.73	5.9
		37.5						23
Збірка гірничого комплексу №2								
1,2. Візок обміну вагонеток	10	5.5	0.85	0.8	0.6	АЛ1352- 69-3	0.75	4.9
3. Штовхач нижньої дії	15	5.5	0.85	0.8	0.6	АЛ1352- 69-3	0.75	4.9
4,5. Перекидач	10	7.5	0.87	0.8	0.6		0.75	6.5
5. Кулаки клітів	15	4.5	0.86	0.8	0.6	АО	0.75	3.9
6. Машина очистки вагонеток	15	17	0.9	0.9	0.436	АО-271- 6	0.48	9.1
		53						
Збірка машинного підйому								
1. Підйомна машина	40	160	0.85	0.85	0.527		0.62	116.7
2. Шахтна сигн. 1.5 кВт	100	1.4	0.85	0.85	0.527		0.62	1.02
		161.4						117.7
Електропит у руддворі								
1. Насос гол. водовідливу	5	22	0.88	0.84	0.543	ВАО-72- 2	0.65	16.3
2. Насос гол. водовідливу	30	22	0.88	0.84	0.543	ВАО-72- 2	0.65	16.3
3. Лебідка монтажна	10	11	0.81	0.77	0.638	МТ-41-8	0.83	11.3
4. Лебідка монтажна	100	11	0.81	0.77	0.638	МТ-41-8	0.83	11.3
5. Розчинонагнітач	25	5.5	0.85	0.77	0.638	АО-2-51- 6	0.83	5.4

Арк.

2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

## Продовження табл.2.2

6.Розчинонагнітач	700	5.5	0.85	0.77	0.638	АО-2-51-6	0.83	5.4
7. Ричаг	10	11	0.81	0.77	0.638	МТ-41-8	0.83	11.3
8.Комплекс КМ-14Гп	50	49	0.82	0.86	0.51	КМ-14Гп	0.50	32.3
		137						112.4
Збірка у руддворі								
Освітлення руддвора	10	2.4	0.95	1	-	-	-	-
Освітлення перегонного тунелю	67	8.2	0.95	1	-	-	-	-
		10.6						
АТП – 500	50	160	0.88	0.84	0.543		0.65	118

## 2.3 Вибір перерізу кабелів

$$I_p = I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} ;$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \cdot l}{U_H} \cdot 100 ;$$

Результати вибору перерізу кабелів зводимо в табл.2.3

Таблиця 2.3 - Вибір перерізу кабелів внутрішньої збірки

Назва	L, м	I <sub>p</sub> , А	I <sub>s</sub> , А	R, Ом/км	X, Ом/км	Вибір перерізу, мм		Марка кабелю	ΔU, %
						по нагріву	по втратам		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Збірка поверхні №1	50	187	200	0.26	0.08	120	120	АВБбШв 3х120+1х35	1.1
1. Освітлення будови	20	1.7	22	5.02	0.115	2.5	2.5	АВБбШв 3х25	0.1
2. Лебідка лісоспуску	15	41.1	46	1.84	0.092	10	10	АВБбШв 3х10	0.3
3,4 Вентиляторх2	15	108	120	0.51	0.08	50	50	АВБбШв 3х50	0.4
Збірка поверхні №2	20	42	1.84	0.092	10	10	42	АВБбШв 3х10+1х6	1.8
1. Точильний станок	10	21	5.02	0.115	2.5	2.5	22	3х2.5	0.4
2. Циркулярна пилка	10	14.8	5.02	0.115	2.5	2.5	22	3х2.5	0.3
3. Строгальний станок	5	13.6	5.02	0.115	2.5	2.5	22	3х2.5	0.12
4. Освітлення майстерні	10	6.4	5.02	0.115	2.5	2.5	22	3х2.5	0.15
Збірка гірничого комплексу №1	40	53.5	60	1.15	0.09	16	16	АВБбШв 3х16+1х10	1.12

Арк.

2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження табл.2.3

1. Освітлення ствола	10	5.44	22	5.02	0.115	2.5	2.5	3x2.5	0.13
2. Освітлення естакади	15	2.6	22	5.02	0.115	2.5	2.5	3x2.5	0.1
3.Маслостанція	20	35.7	45	1.84	0.092	10	10	3x10+1x6	0.54
4. Джерело живлення	5	15.3	27	4.6	0.101	4	4	3x4+1x2.5	0.13
5. Таль 5т	25	15.3	27	4.6	0.101	4	4	3x4+1x2.5	0.06
Збірка гірничого комплексу №2	40	79.1	9.5	0.58	0.08	35	35	АВБ6Шв 3x35+1x10	0.84
1,2. Візок обміну вагонеток	10	12.2	27	4.6	0.101	4	4	3x4+1x2.5	0.21
3. Штовхач нижньої дії	15	12.2	27	4.6	0.101	4	4	3x4+1x2.5	0.31
4,5. Перекидач	10	33.5	35	3.07	0.095	6	6	3x4+1x2.5	0.4
5. Кулаки клітів	15	9.94	27	4.6	0.101	4	4	АВБ6Шв 3x4+1x2.5	0.25
6. Машина очистки вагонеток	15	31.9	35	5.07	0.095	6	6	3x6+1x4	0.55
Збірка машинного підйому	50	302(2x151)	155	0.44 6	0.08	70	70	АВБ6Шв 3x70+1x35	1.5(x2 )
1.Підйомна машина	40	336.4(2x168)	185	0.44 6	0.08	70	70	ГРШЕ 3x75+1x35(x2)	1.4
2. Шахтна сигн. 1.5 кВт	100	2.3	22	5.02	0.115	2.5	2.5	АПВ 3x2.5	0.1
Електрощит у руддворі	170	215.8	230	0.20 8	0.07	15 0	15 0	АВБ6Шв 3x150+1x35	3.3
1. Насос гол. водовідливу	5	44.5	45	1.84	0.092	10	10	3x10	0.16
2. Насос гол. водовідливу	30	44.5	45	1.84	0.092	10	10	3x10	0.97
3. Лебідка монтажна	10	25.5	29	4.6	0.101	4	4	3x4	0.42
4. Лебідка монтажна	100	25.5	29	4.6	0.101	4	4	3x4	4.2
5.Розчинонагнітач	25	12.8	22	5.02	0.115	2.5	2.5	3x2.5	0.57
6.Розчинонагнітач	70 0	12.8	22	3.07	0.09 5	2.5	6	3x6.0	9.9
7. Ричаг	10	26.8	29	4.6	0.10 1	4	4	3x4	0.44
8.Комплекс КМ-14Гп	50	105.6	12 0	0.51	0.08	50	50	3x50+1x10	1.2
Збірка у руддворі	17 0	14	27	4.6	0.10 1	4	4	АВБ6Шв 3x4+1x2.5	5
Освітлення руддвора	10	3.4	22	5.02	0.11 5	2.5	2.5	3x2.5	0.1
Освітлення перег. тунелю	675	13.1	22	1.84	0.092	2.5	10	3x10	7.4
АТП – 500	50	500(2x250)	260	0.16 9	0.07	185	185	3x185+1x35	0.96

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

## 2.4 Вибір перерізу зовнішніх кабелів

### 3.4.1 Збірка поверхні №1:

$L=50$  м;  $I_p=187$  А;  $U_H=380$  В;  $I_s=200$  А  $\geq I_p$ ;  $S=120$  мм<sup>2</sup>.

$$\Delta U_c = \frac{\sqrt{3} \cdot 187 \cdot 0,26 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{380} \cdot 100\% = 1,1\%$$

Приймаємо чотирьохжильний кабель АВБШв 3х120+1х50

### 3.4.2. Збірка поверхні №2:

$L=20$  м;  $I_p=42$  А;  $U_H=380$  В;  $I_s=42$  А  $\geq I_p$ ;  $S=10$  мм<sup>2</sup>,  $\Delta U_c=1,8$  %

### 3.4.3. Збірка гірничого комплексу №1

$L=40$  м;  $I_p=53.5$  А;  $U_H=380$  В;  $I_s=60$  А  $\geq I_p$ ;  $S=16$  мм<sup>2</sup>,  $\Delta U_c=1,12$  %

### 3.4.4. Збірка гірничого комплексу №2

$L=40$  м;  $I_p=79.1$  А;  $U_H=380$  В;  $I_s=95$  А  $\geq I_p$ ;  $S=35$  мм<sup>2</sup>,  $\Delta U_c=0,84$  %

### 3.4.5. Збірка машини підйому

$L=50$  м;  $I_p=302.3$  А;  $U_H=380$  В;  $I_p=2 \times 151.15$  А;  $I_s=155$  А  $\geq I_p$ ;  $S=70$  мм<sup>2</sup>,  $\Delta U_c=1,5$  %

Приймаємо два трьохжильних кабеля подвійні 2хАВБШв 3х70.

### 3.4.6. Електрощит у руддворі

$L=170$  м;  $I_p=215.8$  А;  $U_H=380$  В;  $I_s=150$  А  $\geq I_p$ ;  $R=0.208$  Ом,  $\Delta U_c=3.3$  %

### 3.4.7. Збірка у руддворі

$L=170$  м;  $I_p=14$  А;  $U_H=380$  В;  $I_s=27$  А  $\geq I_p$ ;  $S=4$  мм<sup>2</sup>,  $\Delta U_c=5$  %

### 3.4.8. АТП – 500

$L=50$  м;  $I_p=500$  А (2х250 А);  $U_H=380$  В;  $I_s=260$  А  $\geq I_p$ ;  $S=185$  мм<sup>2</sup>,  $R=0.169$  Ом,  $\Delta U_c=0,96$  %

Приймаємо два трьохжильні подвійні кабелі 2хАВБШв3х185

## 2.5 Перевірка кабельної мережі на стійкість роботи

### захисту від струму витoku

$$C \leq C_{\text{доп}} ;$$

$$C_{\text{доп}} = 1.5 \text{ мкФ};$$

$$C = C_1 \cdot l_1 + C_2 \cdot l_2 + \dots + C_n \cdot l_n$$

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5.1. Для першого трансформатора

$$C_{1T}=0.29 \cdot 0.015 + 0.53 \cdot 0.015 \cdot 2 + 0.78 \cdot 0.05 \cdot 2 + 0.29 \cdot 0.02 + 0.18 \cdot 0.025 + 0.58 \cdot 0.04 \cdot 2 + \\ + 0.29 \cdot 0.1 + 0.18 \cdot 0.1 + 0.23 \cdot 0.7 + 0.53 \cdot 0.09 + 0.67 \cdot 0.05 + 0.78 \cdot 0.05 \cdot 2 + 0.33 \cdot 0.04 + \\ + 0.58 \cdot 0.05 \cdot 2 + 0.7 \cdot 0.17 = 0.636 \text{ мкФ}$$

3.5.2. Для другого трансформатора

$$C_{2T}=0.58 \cdot 0.04 \cdot 2 + 0.29 \cdot 0.03 + 0.18 \cdot 0.01 + 0.18 \cdot 0.1 + 0.23 \cdot 0.7 + 0.18 \cdot 0.01 + 0.53 \cdot 0.05 + \\ + 0.18 \cdot 0.05 \cdot 2 + 0.18 \cdot 0.015 + 0.23 \cdot 0.01 + 0.18 \cdot 0.015 + 0.23 \cdot 0.07 + 0.58 \cdot 0.05 \cdot 2 + 0.7 \cdot 0.17 + \\ + 0.18 \cdot 0.117 + 0.29 \cdot 0.02 + 0.45 \cdot 0.04 = 0.51 \text{ мкФ}$$

$$C_{1T} \leq C_{\text{доп}} \text{ та } C_{2T} \leq C_{\text{доп}}$$

## 2.6 Перевірка електричної мережі за пусковим режимом

Мінімальна напруга на затискачах електродвигуна при його пуску

$$U_{\text{п.мін}} \geq 1.1 \cdot U_H \cdot \sqrt{\frac{K}{a}},$$

де  $K$  – мінімальна мережа пускового моменту,

$$a = \frac{M_{\text{п.дв}}}{M_{\text{н.дв}}} = \frac{M_{\text{п.дв}} \cdot n_H}{9550 \cdot P_H};$$

3.6.1 Збірка поверхні №1

Перевірка вентилятора

$$K=0.6; n_H=1500 \text{ об/хв}; P_H=55 \text{ кВт}$$

$$M_{\text{п.дв}} = \frac{I_H \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H \cdot 9550}{n_H};$$

$$M_{\text{п.дв}} = \frac{540 \cdot 380 \cdot 0.9 \cdot 0.86 \cdot 9550}{1500} = 1011 \text{ кНм},$$

$$\text{де } I_{\text{п}} = 5I_H = 5 \cdot 108 = 540 \text{ А}$$

$$M_{\text{н.дв}} = \frac{P_H \cdot 9550}{n_H};$$

$$M_{\text{н.дв}} = \frac{55 \cdot 10^3 \cdot 9550}{1500} = 350.9 \text{ кНм};$$

$$A=2.8$$

$$U_n = \frac{U_{\text{xc}} - \Delta U_{\text{пр}}}{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot n \cdot I_n}{U_n} \cdot (\sum R \cdot \cos \varphi_H + \sum X \cdot \sin \varphi)};$$

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.6.2 Збірка поверхні №2

Точильний станок:

$P_H=10$  кВт;  $n_H=3000$  об/хв

$$M_{П.дв} = \frac{105 \cdot 380 \cdot 0,865 \cdot 0,89 \cdot 9550 \cdot 10^{-3}}{3000} = 31,8 \text{ кНм};$$

$a=2.8$ ;  $R_T=3,09 \cdot 10^{-3}$  Ом;  $\cos\varphi_H=0.5$ ;  $\sin\varphi_H=0,87$ ;  $I_{HT}=957$  А;  $z=0.0133$  Ом;

$X_T=0,0129$  Ом;  $\sum R = 0.09$  Ом;  $\sum X = 0.0159$  Ом;  $\sum P_{HT} = 25$  кВт;  $K_H=0,9$ ;

$R_{МК}=0.0736$  Ом;  $X_{МК}=0,00368$  Ом.

$$\Delta U_{np} = \frac{0,9 \cdot 10^3}{380} \cdot (305,4 \cdot (3,09 \cdot 10^{-3} + 0,0129^3) + 25 \cdot (0,0736 + 0,00368)) = 6,82 \text{ В}$$

$$U_n = \frac{400 - 6,82}{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot 105}{380} \cdot (0,091 \cdot 0,5 + 0,0159 \cdot 0,87)} = 379,6 \text{ В}$$

$$U_{дв.мін} = 1,1 \cdot 380 \cdot \sqrt{\frac{1,2}{2,8}} = 273 \text{ В}$$

$379,6 > 273 \rightarrow$  умова виконується

### 3.6.3 Збірка гірничого комплексу №1

Перевірка маслостанції :

$P_H=18,6$  кВт;  $n_H=1500$  об/хв;  $K=1,2$ ;

$$M_{П.дв} = \frac{178,5 \cdot 380 \cdot 0,895 \cdot 0,88 \cdot 9550 \cdot 10^{-3}}{1500} = 340 \text{ кНм}$$

$I_{П}=5 \cdot 35,7=178,5$  А;  $M_{П.дв}=117,8$  кНм

$a=2.9$ ;  $R_T=1,95 \cdot 10^{-3}$  Ом;  $\cos\varphi_H=0.5$ ;  $\sin\varphi_H=0,87$ ;  $X_T=8,58 \cdot 10^{-3}$  Ом;  $\sum R = 0.0848$

Ом;  $\sum X = 0.014$  Ом;  $\sum P_{HT} = 35,7$  кВт;  $K_H=0,9$ ;  $R_H=0.9$  Ом;  $X_{МК}=0,0036$  Ом.

$$\Delta U_{np} = \frac{0,9 \cdot 10^3}{380} \cdot (521,6 \cdot (1,95 \cdot 10^{-3} + 8,58 \cdot 10^{-3}) + 37,5 \cdot (0,046 + 0,0036)) = 20,3 \text{ В}$$

$$U_n = \frac{400 - 20,3}{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot 178,5}{380} \cdot (0,0848 \cdot 0,5 + 0,014 \cdot 0,87)} = 363,6 \text{ В}$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ				



$$U_n = \frac{400 - 28,9}{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot 64}{380} \cdot (0,842 \cdot 0,5 + 0,0887 \cdot 0,87)} = 324 \text{ В}$$

$$U_{\text{дв.мін}} = 1,1 \cdot 380 \cdot \sqrt{\frac{1,2}{2,9}} = 269 \text{ В}$$

324 > 269 → умова виконується.

### 3.6.6 Збірка машини підйому

$P_H=160$  кВт;  $n_H=1000$  об/хв;  $K=1,0$ ;  $I_H=1682$  А;  $M_{н.дв}=1528$  кНм;

$$M_{П.дв} = \frac{1682 \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot 9550}{1000} = 4410 \text{ кНм}$$

$a=2,9$ ;  $R_T=1,95 \cdot 10^{-3}$  Ом;  $\cos\varphi_H=0,5$ ;  $\sin\varphi_H=0,87$ ;  $X_T=8,58 \cdot 10^{-3}$  Ом;

$$\sum R = 0,0221 \text{ Ом}; \quad \sum X = 0,0121 \text{ Ом}; \quad \sum P_{HT} = 521,6 \text{ кВт}; \quad K_H=0,9;$$

$R_{МК}=0,0112$  Ом;  $X_{МК}=0,002$  Ом.

$$\Delta U_{np} = \frac{0,9 \cdot 10^3}{380} \cdot (521,6 \cdot (1,95 \cdot 10^{-3} + 8,58 \cdot 10^{-3}) + 161,4 \cdot (0,0112 + 0,002)) = 18,05 \text{ В}$$

$$U_n = \frac{400 - 18,05}{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot 1528}{380} \cdot (0,0221 \cdot 0,5 + 0,00121 \cdot 0,87)} = 254,9 \text{ В}$$

$$U_{\text{дв.мін}} = 1,1 \cdot 380 \cdot \sqrt{\frac{1,2}{2,9}} = 245 \text{ В}$$

254,9 > 245 → умова виконується.

## 2.7 Розрахунок струмів короткого замикання

Трьохфазний струм К.З.:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{с.н}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}};$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)};$$

де  $U_{сн}$  – середня номінальна напруга К.З. (400 В)

Опір трансформатора для КПТН №1 :

$$R_T = \frac{\Delta P_K}{3 \cdot I_{HT}^2}, \text{ де } \Delta P_K - \text{втрати в трансформаторі};$$

$$\Delta P_K = 12,2 \text{ кВт};$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ				

$$I_{HT} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1.443 \text{ кА};$$

$$R_T = \frac{12200}{3 \cdot 1443^2} = 1.95 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$z_T = \frac{5.5 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 1443} = 8.8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$U_K$  – напруга К.З. ( $U_K=5,5 \%$ )

$$X_T = \sqrt{z_T^2 - R_T^2};$$

$$X_T = \sqrt{(8.8 \cdot 10^{-3})^2 - (1.95 \cdot 10^{-3})^2} = 8.58 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

Опір зовнішньої мережі, що приведений до напруги вторинної обмотки трансформатора :

$$X_C = \frac{U_{CH}^2}{S_K^{(3)}};$$

$$x_C = \frac{400^2}{38 \cdot 10^6} = 4.21 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$X_C = \frac{37.5^2}{38 \cdot 10^6} = 0.04 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

Опір високовольтного кабелю:

$$R_{BK} = \frac{1000 \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot 10};$$

$$x_{BK} = \frac{x_0 \cdot l}{10};$$

$$X_C = \frac{220^2}{38 \cdot 10^6} = 1.27 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$\gamma=32$  – для алюмінієвих кабелів.

Амплітудне значення ударного струму К.З.:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^{(3)} + 6.5 \cdot \sum I_K^{(3)};$$

де  $K_y=1.25$  – ударний коефіцієнт на шинах;

$K_y=1$  - ударний коефіцієнт в окремих точках.

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діюче значення струму:

$$I_y = I_K^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2} ;$$

Приймаємо кабель АВБбШв 3х185 довжиною 1.5 км; алюмінієвий  $\gamma=30$

Н/(Ом·мм);  $x_0=0,073$  Ом/км

$$R_{BK} = \frac{1000 \cdot 1,5}{32 \cdot 185 \cdot 10} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$X_{BK} = \frac{1,5 \cdot 0,073}{10} = 10,95 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Значення струмів короткого замикання для КПТН №1 занесені в табл.2.4.

Для КПТН №2:

Опір трансформатора :  $R_T = 3,09 \cdot 10^{-3}$  Ом;

$$I_p = 957 \text{ А}; z_T = 0,013 \text{ Ом}; X_T = 1,29 \cdot 10^{-2} \text{ Ом};$$

Опір зовнішньої мережі, що приведений до напруги вторинної обмотки трансформатора :

$$x_C = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

Значення струмів короткого замикання для КПТН №2 занесені в табл.2.5.

Приймаємо кабель АВБбШв 3х185 довжиною 1.7 км; алюмінієвий  $\gamma=32$

Н/(Ом·мм);  $R_{BK} = 30,6 \cdot 10^{-3}$  Ом;  $X_{BK} = 12,4 \cdot 10^{-3}$  Ом.

## 2.8 Вибір магнітних пускачів та автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі вибираються за умовою :

$$I_{на} \geq I_p; \quad U_{на} \geq U_{НС}; \quad I_{гр.відкл} \geq 1,2 \cdot I_K^{(3)}; \quad \frac{I_{K,MIN}^{(2)}}{I_{ya}} \geq 1,5;$$

$I_{гр.відкл}$  – граничний струм автомата, який розриває ланцюг.

Вибір уставок захисту для автоматів:

$I_{yc} \geq 3 \cdot I_p$  – для освітлення ;

$I_{yc.e} \geq K_i \cdot I_{н.д.}$  – для двигунів з К.З. ротором ;

$I_{yc.e} \geq 2,5 \cdot I_n$  – для двигунів з фазним ротором ;  $K_m=1,0 \dots 1,5$

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка за надійністю відключаючих струмів двохфазного К.З.:

$$\frac{I_{K.MIN}}{I_{y.a}} \geq 1.5$$

Магнітні пускачі вибираються за умови :

$$U_{Н.П} \geq U_{Н.С}; I_{НП} \geq I_{Н.дв}; P_{мг} \geq P_{Н.д}$$

$I_{УП} \geq I_{пн}$  – для двигунів з К.З. ротором ;

$$I_{УП} \geq \frac{3 \cdot I_{po}}{K_{mp}} - \text{для освітлювального трансформатора};$$

$I_{пн}$  – пусковий номінальний струм.

Надійність роботи перевіряється при умові:

$$\frac{I_{к.мін}^{(2)}}{I_{УП}} \geq 1,5$$

## 2.9 Вибір запобіжників та плавких вставок

Вибирається патрон запобіжника  $I_{НП} \geq I_p$

Перевіряється розривна здатність  $I_{відкл} \geq 1.2 \cdot I_K^{(3)}$

Вибираються плавкі вставки :

$$I_{пв} \geq \frac{I_{пн}}{(1,6...2,5)} - \text{для двигунів з К.З. ротором};$$

Для групи споживачів :

$$I_{пв} \geq I_{пнmax} / (1.6...2.5) + \sum I_{н.ост}$$

Для освітлення :

$$I_{пв} \geq I_{р.о.}$$

Надійність спрацювання плавкої вставки перевіряється за умови :

$$\frac{I_{K.MIN}^2}{I_{пв}} \geq 4;$$

Для захисту трансформаторів :

$$\frac{I_{K.MIN}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{пв} \cdot K_{mp}} \geq 4$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ				

## 2.10 Вибір розподільних шаф

Збірка поверхні №1 :

$I_p=187$  А; (4 споживача)

$I_{нш} \geq I_p$ , приймаємо розподільну шафу ШР11-73507-22У3(54У2);  $I_{нш}=28$  А.

Збірка поверхні №2 :

$I_p=42$  А; (4 споживача)

$I_{нш} \geq I_p$ , приймаємо розподільну шафу ШР11-73507-22У3(54У2);  $I_{нш}=175$  А.

Збірка гірничого комплексу №1 :

$I_p=53.5$  А ; (5 споживачів); приймаємо розподільну шафу ШР11-73501-22У3(54У2);  $I_{нш}=175$  А.

Збірка гірничого комплексу №2 :

$I_p=32.5$  А ; (6 споживачів); приймаємо розподільну шафу ШР11-73504-22У3(54У2);  $I_{нш}=280$  А.

Збірка у руддворі :

$I_p=14$  А ; (2 споживача); приймаємо розподільну шафу ШР11-73507-22У3(54У2);  $I_{нш}=175$  А.

### Висновок:

В розділі «Електропостачання» ми розрахували освітлення, методом коефіцієнта світлового потоку ,потім розрахували навантаження та вибрали потужність трансформатора, вибрали переріз зовнішніх кабелів, також провели перевірку на стійкість роботи захисту від струму витоку .

Потім перевірили електричну мережу за пусковим режимом.

Розрахували струми короткого замикання значення яких занесли в таблицю 2.4,2.5.

Вибір магнітних пускачів та автоматичних вимикачів, вибір запобіжників ,вибір розподільних шаф.

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Спеціальна частина

#### 3.1 Актуальність теми

Відомо, що основною ланкою системи життєзабезпечення підземних транспортних тунелів є вентиляція, яка здійснюється тунельними вентиляторними установками. Для провітрювання метрополітенів біля кожної станції і на перегонах між ними будуються вентиляційні камери, в кожній з яких встановлюються попарно нерегульовані по обертам вентиляторні установки з потужністю до 90 кВт, і при цьому, їх енергоспоживання поступає тільки енергоспоживанню рухомого складу і досягає 0.9 - 1.2 мільйона кВт. год. в рік на 1 км ліній метрополітену. Середні значення експлуатаційних ККД вентиляційних агрегатів діючих метрополітенів становить 0,19 - 0,33 (тобто більше 70% споживаної електроенергії втрачається), а бюджети міст, що мають метрополітени несуть значні втрати. Сучасні вентилятори також не забезпечують ефективного реверсування і форсування вентиляційного режиму в разі аварійної ситуації (пожежа, задимлення тощо), що може призвести до людських жертв.

Кількість повітря, необхідне для провітрювання, змінюється в залежності від числа пасажирів метрополітену. Типовий графік зміни необхідної витрати повітря протягом доби для метрополітену міста представлений на рис. 3.1. Аналізуючи графік, можливо зробити висновок, що необхідна кількість повітря, яке подається тунельним вентилятором, може змінюватися за добу в 10 разів. Особливістю тунельної вентиляції є те, що вона працює в прямому і реверсному режимах. У теплу пору року повітря забирається з поверхні і через вентиляційні шахти подається на станції, та видаляється назовні через перегінні вентиляційні камери. У холодну пору року повітря забирається з поверхні, нагрівається за рахунок природного тепла тунелів і приходить в станційні приміщення вже за встановленої температури. Раніше для роботи двобічної системи вентиляції використовувалися реверсивні апарати.

					<b>2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Хрипко В.В.</i>			<b>Спеціальна частина</b>	Літера	Аркуш	Аркушів
Перев.		<i>Прядко С.Л.</i>						
Н. контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського			
Затверд.								

Складність їх застосування полягала в тому, що в прямому режимі ці пристрої працювали з високою ефективністю, але в реверсному їх продуктивність падала майже наполовину.

Ще одним недоліком вентиляторів ВОРД-24 є значний час реверсу повітряного потоку і низька надійність реверсування. Тому вентилятори не можуть оперативно прискорювати подачу повітря в аварійних ситуаціях

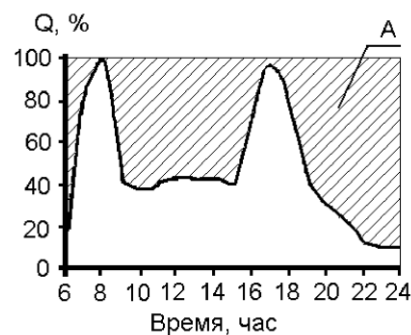


Рисунок 3.1 -Добова зміна необхідної витрати повітря для провітрювання: А - площа, пропорційна надлишкової подачі повітря нерегульованого вентилятора.

Тому, завдання створення ефективних вентиляторних установок для провітрювання метрополітенів дуже актуальна і має важливе наукове і народногосподарське значення

### 3.2 Способи регулювання продуктивності вентиляторних установок метрополітену

Регулювання продуктивності вентиляторів метрополітену може здійснюватися двома способами:

- аеродинамічне регулювання- поворотом лопаток робочого колеса або поворотом лопаток направляючого апарату (НА) в осьових вентиляторах;
- регулювання зміною швидкості обертання.

Метод регулювання продуктивності поворотом лопаток направляючого апарату застосовується на відцентрових і осьових вентиляторах. Перевага цього методу - у можливості регулювання продуктивності на ходу, тому що лопатки направляючого апарату кріпляться до нерухомих елементів конструкції.

Основний недолік методу - мала глибина економічного регулювання.

Найбільш ефективним методом регулювання продуктивності вентиляторів є зміна їхньої швидкості обертання.

					2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулювання продуктивності вентиляторних установок може здійснюватися аеродинамічними способами і зміною частоти обертання робочого колеса вентилятора за допомогою регульованого електроприводу.

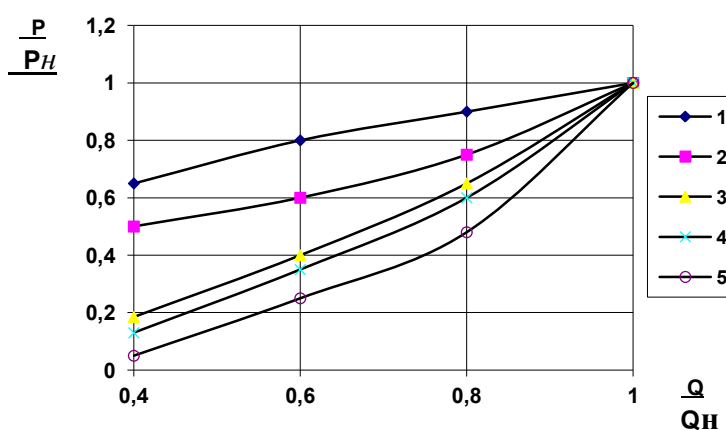
Найбільш перспективним є регулювання зміною швидкості обертання робочого колеса. Закони пропорційності або закони експлуатації турбомашин формулюються: зі зміною частоти обертання робочого колеса турбомашини при постійній характеристиці зовнішньої мережі подача (продуктивність) змінюється пропорційно першого ступеня, напір - пропорційно квадрату, а споживана потужність - пропорційно кубу частоти обертання:

$$Q_1=Q(n_1/n), H_1=H(n_1/n)^2, P_1=P(n_1/n)^3,$$

$$\text{де } H_1=H(Q_1/Q)^2, \quad P_1=P(Q_1/Q)^3.$$

Аналіз характеристик показує, що при невеликій глибині регулювання в області малих і середніх витрат економічність обох методів однакова. Але з ростом глибини зміни витрати ефективність регулювання різко зростає.

На рисунку 3.2 представлені криві, що характеризують економічність регулювання вентиляторних установок різними способами [9].



1 – дросельне регулювання; 2 – направляючим апаратом; 3 – муфтами ковзання; 4 – реостатне з АД; 5 - каскадними схемами з АД.

Рисунок 3.2 - Криві, що характеризують економічність регулювання вентиляторних установок різними способами

Аналіз кривих показує, що найбільш економічним способом регулювання продуктивності вентиляторів головного провітрювання є регулювання за допомогою зміни швидкості обертання, найменш економічне - дросельне регулювання.

Регулювання продуктивності зміною швидкості обертання робочого колеса має ряд переваг:

- високу економічність;
- велику область економічної роботи, що дозволяє підвищити ККД;
- діючої вентиляторної установки.

Регульований електропривод найбільш зручно погоджується зі схемою автоматизації й автоматичного регулювання провітрювання.

Додатково нова технологія енергозбереження у вентиляторних установках з великою сумарною потужністю дозволяє регулювати потужність у години максимуму навантаження і тим самим скоротити витрати на електроенергію при двоставочному тарифі.

### **3.3 Вибір електроприводу вентилятора**

Однією з найперспективніших систем змінного струму є система з безконтактним вентильним двигуном (ВД) в якому регулювання швидкості і моменту обертання здійснюється підведеною напругою, струмом збудження або збудженням від постійних магнітів на роторі і кутом випередження вмикання вентилів при самокеруванні по частоті живлення.

Основною складовою частиною системи ВД є синхронна машина, яка має вищі техніко – економічні показники, ніж інші машини змінного струму. Від двигунів постійного струму СМ відрізняє набагато вища надійність, простота конструкції і надійність в експлуатації, що є визначальним при виборі електродвигуна для приводу установки вентилятора головного провітрювання.

СМ характеризується також високим ККД, можливістю роботи з випереджаючим коефіцієнтом потужності, що істотно покращує якісні показники системи електропостачання. Висока надійність СМ обумовлена великою величиною повітряного зазору. На відміну від АД – СМ має переважувальну здатність в 2 рази вищу, менші втрати електричної енергії.

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.4 Вибір силового устаткування

Силові прилади комутації випрямляча та інвертора реалізуються або на транзисторах або на тиристорах. При цьому основною перевагою тиристора є низькі статичні втрати, а транзистора – його хороша спроможність вмикання. Типів приладів, використовуючи переваги тиристора у ввімкненому стані, поєднуючи його з транзистором, як із кращим на етапі вимикання.

Тиристорна структура переважає за числом пропонованих приладів, оскільки вони мають здатність проводити великі струми з мінімальними втратами. Останнім часом в силових схемах використовуються тиристори з вбудованим інтегрованим блоком керування - тиристор IGCT (Integrated GCT). Рис.3.4



Рисунок 3.4 Тиристор IGCT

Прилад IGCT поєднує у собі оптимальну комбінацію доведених технологій тиристорів із властивими їм низькими втратами і безснабберної, високоефективної, вигідної технології вимикання шляхом впливання на керуючий електрод.

Визначення параметрів перетворювача:

середнє значення струму і ЕРС

$$I_d = K_{CXI} I_H = 1.22 \cdot 142 = 173 \text{ A};$$
$$e_d = K_{CXU} U_H = 1.35 \cdot 400 = 540 \text{ V};$$

з урахуванням двократного запасу по струму

$$I_{VS} = 2I_d = 2 \cdot 173 = 346.48 \text{ A};$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата	2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ				

Як ключі використовуються сполучені за схемою (Рисунок 3.3) тиристори IGCT з технічними даними, які наведено в табл 3.1

Таблиця 3.1 Технічні дані тиристора IGCT

Обозначение	V <sub>DRM</sub>	V <sub>DC</sub>	I <sub>TGQM</sub>	I <sub>TAVM</sub> /I <sub>FAVM</sub>	I <sub>TAVM</sub> /I <sub>FAVM</sub>	V <sub>T</sub> /V <sub>F</sub>	V <sub>TO</sub> /V <sub>FO</sub>	r <sub>T</sub> /r <sub>F</sub>	di/dt max.	I <sub>rr</sub>	T <sub>VJM</sub>	R <sub>thJC</sub>	F <sub>m</sub>	V <sub>GIN</sub>
				T <sub>c</sub> = 85°C	10VC T <sub>VJM</sub>	I <sub>TGQM</sub> T <sub>VJM</sub>	T <sub>VJM</sub>	T <sub>VJM</sub>						
	В	В	А	А	кА	В	В	МОм	А/мкс	А	°С	К/кВт	кН	В
5SHX 08F4510 GCT Diode part	4500	2800	630	250 130	5.0 6.1	3.00 5.70	1.80 2.80	2.00 4.60	300	400	115	40 53	16	28-40

Для згладжування пульсацій випрямленого струму і обмеження швидкості його наростання в колі двигуна при аварійних режимах роботи використовується згладжуючий реактор  $L$ .

Дроселі вибираються по  $I_d$  і  $L_{ДР}$ . При цьому враховується робота дроселів в колі напругою 400 В.

$L_{ДР}$  визначається за формулою  $L_{ДР} \geq 0.15L_{ДВ}$ , де індуктивність якоря двигуна

$$L_{ДР} = C \frac{U_H}{I_H} \frac{1}{p \cdot \omega_H},$$

де  $C = (0.15 - 0.55)$  – стала, яка приймається залежно від ступеня компенсації двигуна;  $p$  – число пар полюсів.

Маємо  $p = \frac{60f}{n}$ . Для синхронного двигуна

$$p = \frac{60 \cdot 50}{750} = 4.$$

Тоді  $L_{ДВ} = 0.3 \cdot \frac{400}{142 \cdot 4.79} = 0.1$  Гн;  $L_{ДР} = 0.15 \cdot 0.1 = 2.6$  мГн.

У зв'язку з швидким розвитком силової електроніки з'явилася можливість не лише регулювати частоту обертання двигуна, але і при цьому споживати з мережі тільки активну потужність (застосування перетворювача частоти з ланкою постійного струму). Далі потрібно було вирішити проблему віддачі енергії, а також, що важливо при великих потужностях, поліпшити форму споживаного з мережі струму. Щоб задовольнити всім вимогам довелося піти на ускладнення схем силових кіл перетворювача частоти (рисунок 3.5).

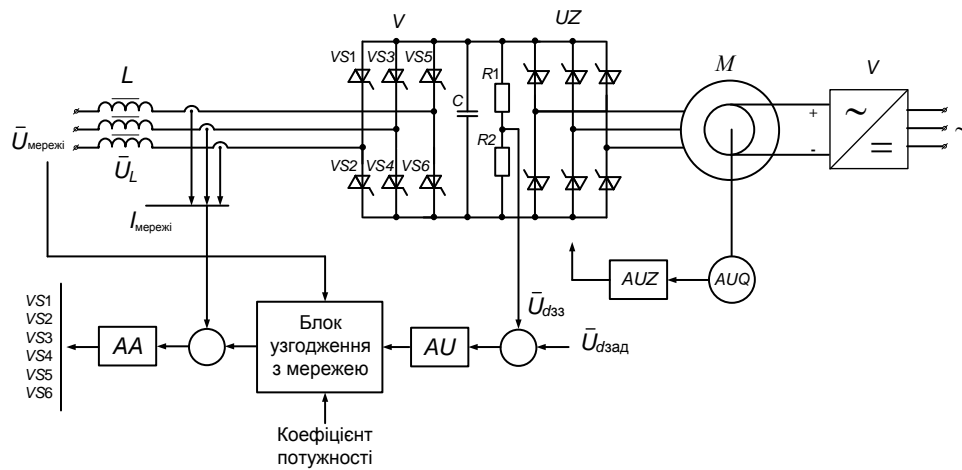


Рисунок 3.5 – Принципова схема перетворювача частоти з активним випрямлячем

У простому випадку для дослідження властивостей АВ, АІН можна представити у вигляді активного навантаження. Робота АВ заснована на роботі підвищувального імпульсного перетворювача постійної напруги (рисунок 3.6).

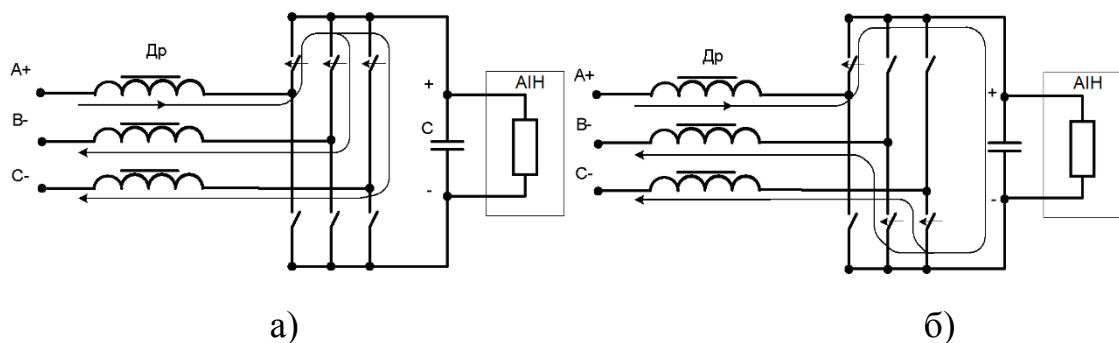


Рисунок 3.6 – Робота активного випрямляча: а - накопичення енергії в дроселях; б - заряд конденсатора в ланці постійного струму

При комутації тиристорних ключів  $VS1-VS6$  (рисунок 3.5) утворюються короточасні короткозамкнуті контури (КЗК) у всіх фазах (рисунок 3.6,а). У цей інтервал часу накопичується енергія в дроселях  $D_p$  на вході АВ, а абсолютне значення вхідного струму збільшується. Коли ж КЗК (рисунок 3.6,б) розмикаються, на конденсатор  $C$ , який знаходиться в ланці постійного струму, прикладається напруга мережі і ЕРС, накопичена в ДР, а абсолютне значення вхідного струму - зменшується.





**Електромагнітна стала часу перетворювача** приймається такою, що дорівнює половині періоду частоти живлячої мережі

$$T_{\Pi} = 0.5 \cdot \frac{1}{f_c} = 0.01$$

**Коефіцієнт передачі перетворювача  $K_{\Pi}$**

$$K_{\Pi} = \frac{U_{д.н}}{U_{у.н}} = \frac{400}{10} = 40.$$

### **3.6 Розрахунок параметрів регуляторів системи автоматичного керування**

На підставі структурної схеми розімкненої системи ВД і вимог до електропривода складається структурна схема підпорядкованого управління. Основною перевагою таких систем є досягнення оптимальних показників якості перехідних процесів, можливості широкої уніфікації схем і конструкцій елементів, що дозволяє розробити типові системи регулювання і прості методи їх розрахунку, зручність і простота налагодження регуляторів, легкості вирішення завдань обмеження регульованих величин, скорочення термінів пуску автоматизованих об'єктів.

У проєктованій системі для забезпечення необхідної динаміки в перехідних процесах і необхідної жорсткості механічної характеристики замкнутої системи застосовується двоконтурна система регулювання з контуром струму і контуром частоти обертання (швидкості).

У колах зворотного зв'язку по струму і частоті обертання (швидкості) передбачається установка датчиків з гальванічною розв'язкою.

**Вибір параметрів регулятора струму.** Передавальна функція регулятора струму, де використовується ПІ – регулятор

$$W_{PT}(p) = \frac{T_E p + 1}{T_{01}},$$

де  $T_{01} = a_T T_{\mu} p \frac{K_{\Pi} K_T}{R_E}$ ;  $T_{\mu} = T_{\Pi} = 0,01$  – сумарна стала часу, що не компенсується;  $a_T = 2$  – коефіцієнт демпфування.

Передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку по струму  $K_T$

$$K_T = \frac{U_{ВИХ}}{I_{max}} = \frac{10}{I_{н\lambda}} = \frac{10}{142 \cdot 5} = 0.015,$$

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де: -  $U_{\text{ВИХ}} = 10 \text{ В}$  – вихідна напруга датчика струму, тоді при стандартному налаштуванні РТ

$$T_{01} = a_T T_{\mu p} \frac{K_{\Gamma} K_T}{R_E} = 0,04.$$

### Вибір параметрів регулятора швидкості.

П – регулятор швидкості, розрахований за технічним оптимумом, застосовують для приводів, які не вимагають астатичної вхідної характеристики  $\omega(M)$ . У колі ЗЗ такого регулятора ємність закорочується. В результаті передавальна функція

$$W_{\text{РС}}^{\text{П}}(p) = K_{\text{РС}} = \frac{K_T C_d T_m}{a_T a_c T_{\mu} R K_{\text{Ш}}},$$

де  $a_T = a_c = b_c = 2$  - регулювальні коефіцієнти (стандартне налаштування). Для стандартного налаштування регулювальних коефіцієнтів маємо.

Коефіцієнт передачі  $K_{\text{Ш}}$  за швидкістю:

$$K_{\text{Ш}} = \frac{U_{\text{ЗН}}}{\omega_{\text{Н}}} = \frac{10}{79} = 0,13.$$

$$W_{\text{РС}}^{\text{П}}(p) = \frac{0.015 \cdot 6.27 \cdot 10}{2 \cdot 2 \cdot 0.01 \cdot 3.3 \cdot 0.13} = 54$$

### Моделювання динамічних режимів вентильного двигуна

Ефективно досліджувати динамічні режими замкнутих електромеханічних систем можна за допомогою універсальної інтегрованої математичної комп'ютерної системи типу MATLAB. В цій оболонці модель ВД будується на функціональних елементах з використанням пакету моделювання динамічних систем SIMULINK [5]. В комп'ютерну систему інтегровані текстові, формульні і графічні редактори, що дозволяє представляти складні моделі і процеси з виводом їх на друк.

Управління ВД в пропонованій моделі реалізовано за принципом підлеглого регулювання. Система розбивається, наприклад, на два контури - швидкості і струму. Кожний контур містить свій регулятор і негативний зв'язок по контрольованій змінній. На вхід системи подається сигнал із задатчика інтенсивності (ЗІ). В системі MATLAB модель ВД має вигляд (рис.3.8).

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 3.9 показані діаграми заданої швидкості, дійсної і моменту ВД відповідно: а)  $\beta = 0^\circ$  при  $M_C = 0$ , б)  $\beta = 30^\circ$  при  $M_C = 0,5 M_H$ , в)  $\beta = 60^\circ$  при  $M_C = M_H$  та  $U_3 = 30\%$ ; г)  $\beta = 60^\circ$  при  $M_C = M_H$  та  $U_3 = 50\%$ , отримані в результаті комп'ютерного моделювання.

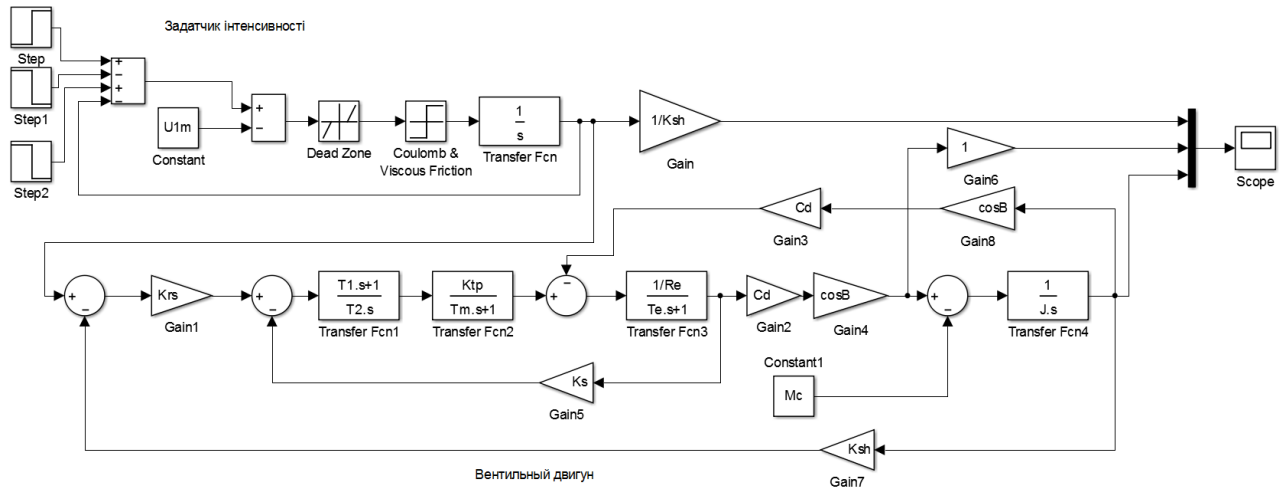
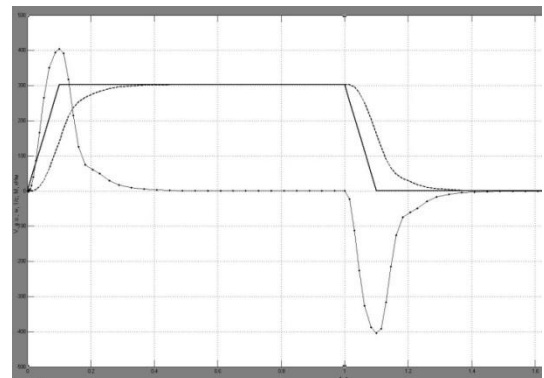
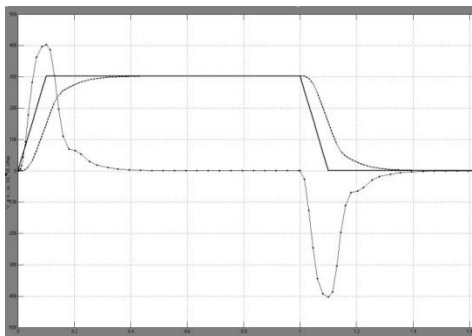


Рисунок 3.8 – Схема моделі ВД з підпорядкованим керуванням

Таблиця 3.2 – Позначення основних елементів схеми

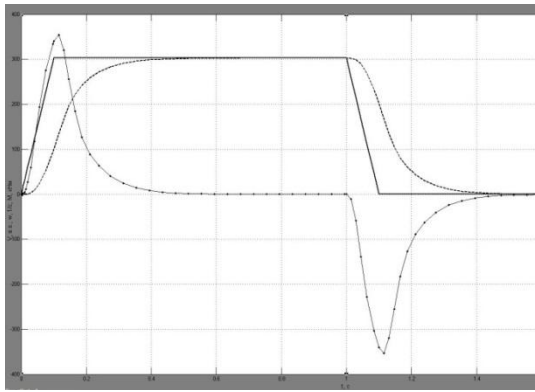
Позначення	Призначення
$U_{1m} = 10; e_{\max} = \frac{(0,8 \dots 0,9)M_{\max} - M_c}{J'}$	Задатчик інтенсивності
$K_c = \frac{U_{oc \max}}{I_{\max}}; I_{\max} = \frac{M_{\max}}{C_M \cos \beta}$	Коефіцієнт передачі по струму
$K_{шв} = \frac{U_{om \max}}{\omega_{\max}}$	Коефіцієнт передачі по швидкості
$W_{pc}(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2}; T_1 = T_e; T_2 = \frac{a_T \cdot T_M \cdot K_{\Pi} \cdot K_T}{R_e}$	Передаточна функція регулятора струму
$W_{пу}(p) = K_{пу} = \frac{K_c \cdot J}{a_{ш} \cdot a_c \cdot T_{\mu} \cdot C_d \cdot K_{ш}}$	Передаточна функція регулятора швидкості
$1 / K_s, 0,01$	Масштабні коефіцієнти



			а	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2410 ДП.ОА-п81-06. ПЗ

Арк.



В

Рисунок 3.9 – Результати комп'ютерного моделювання режимів пуску і гальмування: а –  $\beta = 0^\circ$ , б –  $\beta = 30^\circ$ , в –  $\beta = 60^\circ$ ,

### 3.7 Підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок

Витрати електроенергії вентиляційними установками в деяких виробництвах досягає великої величини.

Витрати електроенергії на привод вентиляторів визначається розрахунковим шляхом по встановленій потужності двигунів, кВт·год. у рік:

$$\mathcal{E}_{\text{вент}} = \sum_1^n k_v \cdot P_{\text{уст}} \cdot \tau$$

де  $n$  – кількість вентиляційних установок на підприємстві;

$P_{\text{уст}}$  – встановлена потужність електродвигуна (за паспортним даними);

$\tau$  – тривалість роботи вентилятора протягом року, (год);

$k_v$  – коефіцієнт використання вентиляторів.

Скорочення витрати електроенергії на вентиляційні установки забезпечують наступні заходи:

- заміна старих вентиляторів новими, більш економічними;
- впровадження економічних способів регулювання продуктивності вентиляторів;
- блокування вентиляторів теплових завіс із пристроями відкриття і закриття воріт;
- відключення вентиляційних установок під час обідніх перерв, перезмін і т.п.;

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



що визначається по сполучених характеристиках вентилятора і вентиляційної мережі, м<sup>3</sup>/с;

$h_1$  і  $h_2$  – тиск вентилятора до і після зміни режиму;

$\eta, \eta_{\text{э}}, \eta_{\text{пр}}, \eta_{\text{с}}$  – ККД електродвигуна, передачі й електричної мережі (зазначеними коефіцієнтами при переході на новий режим роботи вентилятора для практичних розрахунків можна зневажити);

$\eta_1$  і  $\eta_2$  – ККД вентилятора до і після зміни режиму.

$$\mathcal{E}_n = P_m \cdot T_m$$

де  $P_m$  – потужність, що споживається робочим органом машини, кВт;

$T_m$  – машинний час чи час корисної роботи, год.

Питомі втрати енергії:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{1}{\eta_{\text{м.н}} \cdot k_n} \cdot \left( k_n + \frac{\alpha \cdot (1 - \eta_{\text{м.н}})}{k_T} \right)$$

де  $\eta_{\text{м.н}}$  – ККД робочої машини при повному навантаженні;

$k_n = P_m / P_{\text{м.н}}$  – коефіцієнт навантаження;

$P_{\text{м.н}}$  – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$k_T = \frac{T_m}{T_m + T_x}$  – коефіцієнт використання робочої машини;

$T_m$  – машинний час;

$T_x$  – час холостої роботи;

$\alpha$  – коефіцієнт, який залежить від типу і конструкції робочої машини, який дорівнює 0,7-0,9.

При відсутності х.х. ( $k_T = 1$ ) питомі втрати енергії:

$$\Delta \mathcal{E}' = \frac{k_n + \alpha \cdot (1 - \eta_{\text{м.н}})}{\eta_{\text{м.н}} \cdot k_n}$$

При максимальному використанні робочої машини, тобто при відсутності х.х. ( $k_T = 1$ ) і повного навантаження машини ( $k_n = 1$ ), питомі втрати енергії будуть мінімальними:

$$\Delta \mathcal{E}_0 = \frac{1 + \alpha \cdot (1 - \eta_{\text{м.н}})}{\eta_{\text{м.н}}}$$

Відношення  $\beta = \Delta \mathcal{E} / \Delta \mathcal{E}_0$  визначає коефіцієнт збільшення питомого розходу енергії в залежності від навантаження і тривалості роботи в режимі х.х.:

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$\gamma = \frac{\Delta P_{x,x}}{\Delta P_{a,n}}$  – розрахунковий коефіцієнт, який залежить від конструкції

електродвигуна і визначається із виразу:  $\gamma = \frac{\Delta P_{x,x},\%}{(1-\eta_n,\%)-\Delta P_{x,x},\%}$ ;

$\Delta P_{x,x}$  – втрати x.x. у відсотках активної потужності, споживаємої двигуном при завантаженні 100%.

Заміна не завантажених електродвигунів, навіть якщо вона виправдана розрахунком, може виконуватися тільки після ретельної перевірки можливості їхньої повної завантаженні за рахунок правильного використання приводних ними робочих машин.

Цей захід виправданий в тих випадках, коли двигун вибраний невірно і завищений по потужності у порівнянні з робочою машиною. Установка двигуна пониженої потужності немов би узаконює недостатнє використання робочої машини і в перспективі може служити перешкодою для повного використання її при відповідному вдосконаленні технологічного процесу.

Означено напрямки підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок(Рисунок 4.).

*Перший напрямок* полягає в економії електроенергії вентиляційними установками за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу.

Для цього потрібно взяти такі заходи: контроль стану технологічної установки; узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі; підвищення ККД вентиляційної мережі; збільшення експлуатаційного ККД вентиляційних установок; регулювання продуктивності установки зміною частоти обертання робочого колеса; регулювання режимів пуску; організаційні заходи.

*Другий напрямок* полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода. Сюди входять: вибір раціонального діапазону регулювання швидкості електропривода в залежності від технологічних умов роботи вентиляторних установок; вибір раціонального способу регулювання швидкості в залежності від характеру зміни навантаження; мінімізація струму і втрат енергії при зміні навантаження; оптимізація динамічних режимів.

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

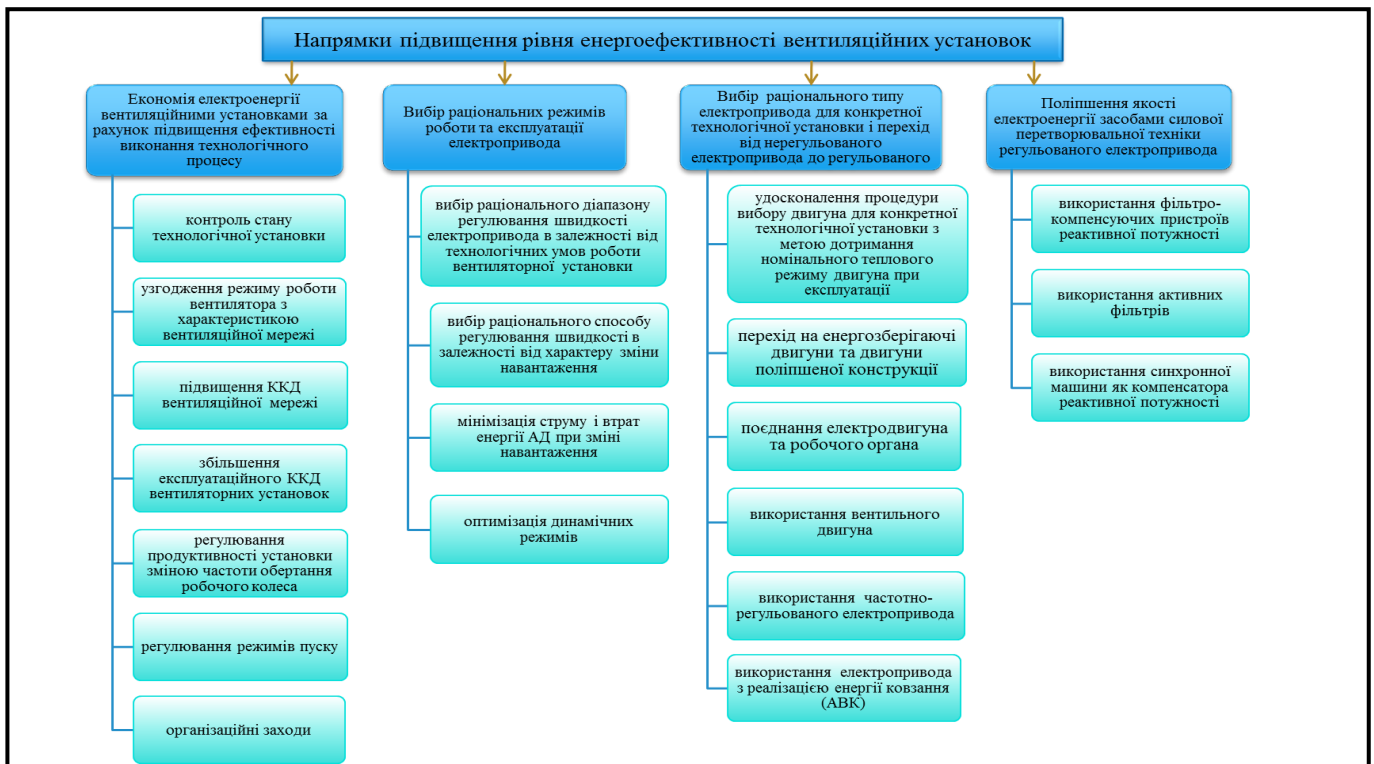


Рисунок 3.10 – Напрямки підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок

Для вентиляційних установок не потрібні широкий діапазон регулювання швидкості обертання, то використання двигунів змінного струму є більше економічним, тому що у вузькому діапазоні регулювання частоти обертання не вдається реалізувати можливості приводу постійного струму.

Найбільш перспективним і універсальним є вентиляційний двигун, у якому регулювання швидкості й моменту обертання здійснюється напругою, яка підводиться, струмом зрушення і кутом випередження вмикання вентилів при самокеруванні по частоті живлення. Він має регульовальні якості машин постійного струму і надійність систем змінного струму[1,4,5,6].

Четвертий напрямок полягає в поліпшенні якості електроенергії засобами силової перетворювальної техніки регульованого електропривода.

Сюди входять: використання фільтро-компенсуючих пристроїв реактивної потужності; використання активних фільтрів; використання синхронної машини як компенсатора реактивної потужності.

### 3.8. Автоматизація вентиляційних установок метрополітену

До роботи вентиляційної установки метрополітену пред'являються особливі вимоги в частині надійності й безперебійності провітрювання гірських виробітків.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ				

Проблема автоматизації вентиляторних установок в основному полягає в забезпеченні: дистанційного й автоматичного пуску й зупинки вентиляторів з автоматичною синхронізацією синхронних двигунів; дистанційного керування лядами для реверсування струменя повітря; включення резервного вентилятора при аварійній зупинці робочого для чого попередньо перемикаються відповідні пристрої для струменя повітря, що надходить до вентилятора; автоматичного контролю за вібрацією вентилятора; дистанційного контролю за продуктивністю й депресією вентиляторів з подачею аварійного сигналу диспетчерові при відхиленні контрольованих параметрів від заданих меж й реєстрацією показань приладів; дистанційного контролю за температурою підшипників вентилятора й електродвигуна, що забезпечує подачу аварійного сигналу при перегріві підшипників. У схемі дистанційного контролю за температурою повинні передбачатися: фіксація перегрітого підшипника; автоматичний контроль за температурою всіх підшипників вентиляторних агрегатів; іскробезпечність для схем контролю підшипників осьових вентиляторів на газових шахтах; автоматичний контроль за справністю системи контролю температури системи підшипників; автоматичний контроль за змащенням підшипників вентилятора й двигунів.

Крім того, у системі автоматизації вентиляторних установок повинні бути передбачені захисти й блокування від короткого замикання, від перевантаження електродвигуна вентилятора, від зтяжного пуску, обриву поля порушення синхронного електродвигуна, від випадання двигуна із синхронізму, від зниження напруги на шинах 6 кв.

Будь-яке порушення нормальної роботи вентиляторних агрегатів повинне супроводжуватися відключенням його з подачею диспетчерові аварійного сигналу. Для контролю за нормальною робочою установкою в автоматичному режимі повинна бути передбачена сигналізація з подачею в приміщення вентиляторів всіх сигналів із запам'ятовуванням аварійних, а до диспетчерського пункту основних сигналів «Вентилятор працює», «Вентилятор відключений», «Вентилятор відключений аварійно», «Попередження».

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною тенденцією розвитку промислової автоматизації є створення багаторівневих розподілених АСУ ТП, локальний нижній рівень яких розташований безпосередньо на об'єкті управління. Це дозволяє виділяти автономні незалежно функціонуючі ТОУ, скорочувати терміни їх проектування, полегшує введення в експлуатацію і супровід апаратно-програмних засобів. Локальні АСУ на базі ПЛК простіше інтегруються в інформаційну мережу підприємства, зокрема в створювану АСОДУ – автоматизовану систему оперативно-диспетчерського управління.

Конструкція вентиляторів дозволяє змінювати напрямок подачі повітря, тобто в один час року працювати на подачу, а в інше - на витяжку з можливістю регулювання їх продуктивності. Обсяг повітряного потоку варіюється в залежності від температури повітря, пасажиропотоку, інтенсивності руху поїздів та інших параметрів. У московському метро повітря оновлюється 3-5 разів на годину і становить 55 млн м<sup>3</sup>. Вимоги до цих агрегатів високі, наприклад, при температурі 250 ° С вони повинні зберігати свою працездатність протягом двох годин. Кожен вентилятор комплектується шафою керування, оснащеним засобами автоматизації ОВЕН.

Серійно випускаються шафи встановлюються на всіх станціях московського метро в ході модернізації. Пристрої ОВЕН - це обґрунтований вибір при переході на автоматизоване управління вентиляцією метрополітену: підвищується оперативність, точність і якість вимірювань, зменшується трудомісткість, а головне - автоматично підтримується необхідний режим вентиляції, що забезпечує економічне споживання електроенергії і встановлені параметри якості повітря. Успішне співробітництво показує, що обладнання ОВЕН по надійності і ефективності відповідає вимогам, що пред'являються на відповідальному державному об'єкті. Автоматизована система управління Для управління потужними тунельними вентиляторами автоматизована система комплектується частотними перетворювачами ОВЕН ПЧВ3 (90 кВт, 380 В), що забезпечують плавний пуск, зупинка, реверсування і зміна частоти обертання.

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У стандартних додатках використовується спеціалізований протипожежний режим. Особливістю цього режиму є робота перетворювача без відключення в умовах перевантажень, перегріву і навіть спрацьовування протипожежного датчика. Крім основних функцій, ПЧВЗ здійснює реєстрацію нештатних ситуацій в журналі аварій і передачу інформації в ПЛК верхнього рівня і далі - оператору. ПЧВЗ забезпечує максимальну продуктивність двигуна для створення комфортних умов в вагонах і на платформах. У рідкісні години не навантаженої роботи, що в метро є рідкістю, частотний перетворювач може знижувати частоту обертання тунельного вентилятора в допустимих межах - для заощадження електроенергії.

Управління частотним перетворювачем, в тому числі відпрацювання болем 50 видів можливих аварійних ситуацій, здійснює програмований контролер ОВЕН ПЛК110. На нього покладено функцію опитування робочих параметрів і управління ПЧВ, передачі даних на пульт оператора в SCADA систему. Для гарантовано безаварійної роботи системи реалізовано резервування на базі двох контролерів ПЛК110.

Функціональна схема показана на рис. 3.11.

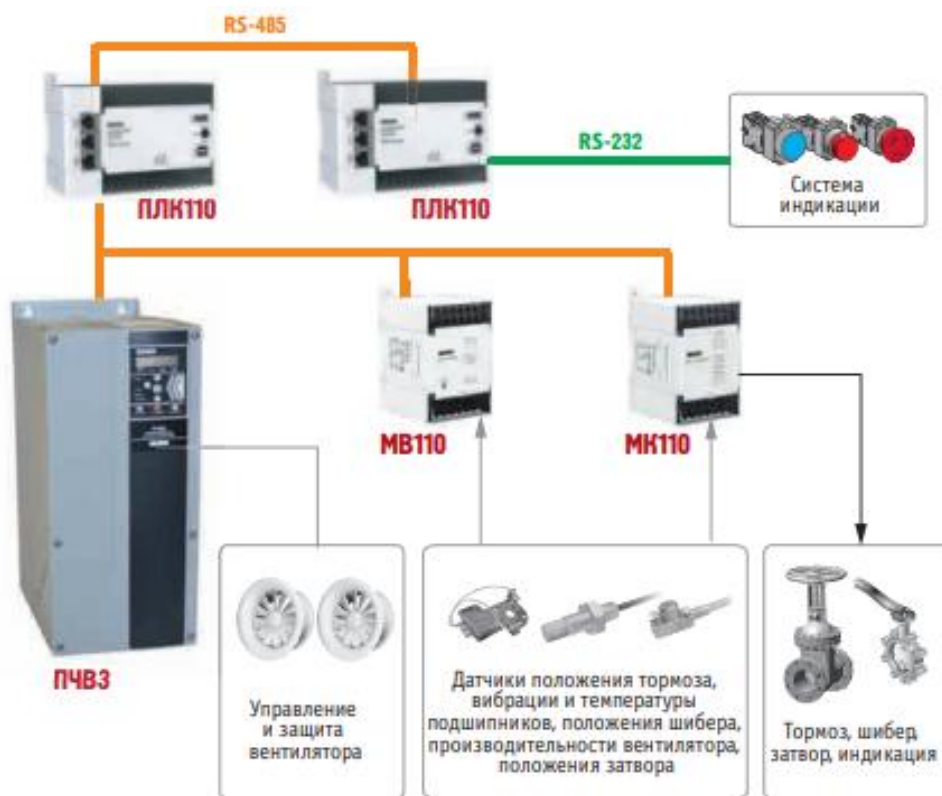


Рисунок 3.11. Функціональна схема системи автоматизації

					2410 ДП. ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4. Охорона праці

### 4.1 Вимоги до роботи вентиляторних установок

До роботи вентиляторної установки пред'являються особливі вимоги в частині надійності й безперервності провітрювання виробок. Проблема автоматизації вентиляторних установок в основному полягає в забезпеченні: дистанційного й автоматичного пуску й зупинки вентиляторів з автоматичною синхронізацією роботи двигунів; дистанційного керування лядами для реверсування струменя повітря; включення резервного вентилятора при аварійній зупинці робочого для чого попередньо перемикаються відповідні пристрої для струменя повітря, що надходить до вентилятора; автоматичного контролю за вібрацією вентилятора; дистанційного контролю за продуктивністю й депресією вентиляторів з подачею аварійного сигналу диспетчерові при відхиленні контрольованих параметрів від заданих меж й реєстрацією показань приладів; дистанційного контролю за температурою підшипників вентилятора й електродвигуна, що забезпечує подачу аварійного сигналу при перегріві підшипників.

### 4.2 Вентиляція теплопостачання, опалення

Для вентиляції споруд ліній метрополітену слід передбачати припливно-витяжні системи тунельної вентиляції, припливні і витяжні системи місцевої вентиляції зі штучним спонуканням. Систему тунельної вентиляції слід передбачати для вентиляції платформних залів під -земних станцій, ескалаторних тунелів, сходів, касових залів, коридорів між станціями, перегінних тунелів, тунелів для відстою та обороту рухомого складу і тупикових колій, службових гілок між лініями і в електродепо, закритих галереями наземних (надземних) дільниць.

					<b>2410 ДП.ОА-п81-06.ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Ро		<i>Хрипко В.В.</i>			Літера	Аркуш	Аркушів
Перев.		<i>Козлов С.С.</i>					
Н. контр.					Охорона праці КПІ ім. Ігоря Сікорського Група ОА-п81		
Затверд.							

Таблиця 4.1 – Розрахункові температури повітря і кратність його обміну для підземних приміщень метрополітену

Найменування приміщень	Розрахункова температура повітря, °С температура		Кратність обмін повітря за годину	
	у холодний період року	у теплий період року	у холодний період року	у теплий період року
Приміщення персоналу	18	Як для станції	6	4
Медичний пункт	22	22***)	4	6
Приміщення приймання їжі	22	Як для станції	4	6
Комори (за винятком мастильних і мастильно-фарбувальних матеріалів)	Як для станції**)	Як для станції	4	6
Комори мастильних і мастильно-фарбувальних матеріалів	Як для станції	Як для станції	-	20
Приміщення для сушіння спеціального одягу	16	Як для станції	-	25 м <sup>3</sup> /год від кож ної шафи
Гардеробна при душових	23	Як для станції	6	–
Умивальня	16	Як для станції	–	4
Насосна на станції	5*)	Як для станції	–	5
Тепловий пункт, водомірний вузол	5*)	Як для станції	4	4
Акумуляторна (кислотна і лужна)	Як для станції	30	14*)	18*)
Кислотна	Як для станції	30	–	8
Дистиляторна	Як для станції	30	–	5
Трансформаторний зал підстанції	Як для станції	35	4*)	4*)
Зал розподільного обладнання в підстанції	16*)	30	4	4
Кабельний колектор	–	35	4	4
Машинне приміщення ескалаторів	16*)	На 5 вище розрахунок вої	8*)	6*)
Кабіна чергового контролера і оператора ескалаторів	22*)	Як для станції	-	-
Перехід між станціями пересадки	Як для станції**)	На 5 вище ніж розрахунок ва зовнішня, але не більше ніж 28	4*)	4*)
Приміщення управління роботою станції: ДПС, релейна, кросова, радіовузол	18*)	22***)	6*)	4*)
Щитова	18*)	22	6*)	4*)
ЛАЦ, КПОП	18*)	28	6*)	4*)
Приміщення оперативного і ремонтного персоналу підстанції	18*)	28	6*)	4*)

### 4.3 Електробезпека

Електропостачання підземних ділень ліній метрополітену слід передбачати від під земних тягово знижувальних та знижувальних підстанцій, які розміщуються в комплексах споруд станцій і на перегонах між ними. У складних умовах допускається передбачати наземні тягові підстанції.

Для електричного устаткування пред'являються вимоги діючих правил електроустановок, а також правил технічної експлуатації електроустановок. Згідно п.9.3.18 галузевого стандарту СОУ10.1-00185790-002-2005 «Правила технічної експлуатації вугільних шахт» (далі ПТЕ, введені наказом Мінвуглепрому України від 14.11.2006г. №539) ВУГП повинна бути обладнана захисними пристроями і автоматично зупинятися при їх спрацьовуванні:

- 1) захистом від міжфазних коротких замикань приводного електродвигуна і електродвигуна мастила;
- 2) захистом від перевантаження і зниження напруги приводного електродвигуна і електродвигуна мастила;
- 3) захистом від замикань на землю приводного електродвигуна;
- 4) захистом від перевищення температури підшипників головного валу і приводного електродвигуна;
- 5) захистом від прокручування підшипників головного валу вентилятора;
- 6) захистом від зниження тиску масла при циркуляційному мастилі підшипників головного валу і приводного електродвигуна;
- 7) захистом від зниження (зникнення) струму збудження синхронного електродвигуна.

Електричні мережі змінного і постійного струму повинні мати захист від струмів короткого замикання. Лінія метрополітену повинна мати єдину систему захисного заземлення електроустановок. Конструктивне виконання обладнання заземлення повинно відповідати ПУЕ. Обладнання і електричні мережі метрополітену повинні бути захищені від корозії блукаючими струмами.

					<b>2410 ДП.ОА-п81-06.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.4 Пожежна безпека

Будівельні конструкції споруд підземних та наземних (надземних) закритих ліній метрополітену повинні виконуватися з негорючих матеріалів та мати мінімальні класи вогнестійкості, що наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Мінімальні класи вогнестійкості будівельних конструкцій

Найменування конструкцій	Класи вогнестійкості
Оправа станцій, вестибюлів, тунелів, пристанційних і притунельних споруд, пілони	REI 90
Колони станцій	R 120
Огороджувальні стіни сходових клітин	REI 120
Огороджувальні стіни підстанцій, приміщення зберігання мастильних і мастильно- фарбувальних матеріалів	REI 90
Сходові площадки, косяки, сходи, балки та марші сходових клітин та відкритих сходів, платформи, конструкції внутрішніх перекриттів	REI 60
Стіни (перегородки) приміщень категорії В, коридорів, тамбурів, тамбур-	EI 45
Стіни (перегородки) приміщень категорій Г і Д	EI 15
Перегородки між суміжними приміщеннями категорій В, Г і Д	EI 45

Класи вогнестійкості несучих конструкцій світлових ліхтарів повинен бути не менше ніж REI 45, а світлопрозорих огорожувальних конструкцій наземних (надземних) споруд метрополітену та конструктивних елементів їх заповнень – не менше ніж EI 30. Конструкції покриттів наземних (надземних) ділянок лінії метрополітену повинні виконуватися із негорючих матеріалів із мінімальним класом вогнестійкості REI 60. Клас вогнестійкості повітропроводів визначається згідно з ДБН В.2.5-56, ДБН В.2.5-67. Конструкції кабельних трубопроводів, коробів, лотоків і драбин повинні належати до класу стійких до поширювання полум'я.

У спорудах метрополітену слід застосовувати кабелі з межами вогнестійкості згідно з ДБН В.1.2-7. Припливні і витяжні агрегати вентиляції акумуляторного приміщення підстанції слід застосовувати у вибухозахисному виконанні.

Приміщення в спорудах (будівлях) метрополітену слід обладнувати автоматичними системами пожежогасіння і пожежної сигналізації відповідно до вимог ДБН В.2.5-56.

Для раннього виявлення осередку пожежі на об'єктах метрополітену слід застосовувати адресну СПС.

					2410 ДП.ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



слід здійснювати з урахуванням вимог ДБН В.1.1-31, ДСТУ-Н Б В.1.1-33. Опорядження службових приміщень необхідно виконувати із застосуванням звукопоглинаючих матеріалів з урахуванням вимог пожежної безпеки.

#### 4.7 Розрахунок захисного заземлення

Розрахунок захисного заземлення виконується в наступному порядку:

1. Припустимий опір заземлюючих пристроїв:

$$R_d = 4 \text{ Ом}$$

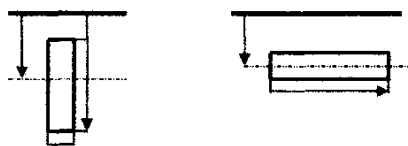
2. У якості природного заземлювача застосовується металева технологічна конструкція, частково занурена в землю, її розрахунковий опір (з урахуванням сезонних змін):

$$R_e = 15 \text{ Ом}$$

3. Необхідний опір штучних заземлювачів:

$$R_u = \frac{R_g \cdot R_e}{R_e - R_g} = \frac{4 \cdot 15}{-4 + 15} = 5,5 \text{ Ом} \quad (4.1)$$

4. У якості штучного заземлювача вибирається вертикальний стрижень діаметром 10 мм і довжиною 5м (рис. 4.1 ).



а

б

а - рисунок 4.1- Види є б тродів

а - вертикальний електрод, б - горизонтальний електрод.

5. Його опір визначається по формулі :

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right) \cdot k_c \quad (4.2)$$

де  $\rho$  - питомий опір фунту,  $\rho$  -100 Ом м;

l - довжина заземлювача, l=5 м;

d - діаметр стрижня, d = 10<sup>2</sup> м;

t - глибина розташування, t = 3,5 м;

K<sub>c</sub>- коефіцієнт сезонності, K<sub>c</sub> = 1,2.

					2410 ДП.ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_1 = \frac{100}{2\pi \cdot 5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{10} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3,5 + 5}{4 \cdot 3,5 - 5} \right) \cdot 1,2 = 27,8 \text{ Ом}$$

6. Необхідна кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{R_1}{\eta_e - R_u} \quad (4.3)$$

де  $\eta_e$  - коефіцієнт взаємного екранування електродів, розташованих у ряд.

7. Приймаючи відстань між електродами  $a = 1 = 5 \text{ м.}$ , одержуємо:

$$n = 6; \eta = 0,74$$

8. Розрахуємо довжину горизонтального електрода:

$$l_n = a \cdot (n - 1) = 5 \cdot (6 - 1) = 25 \text{ м} \quad (4.4)$$

9. Перетин горизонтального електрода  $4 \times 40 \text{ мм.}$

10. Опір розтікання струму горизонтального електрода:

$$R_{II} = \frac{\rho}{2\pi \cdot \ln \eta_e} \ln \frac{2 \cdot l_{II}^2}{b \cdot t_{II}} \quad (4.5)$$

де:  $b = 6 = 40 \text{ мм} = 4 \cdot 10^2 \text{ м}$

$t_{II} = 1 \text{ м, } \eta_e = 0,65$

$$R_{II} = \frac{100}{2\pi \cdot 25 \cdot 0,65} \cdot \ln \frac{2 \cdot 25^2}{4 \cdot 10^2 \cdot 1} = 9,5 \text{ Ом}$$

11. Еквівалентний опір штучних заземлювачів:

$$R'_{U} = \frac{R_1 \cdot R_n}{R_1 \cdot \eta_n + n \cdot R_n \cdot \eta_e} = \frac{27,8 \cdot 9,5}{27,8 \cdot 0,65 + 7 \cdot 0,74 \cdot 9,5} = 3,9 \text{ Ом, } R'_{u} < R_u \quad (4.6)$$

12. Еквівалентний опір усього заземлюючого пристрою:

$$R_K = \frac{R_e \cdot R'_u}{R_e + R'_u} = \frac{15 \cdot 3,9}{15 + 3,9} = 3,1 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

13. Для приєднання заземлюючого провідника використовується болт М4. Навколо болта виконується контактна площадка діаметром 12 мм, що не підлягає фарбуванню. Біля болта поміщений знак заземлення.

14. Тепер у випадку пробою на корпус струм приладу, споживаний з мережі, буде дорівнювати:

$$I = \frac{U}{r_0 + R_3} = \frac{220}{10 + 3,1} = 16,7 \text{ А}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2410 ДП.ОА-п81-06.ПЗ				

## Перелік посилань

1. Закладний О.М. Електропривод: Навч. Посіб. [текст] / Закладний О.М., Прокопенко В.В., Закладний О.О. // К.: Видавництво «Освіта України», 2009. – 351с.
2. Справочник по электроснабжению под ред. Федорова А.А. – М.: Энергоатомиздат, 1987 г.
3. Лісовський В.С. Автоматизація виробничих процесів у гірничій промисловості [текст] / Лісовський В.С., Закладний О.М., Борисюк М.Г., Гуманюк Я.М. // К.:Факт, 2001 г.
4. Сборник задач по горной электротехнике под ред. Авсеева Г.М. – М.: Недра, 1988 г.
5. Справочник по электроснабжения под ред. Дегтярева А.В. – М.: Недра, 1981 г.
6. В.Козаченко, А.Соловьев. Новые DSP-микроконтроллеры фирмы Analog Devices ADMC300/330 для высокопроизводительных систем векторного управления электроприводами переменного тока// CHIP NEWS. — 1998. — № 5. — С. 16-21.
7. <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fema/dovgan/library/1.pdf> [електронний ресурс]
8. <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fema/dovgan/library/2.pdf> [електронний ресурс]
9. Стороженко М.А. Аппаратура управления и контроля рудничными подъемными установками [текст] / Стороженко М.А. // М.: Недра, 1980 г.
10. Вольдек В.А. Электрические машины [текст] / Вольдек В.А. и др. // М.: Энергоатомиздат, 1980 г.
11. Праховник А.В. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово - комунального господарства [текст] /

					2410 ДП.ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург, УРО РАН, 2000. 654 с.

33. Закладний О.М. Електропривод: Навч. Посіб. [текст] / Закладний О.М., Прокопенко В. В., Закладний О.О. // К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 316с.

					2410 ДП.ОА-п81-06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		