

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) _____ **ІНІТІ ім. акад. І.С. Гулого**
Кафедра _____ **Електропостачання та енергоменеджменту**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)

(підпис) **Блаженко С. І.**
(прізвище та ініціали)

«__» __ лютого 2021 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) **Балюта С. М.**
(прізвище та ініціали)

«__» __ лютого 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності __141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____ «Енергетичний менеджмент»
на тему: _____
Енергоефективне електропостачання шахти та розрахунок
головної вентиляційної установки _____

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЕМ-2-8М

Зигун Владислав Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) _____
(підпис)

Керівник _____
Чорний Юрій Аркадійович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) _____
(підпис)

Консультанти _____
(прізвище та ініціали) _____
(підпис)

(прізвище та ініціали) _____
(підпис)

(прізвище та ініціали) _____
(підпис)

Рецензент _____
Бадаєв Юрій Іванович
(прізвище та ініціали) _____
(підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально - науковий інженерно - технічний інститут ім. акад. І. С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕПЕМ

/Балюта С. М./

“05” листопада 2020 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Зигуну Владиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Енергоефективне електропостачання шахти та розрахунок
головної вентиляційної установки

керівник роботи Чорний Юрій Аркадійович, доцент, кандидат технічних наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 05 ” листопада 2020 р. № 925-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 05 лютого 2021 року

3. Вихідні дані до роботи показники потужності споживачів електричної
енергії, та ген план підприємства з розміщенням цехів і обладнання.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Розрахунок навантажень підприємства;

Формування графіків навантаження підприємства;

Розробка схем електропостачання Вибір перерізу струмоведучих елементів;

Розробка енергоефективних заходів на підприємстві в вентиляційній установці

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема електропостачання шахти.

2. Ген план підприємства.

3. Силова схема ремонтного цеху.

4. Освітлення ремонтного цеху

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 05 листопада 2020 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на магістерську роботу	05.11.2020 р.	
2	Вступ	12.11.2020 р.	
3	Розрахунок навантажень підприємства	28.11.2020 р.	
4	Формування графіків навантаження підприємства	12.12.2020 р.	
5	Розробка схем електропостачання	20.12.2020 р.	
6	Вибір перерізу струмоведучих елементів	13.01.2021 р.	
7	Розробка енергоефективних заходів на підприємстві в вентиляційній установці	01.02.2021 р.	
8	Оформлення пояснювальної записки	03.02.2021 р.	
9	Оформлення графічної частини роботи	04.02.2021 р.	
10	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	05.02.2021 р.	

Здобувач _____
(підпис)

Зигун В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Чорний Ю.А.
(прізвище та ініціал)

АНОТАЦІЯ

**Зигун В.О. Енергоефективне електропостачання шахти та
розрахунок головної вентиляційної установки
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

Національний Університет Харчових Технологій

Київ 2021

У дипломній роботі розглянуто доцільність введення заходів для підвищення енергоефективності шахти, а також на прикладі розраховано як вибір вентилятора який керується від частотного перетворювача вплине на енергоефективність шахти вцілому.

На прикладі декількох графіків розглянули як може впливати кут нахилу лопастей вентилятора на навантаження асинхронного двигуна та підвищення коефіцієнту корисної дії установки.

Оскільки вентиляційна система шахти споживає до 30% електроенергії що надходить і працює постійно не вимикаючись, заощадження лише 1% енергії призведе до скорочення витрат на закупівлю електро енергії що в свою чергу зменшить ціну на видобуту продукцію з надр шахти.

Також виходячи з проведених розрахунків є доцільним проведення в глибину шахти лінії 35кВ для подальшої комутації споживачів, оскільки зі збільшення глибини шахти зростають і втрати в передачі електро енергії до кінцевого споживача.

Проведення даного заходу допоможе зменшити втрати в при передачі до 5%.

Ключові слова: Енергоефективність, частотний перетворювач, зменшення вартості сировини, втрати.

ANNOTATION

Zihun V.O. Energy efficient power supply of the mine and calculation of the main ventilation system .

141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

National University of Food Technology

Kyiv 2021

In the thesis the expediency of introduction of measures for increase of energy efficiency of mine is considered, and also on an example it is calculated how the choice of the fan which is operated from the frequency converter will influence energy efficiency of mine as a whole.

On the example of several graphs, we considered how the angle of the fan blades can affect the load of the induction motor and increase the efficiency of the installation.

Since the ventilation system of the mine consumes up to 30% of incoming electricity and works constantly without shutting down, saving only 1% of energy will reduce the cost of purchasing electricity, which in turn will reduce the price of extracted products from the mine.

Also, based on the calculations, it is advisable to conduct a 35kV line in the depth of the mine for further switching of consumers, because with increasing depth of the mine increases and losses in the transmission of electricity to the final consumer. Carrying out this measure will help to reduce losses in transfer to 5%.

Key words: Energy efficiency, frequency converter, reduction of raw material cost, losses.

АННОТАЦИЯ

Зигун В.А. Энергоэффективное электроснабжения шахты и расчет главной вентиляционной установки.

141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика»

Национальный Университет Пищевых Технологий

Киев 2021

В дипломной работе рассмотрена целесообразность введения мер по повышению энергоэффективности шахты, а также на примере рассчитан как выбор вентилятора управляемый от частотного преобразователя повлияет на энергоэффективность шахты в целом.

На примере нескольких графиков рассмотрели как может влиять угол наклона лопастей вентилятора на нагрузки асинхронного двигателя и повышения коэффициента полезного действия установки.

Поскольку вентиляционная система шахты потребляет до 30% электроэнергии поступающей и работает постоянно НЕ выключаясь, сбережения лишь 1% энергии приведет к сокращению расходов на закупку электро энергии что в свою очередь снизит цену на добытую продукцию из недр шахты. Также на основании проведенных расчетов целесообразно проведение в глубину шахты линии 35кВ для дальнейшей коммутации споживацив, поскольку по увеличению глубины шахты растут и потери в передочи электро энергии до конечного потребителя.

Проведение данного мероприятия поможет уменьшить потери в при передаче до 5%.

Ключевые слова: Энергоэффективность, частотный преобразователь, уменьшение стоимости сырья, потери.

Зміст

Вступ.....	8
1.Коротка характеристика підприємства.....	9
2. Розрахунок електричних навантажень.....	10
2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства.....	10
2.2 Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів....	15
2.3Розрахунок силових електричних навантажень в мережах до 1000В...	15
2.4 Визначення пікової потужності та пікового струму.....	18
2. 5. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	19
3.Картограма електричних навантажень.....	24
4. Вибір напруги живлячих та розподільчих мереж.....	27
4.1 Загальні питання.....	27
4.2 Вибір напруги живлячої і розподільчої мережі.....	27
5 ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ І ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	27
5.1 Вибір трансформаторів ГПП заводу.....	27
5.2 Вибір трансформаторів ТП на підприємстві.....	30
5.3 Вибір схеми цехової трансформаторної підстанції.....	33
5.4 Вибір компенсуючих пристроїв.....	34
6. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ СТРУМОВЕДУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	38
6.1. Вибір ПЛ 35 кВ.....	38
6.2. Вибір кабелів 10 кВ для підключення цехових ТП та високольтних споживачів.....	39
6.3. Вибір елементів та розрахунок цехової мережі.....	41
6.3.1 Розрахунок силової мережі цеху.....	41
6.3.2 Вибір магнітного пускача	51
7 Розрахунок струмів короткого замикань та вибір високовольтного та низьковольтного електрообладнання.....	52

7.1 Вибір високовольтного та низьковольтного електрообладнання.....	57
8. Релейний захист та автоматика (РЗА).....	59
8.1. Вибір автоматичних вимикачів.....	63
8.2. РЗА трансформаторів цехових ТП.....	63
9. ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	67
9.1 Вибір комутаційної апаратури.....	67
9.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму.....	70
9.3. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги.....	73
10. Спецпитання :«Енергоефективне електропостачання шахти та розрахунок головної вентиляційної установки».....	77
10.1 Актуальність теми роботи.....	77
10.2 Способи регулювання вентиляторів.....	84
10.3 Вибір системи електроприводу.....	92
10.4 Вибір та розрахунок вентиляційної установки.....	95
10.5 Показники енергоефективності промислових вентиляторів.....	105
11. Література.....	113

Вступ

Продукція гірничодобувної галузі, або ж іншими словами залізорудна сировина (ЗРС) є ключовим джерелом поповнення валютних запасів і формування ВВП України. Не звертаючи увагу на тенденцію до зменшення, яка спостерігається в останні роки, частина споживання електричної енергії індустрією України становить 42% від тотального рівня електроспоживання [1].

Електрична енергія є основним різновидом її, споживаної залізорудними шахтами, на частку якої припадає приблизно до 90% загальних енерговитрат. Найбільш енергоємними споживачами електричної енергії залізорудних шахт є стаціонарні установки – водовідливні, вентиляційні, підйомні, компресорні, – які разом використовують більше ніж 80 % з усієї споживаної шахти електроенергії.

Аналіз вітчизняних і іноземних досліджень показує, що для забезпечення роботи за весь час експлуатації ВУГП в економічній частині характеристики з найбільшим ККД розроблені й знайшли практичне використання різні засоби регулювання ВУГП [2]. Вентилятор повинен також забезпечувати надійність та безперервність роботи. Тому велике значення мають питання економічного обґрунтування та вибору електроприводу і схем живлення [3].

Одним з найбільш енергоємних споживачів електричної енергії серед діючих на сьогоднішній день шахт є шахтні вентиляційні установки головного провітрювання, по цій причині електропривод до них необхідно вибирати у вузькому зв'язку з питанням електропостачання шахти, з урахуванням підвищення шахтного коефіцієнта потужності [3]. Найвигідніший варіант визначається розрахунками. Частіше за все електропривод потужних шахтних ВУГП ґрунтується на синхронних двигунах, однак в окремих випадках економічно ефективнішим є використання асинхронних двигунів з фазним ротором [4].

Вентиляційні установки шахт працюють фактично з постійним навантаженням, це обумовлено уживанням нерегульованих електроприводів.

Характеристики графіків навантаження вентиляційних установок $K_{зап}=0,87-0,97$, $K_m=1,03-1,15$ - т. б. близькі до 1. Витрати на вентиляцію на різних шахтах становлять від 15 до 30% споживаної електроенергії і тут є значний потенціал збільшення енергоефективності [5].

Одним з основних напрямків покращення існуючого електроприводу є створення вентиляторів головного провітрювання з великою глибиною економічного регулювання їх подачі та тиску на базі частотно-керованого асинхронного електроприводу.

1.Коротка характеристика підприємства

Підприємство займається видобутком корисних копалин з нард землі виключно закритим методом добування.

Інформація про електричне навантаження підприємства наведена в табл.1

Таблиця 1

№	Приміщення	п.шт	Встановлена потужність	
			Одного ел.приймача	Сумарна
1	Підйом руди штолен	2	50-75	1200
2	Насосна	6	180	1800
3	Аварійний підйом	4	35	140
4	Спуск і підйом людей в рудник	4	40	160
5	Компресорна	9	250	2250
6	Вентиляційна станція №1	6	50-75	1100
7	Бремсберг		10-30	420
8	Елеватор	8	10-25	135
9	Вентиляційна станція №2	2	50	600
10	Ремонтний цех		Розр.наведені нижче	

2. Розрахунок електричних навантажень

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства.

Знайти розрахункову потужність електричних споживачів на підприємстві.

Наприклад, розрахунок здійснюється для компресорного цеху:

Загальна номінальна потужність для цеху:

$$P_{cm} = K_B * P_{Hom}$$

$n_{шт}$ – кількість споживачів електроенергії;

Використання довідкових даних: по табл [7] - компресорного цеху:

$$K_B = 0,7$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,75$$

Визначити середню потужність максимально завантаженого зсуву:

$$P_{cm} = K_B * P_{Hom} = 0,7 * 2250 = 1575$$

$$Q_{смЗА} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1575 \cdot 0,75 = 1260 \text{ квар}$$

Загальна номінальна потужність споживачів електроенергії, що працюють.

Коефіцієнт використання споживачів електроенергії:

$$K_B = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_{ном}} = \frac{5228}{7805} = 0,7$$

Розраховуємо n_e : [8]

$$n_e = \frac{2 * \sum P_{ном}}{P_{max}} = 18 \text{ шт}$$

По таблиці 2.1., [4] Визначаємо коефіцієнт максимуму K_M . Потрібні для розрахунку дані наведені в табл. 2.1:

$$K_B = 0,7 \text{ кВт}$$

$$n_e = 18$$

$$K_M = 1,1$$

Розрахункова активна потужність цеху:

$$P_{\text{розр}} = P_{\Sigma \text{см}} \cdot K_M = 1575 \cdot 1,12 = 1764 \text{ кВт}$$

Так як $n_e > 10$, то реактивна складова визначається як:

$$Q_{\text{розр}} = Q_{\Sigma \text{см}} = 1260 \text{ квар}$$

Повна потужність:

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{P_{\text{розр}}^2 + Q_{\text{розр}}^2} = \sqrt{1764^2 + 1260^2} = 2167,786 \text{ кВА}$$

Для інших споживачів результати розрахунку записуються в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

№ п/п	Обладнання	n, шт	P, кВт		кВ	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P см, кВт	Q _{см} , квар	η_e	K _m	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
			P, вст	P _н , ом.										
1	Підйом руди штолен	12	50- 75	120 0	0,6	0,7	1,02	720	504	32	1,1	792	504	38,765 1
2	Насосна	6	180	180 0	0,75	0,8	0,75	1350	1080	20	1,1 1	149 8,5	1080	1847,1 34
3	Аварійний підйом	4	35	140	0,2	0,5	1,73	28	14	8	1,2	33,6	14	36,4
4	Спуск і підйом людей в рудник	4	40	160	0,2	0,5	1,73	32	16	8	1,2	38,4	16	41,6
5	Компресорна	9	250	225 0	0,7	0,8	0,75	1575	1260	18	1,1 2	176 4	1260	2167,7 86

Закінчення табл.. 2.1

№ п/п	Обладнання	п, шт	P, вст	P _н ом.	кв	cos φ	tg φ	P см, кВТ	Q _{см} , квар	η_e	K _м	P _p , кВТ	Q _p , квар	S _p , кВА
7	Бремсберг	18	10- 30	420	0,6	0,65	1,17	252	163,8	28	1,1 0	277, 2	163,8	321,97 87
8	Елеватор	8	10- 25	135	0,6	0,65	1,17	81	52,65	10.8	1,1 6	93,9 6	52,65	107,70 56
9	Вентиляційна станція №2	12	50	600	0,7	0,8	0,75	420	336	24	1,1	462	336	571,26 18
10	Ремонтний цех											207,5	141,52 9	251,17 0
	Освітлення													301.25

2.2 Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів.

2. 2.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережах до 1000В

Визначення розрахункової потужності групи електроспоживачів

Електричні навантаження визначаються для вибору та випробування струмопровідних елементів та трансформаторів для нагрівання та економичності. Рекомендується брати до уваги основні вхідні дані для розрахунку зі списку користувачів електроенергії з заданою номінальною потужністю, призначенням механізму або технологічної установки, режимом роботи, напругою.

Ключовим методом визначення електричних навантажень цеху є метод впорядкованих діаграм: за середньою потужністю і максимальним коефіцієнтом.

У вкладці. 2.3 Напишіть такі дані:

1. Назва приймача потужності;
2. Кількість;
3. Встановлена потужність одного електричного приймача
4. $\cos \varphi$
5. КВ (коефіцієнт використання)

Для приймачів, що працюють в повторно-короткочасному режимі (ПКР), ведуть свою роботу в безперервному режимі (наприклад, кран-балка, зварювальний трансформатор).

Відповідно до режиму роботи ми ділимо всю групу електричних приймачів на 2 підгрупи:

- електричні приймачі, що працюють з постійним графіком;
- електричні приймачі, що працюють зі змінним графіком.

1. Знайти розрахункову потужність електричних споживачів, що працюють за змінного навантаження:

Наприклад, розрахунок здійснюється для вентилятора:

Загальна номінальна потужність для 2 вентиляторів:

$$P_{\Sigma ZA} = n_{шт} \cdot P_{вст} = 2 \cdot 52 = 104 \text{ кВт}$$

Де $P_{вст}$ – одинична номінальна потужність;

$n_{шт}$ – кількість споживачів електроенергії;

Використання довідкових даних: по табл [7] - вентиляторів:

$$K_B = 0,65$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$\tg \varphi = 0,75$$

Визначити середню потужність максимально завантаженого зсуву:

$$P_{смЗА} = P_{\Sigma ZA} \cdot K_B = 104 \cdot 0,7 = 72,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{смЗА} = P_{смЗА} \cdot \tg \varphi = 72,8 \cdot 0,75 = 54,6 \text{ квар}$$

Для інших споживачів результати розрахунку записуються в таблицю.

Загальна номінальна потужність споживачів електроенергії, що працюють на кривій ковзного навантаження:

$$P_{\Sigma}^{\sim} = \sum P_{ном} = 459,897 \text{ кВт}$$

Загальна середня активна потужність споживачів електроенергії, що працюють на змінному графіку навантаження:

$$P_{\Sigma см}^{\sim} = \sum P_{см}^{\sim} = 145,225 \text{ кВт}$$

Загальна середня реактивна потужність споживачів електроенергії, що працюють на змінному графіку навантаження:

$$Q_{\Sigma см}^{\sim} = \sum Q_{см}^{\sim} = 131,772 \text{ квар}$$

Коефіцієнт використання споживачів електроенергії на змінному графіку навантаження:

$$K_B^{\sim} = \frac{\sum P_{см}^{\sim}}{\sum P_{ном}} = \frac{145,225}{459,897} = 0,315$$

Розраховуємо n_e : [8]

$$n_e = \frac{\sum P_{\text{ном(всіх)}}^2}{\sum (P_{i \text{ ном}}^2 \cdot n(\text{штук}))} = 19,94 \text{ шт}$$

По таблиці 2.2., [8] Визначаємо коефіцієнт максимуму K_M . Потрібні для розрахунку дані наведені в таблиці. 2.2:

$$K_B^{\sim} = 0,315 \text{ кВт}$$

$$n_e = 19,94$$

Таблиця 2.2

n_e / K_e	0,3	0,4
20	1,34	1,24

$$K_M = 1,29$$

Розрахункова активна потужність всіх споживачів електроенергії, що працюють на змінному графіку навантаження:

$$P_{\text{розр}}^{\sim} = P_{\Sigma \text{ см}}^{\sim} \cdot K_M = 145,225 \cdot 1,29 = 187,340 \text{ кВт}$$

Так як $n_e > 10$, то реактивна складова визначається як:

$$Q_{\text{розр}}^{\sim} = Q_{\Sigma \text{ см}}^{\sim} = 131,772 \text{ квар}$$

Повна потужність:

$$S_{\text{розр}}^{\sim} = \sqrt{P_{\text{розр}}^{\sim 2} + Q_{\text{розр}}^{\sim 2}} = \sqrt{187,340^2 + 131,772^2} = 229,041 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм всіх споживачів електроенергії, що працюють на змінному графіку навантаження:

$$I_{\text{розр}}^{\sim} = \frac{S_{\text{розр}}^{\sim}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{229,041}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 347,991$$

Результати розрахунків вносимо в таблицю. 2.3

2.4 Визначення пікової потужності та пікового струму

Піковий струм групи користувачів з графіком змінної навантаження визначається на основі наступних умов: всі двигуни, крім потужного, працюють нормально, і запускається найпотужніший. Збс[4]

Піковий струм групи споживачів, що працюють з кривою змінного навантаження:

$$I_{\text{пik}}^{\sim} = i_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{розр}}^{\sim} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}})$$

$i_{\text{пуск}}^{\text{max}}$ – пусковий струм найпотужнішого двигуна в групі;

$I_{\text{розр}}^{\sim}$ – розрахунковий струм всіх електроприймачів, що працюють зі змінним графіком навантаження;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання для цього двигуна;

$I_{\text{ном}}^{\text{max}}$ – номінальний струм найпотужнішого двигуна.

$$i_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}} [2.4.1]$$

$K_{\text{пуск}}$ – кратність пускового струму. $K_{\text{пуск}} = 5$

$$I_{\text{ном}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{ном}}^{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{ном}}} = \frac{52}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,85} = 109,350 \text{ A}$$

$P_{\text{ном}}^{\text{max}}$ – потужність найпотужнішого двигуна;

$$i_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}} = 5 \cdot 109,350 = 546,75 \text{ A}$$

$$I_{\text{пik}}^{\sim} = i_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{розр}}^{\sim} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = 546,75 + (347,991 - 0,7 \cdot 109,350) = 818,196 \text{ A}$$

2. 5. Розрахунок освітлювальних навантажень

Виходячи з питомої потужності, що споживається на одиницю освітлення площі виробничих будівель і складів, визначається потужність, яка використовується для освітлення [8]:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{пит}} \cdot F,$$

де: $P_{\text{осв}}^{\text{пит}}$ - питома щільність навантаження освітлення, Вт/м²;

$$P_{\text{осв}}^{\text{пит}} = 15 \text{ Вт/м}^2$$

F - площа приміщення, м²

$$F = a \cdot b = 48 \cdot 28 = 1344 \text{ м}^2$$

Для ламп ЛБ $\cos \varphi = 0,9$, тоді $\text{tg} \varphi = \text{tg} \varphi(\arccos 0,9) = 0,484$

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{пит}} \cdot F = 0,015 \cdot 1344 = 20,16 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg} \varphi = 20,16 \cdot 0,484 = 9,757 \text{ квар}$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2} = \sqrt{20,16^2 + 9,757^2} = 22,396 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{22,396}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 34,027 \text{ A}$$

Ми знаходимо повну потужність ремонтно-механічного цеху

Знаходимо активну потужність цеху за формулою:

$$P_{\text{цеху}} = P_p + P_{\text{осв}} = 187,340 + 20,16 = 207,5 \text{ кВт}$$

Так само знаходимо реактивну потужність цеху за формулою:

$$Q_{\text{цеху}} = Q_p + Q_{\text{осв}} = 131,772 + 9,757 = 141,529 \text{ квар}$$

$$S_{\text{цеху}} = S_{\text{max}} = \sqrt{P_{\text{цеху}}^2 + Q_{\text{цеху}}^2} = \sqrt{207,5^2 + 141,529^2} = 251,170 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм[4]

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{251,170}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 381,613 \text{ А}$$

Результати розрахунків наведені в таблиці. 2.4

Таблиця 2.4

Тип навантаження	P_p	Q_p	S_p	I_p
Змінне навантаження	187,340	131,772	229,04	347,9
Освітлювальне навантаження	20,16	9,757	22,396	34,027
Цехове навантаження	207,5	141,529	251,170	381,613

Таблиця 2.3

№ п/п	Обладнання	п.шт	Р, кВт		кВ	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	n_e	K_m	Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	I _р , А
			Р _{вст}	Р _{ном.}											
1,2	Вентилятор	2	52	104	0,7	0,85	0,62	19, 94	1, 2 9	72,8	45,136				
3,4,5	Зварювальний агрегат	3	12	22,768	0,5	0,7	1,02			11,38 4	11,612				
,7,8	Токарний автомат	3	8	24	0,2	0,65	1,17			4,8	5,616				
,10,11	Зубофрезерний верстат	3	18	54	0,2	0,65	1,17			10,8	12,636				
2-14	Круглошліфувальни й верстат	3	5	15	0,1 2	0,5	1,73			1,8	3,114				
5-17	Заточний верстат	3	2,5	7,5	0,2	0,65	1,17			1,5	1,755				
18,19	Свердильний верстат	2	3,2	6,4	0,1 2	0,5	1,73			0,768	1,3286 4				
20-25	Токарний верстат	6	9	54	0,2	0,65	1,17			10,8	12,636				

Продовження таблиці. 2.3

№ п/п	Обладнання	пшт	Р, кВт		Кв	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	n_e	K_m	Рсм, кВт	Qсм, квар	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Iр, А
			Р, вст	Р ном.											
26,27	Плоскошліфувальний верстат	2	10,5	21	0,2	0,65	1,17			4,2	4,914				
28-30	Строгальний верстат	3	17,5	52,5	0,2	0,65	1,17			10,5	12,285				
31-34	Фрезерний верстат	3	8,5	25,5	0,2	0,65	1,17			5,1	5,967				
35-37	Розточний верстат	3	11,5	34,5	0,2	0,65	1,17			6,9	8,073				
38,39	Крани мостові	2	25	38,7 29	0,1	0,5	1,73			3,8729	6,7001 17				
	Сумарне навантаження			459, 897						145,225	131,77 2	187,3 40	131,77 2	22,396	34,027
	Освітлення														
	Сумарно цеху												141,52	251,170	381,613

3. Картограма електричних навантажень.

Розрахунок проводимо згідно з даними таблиці 2.1

Для скорочення втрат у мережах підприємства варто мінімізувати їхню довжину - це досягається при розташуванні ЦРП у центрі електричних навантажень. Для пошуку місцеположення ЦРП (РП) використовуємо картограму навантажень. Під картограмою навантажень розуміють розміщені на генеральному плані (рис. 1) кола, площа яких у певному мірілі дорівнює розрахунковим навантаженням цехів. Вважаємо, що навантаження цеху рівномірно розподілене на його площі, тому центр кола співпадає з центром тяжіння фігури цеху на плані.

Для побудови картограми навантажень цехів і підприємства в цілому для кожного цеху визначаємо радіуси R_i , площа πR_i^2 котрих у обраному мірілі дорівнює навантаженню цеху P_i , кВт.

Координати точки

Точка 1

$$x = 52.036274 \text{ мм}$$

$$y = 511.370240 \text{ мм.}$$

Подальші дані занесені в зведену таблицю 3.1:

Таблиця 3.1

№	Координата X	Координата Y
1	52.036274	511.370240
2	271.241304	50.363594
3	121.992856	316.014395
№	Координата X	Координата Y
4	52.036274	550.970240
5	200.689216	694.574105
6	263.266814	289.502186
7	200.689216	602.126154
8	255.431295	446.506019
9	274.649836	710.284917
10	42.622693	185.387366

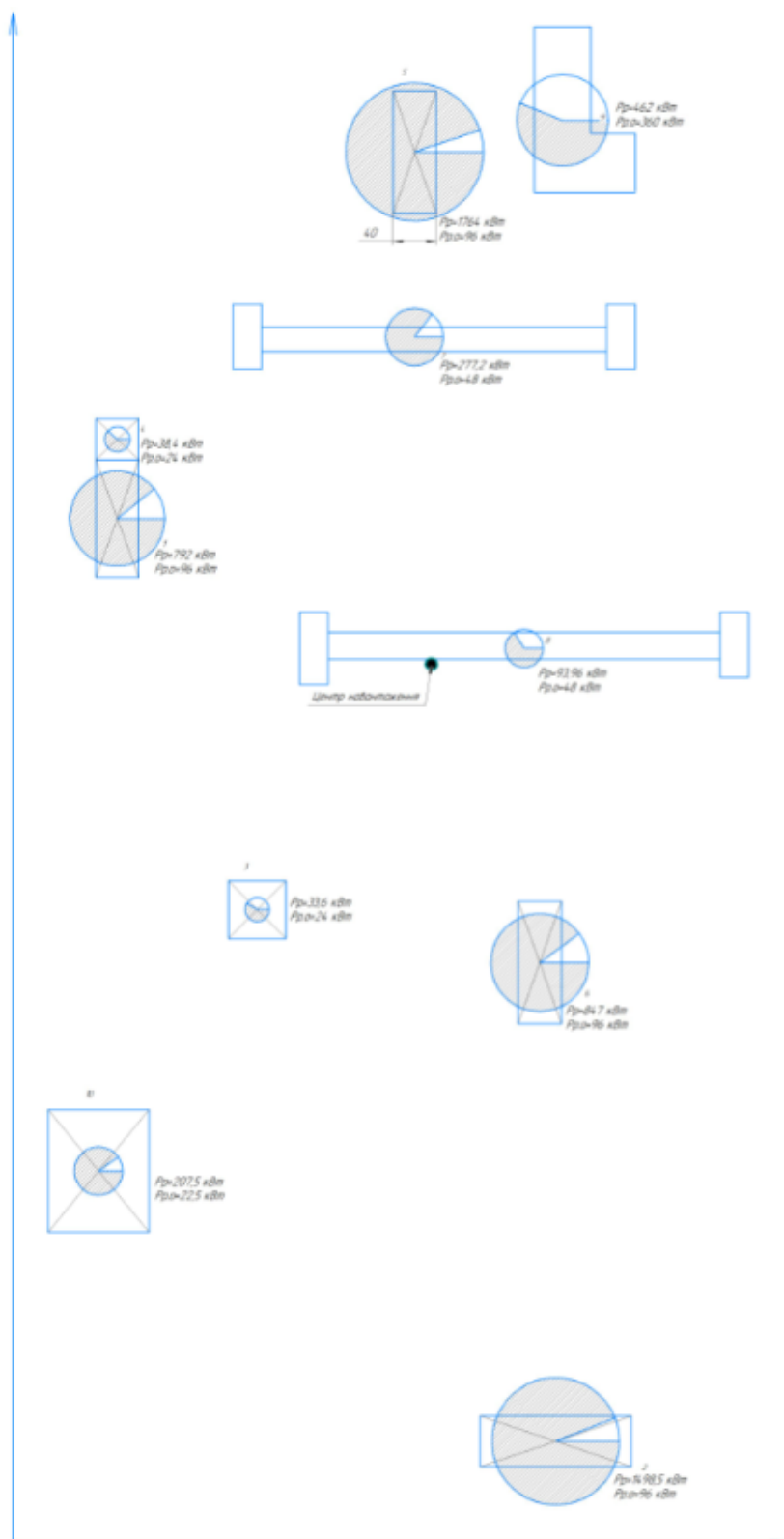
Координати центру:

х-центр = 209,06 мм

у-центр = 438,66 мм

Картограма навантажень зображена згідно з розрахунками на рис 1

Рис.1



4. Вибір напруги живлячих та розподільчих мереж.

4.1 Загальні питання.

Розвиток в Україні видобутку корисних копалин підземним способом супроводжується поглибленням шахт, а інтенсифікація виробництва, зростанням електричних навантажень підземних споживачів [9].

Вже зараз встановлена потужність підземних користувачів на ряді шахт перевищує 10 МВт, а глибина залягання пластів, що розробляються - більш 1000 метрів. Якщо врахувати і розподіл електроенергії в підземних виробках, то стають очевидними наростаючі проблеми забезпечення якості електроенергії та зростання втрат електроенергії в системах електропостачання глибоких шахт [9].

З урахуванням перспектив розвитку галузей, збільшення ефективності електропостачання глибоких шахт може досягнути переведенням їх на більш високий клас напруги, як мінімум живлять (стовбурових) шахтних мереж. Це передбачає встановлення безпосередньо в шахті підстанції з первинною напругою 20-35 кВ [9].

4.2 Вибір напруги живлячої і розподільчої мережі.

Згідно з раніше вказаних факторів для живлення підприємства візьмемо мережу 35кВ, а для живлення цехів підприємства оберемо мережу 10/0,38 кВ.

5 ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ І ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

5.1 Вибір трансформаторів ГПП заводу:

Проведемо вибір кількості і потужності трансформаторів. Обов'язковою умовою є встановлення двотрансформаторної підстанції, оскільки усі споживачі на підприємстві належать до I категорії надійності електропостачання.

Виберемо трансформатори на ГПП напругою 35/10 кВ, що живлять цехові ТП напругою 10/0,4.

$$S_{p.тр} = \frac{S_p}{1,4} = \frac{7381,2}{1,4} = 5272,285 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Згідно з попередніми розрахунками вибираємо 2хТДН-6300/35, із $S_{ном} = 6,3 \text{ МВА}$

Характеристики:

$$U_{ВН} = 35 \text{ кВ}; U_{НН} = 11 \text{ кВ}; \Delta P_{xx} = 8 \text{ кВт}; \Delta P_{кз} = 46,5 \text{ кВт}; U_{кз} = 7,5 \%;$$
$$I_{xx} = 0,8\%$$

Розрахунки для побудови добового графіка навантаження підстанції (рис.1) наведено в таблицю.3. [8]

Таблиця 3

$m = \frac{S_i}{S_{\text{максНН}}}$	$\Delta\tau$	Навантаження обмоток трансформатора, МВ·А в години доби
		$S_{\text{макс}}$
0,45	0...5	$0.45 \cdot 5.8 = 2.61$
0,8	5...7	4.64
0,85	7...8	4.93
0,92	8...9	5.336
1	9...10	5.8
0,85	10...11	4.93
0,8	11...13	4.64
0,86	13...14	4.988
1	14...16	5.8
0,86	16...17	4.988
0,7	17...19	4.06
0,75	19...21	4.35
0,66	21...24	3.828

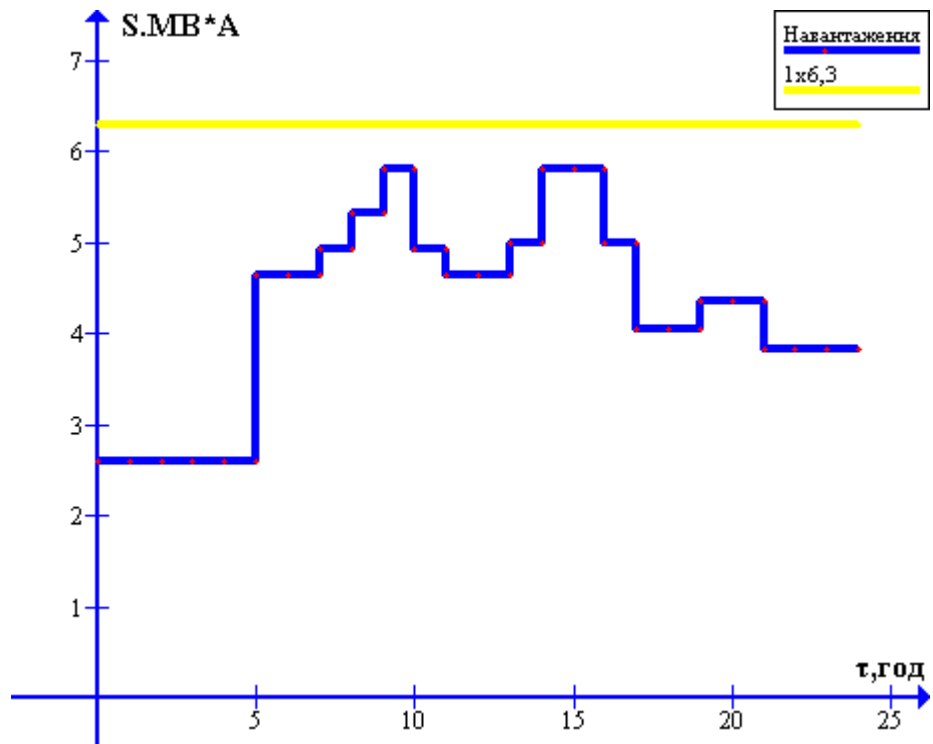


Рисунок.1 Добовий графік навантаження підприємства

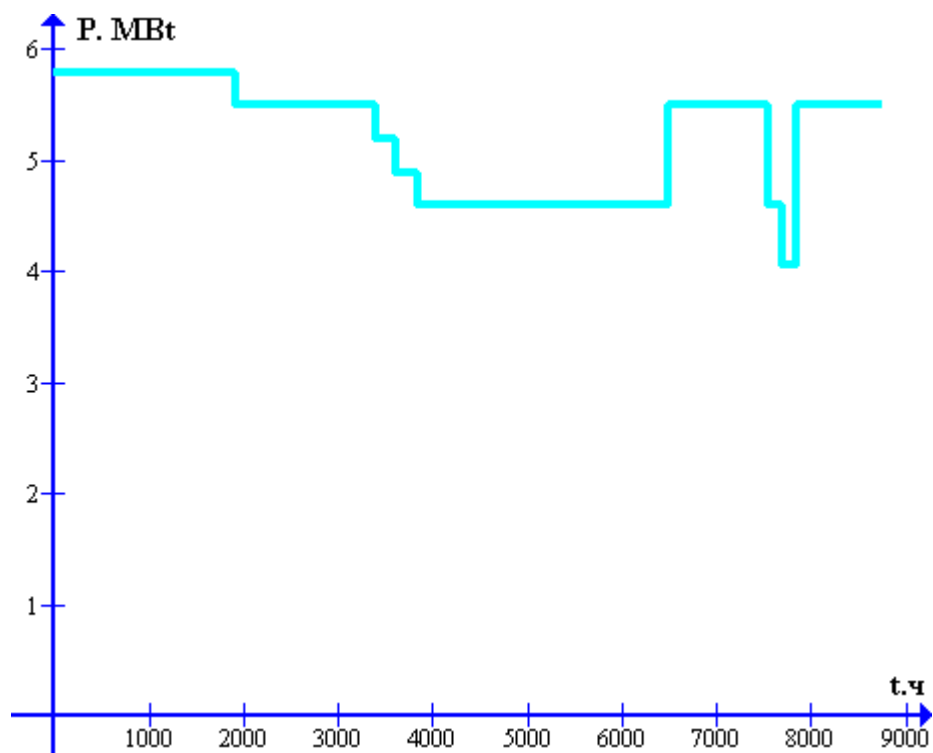


Рисунок.2 річний графік навантаження підприємства

Визначення допустимості систематичних та аварійних перенавантажень трансформаторів ГПП.

Систематичне перевантаження.

Оскільки, сумарна встановлена потужність трансформаторів

$$\sum_{i=1}^2 S_{\text{ном тр}} = 2 \cdot 6,3 = 12,6$$

а максимальне навантаження підстанції 12,6 МВ·А , то систематичного перевантаження не буде.

Аварійне перевантаження.

В аварійному режимі роботи працює один трансформатор ($S_{\text{ном тр}} = 6,3$ МВ·А) на сумарне навантаження підстанції (5272,2856 МВ·А), отже, аварійного перевантаження не буде.

5.2 Вибір трансформаторів ТП на підприємстві

Зважаючи на те, що кожний цех має велику потужність, доцільно буде встановити біля кожного цеху свою підстанцію.

Правильний вибір числа та потужності трансформаторів на цехових трансформаторних підстанціях є одним з основних питань раціональної побудови електромереж. Двотрансформаторні підстанції використовують при значному числі споживачів 1-ї і 2-ї категорії. Доречно застосовувати двотрансформаторні підстанції при нерівномірному добовому і річному графіках навантаження підприємства, при сезонному режимі роботи. Як правило, передбачається роздільна робота трансформаторів для зменшення струмів КЗ [8].

Вибір потужності трансформаторів проводиться виходячи з розрахункового навантаження об'єкта електропостачання, числа годин використання максимуму навантаження, темпів зростання навантажень, вартості електроенергії, припустимого перевантаження трансформаторів і їх економічного завантаження. Найбільш вигідне (економічне) завантаження

цехових трансформаторів залежить від категорії ЕП, від числа трансформаторів і способів резервування [8].

Так як в цеху переважають приймачі II-ї категорії, то доречно обрати 2 трансформатора для установки на трансформаторну підстанцію.

При виборі ТП дотримуємось таких вимог:

- одотрансформаторні ТП встановлюємо при навантаженнях, що припускають перерву в електропостачанні на час доставки «складського резерву». В іншому випадку по можливості, необхідне резервування на вторинній напрузі;
- двотрансформаторні ТП використовуємо при переважанні споживачів першої та другої категорій або при нерівномірному добовому графіку навантаження;
- рекомендується на цехових ТП встановлювати трансформатори одного типу та потужності з метою зменшення складського резерву [8].

Обрані ТП перевіряються по безперебійності електропостачання споживачі першої та другої категорій надійності при вимиканні одного з трансформаторів. Згідно з ПУЕ допускається після аварійне перевантаження трансформатора ТП (що залишився в роботі) на 40% на час не більше 6 годин на добу впродовж 5-ти діб. При цьому коефіцієнт заповнення добового графіка в умовах перевантаження $K_3 \leq 0,85$.

Умова:
$$\frac{S_p}{1,4 \cdot S_{\text{ном}}^{\text{ТР}}} \leq K_3 = 0,85$$

Цех №10 (Ремонтний цех)

$$S_p = 251,17 \text{ кВА};$$

$$\beta_6 = 0,9;$$

$$S_6 = \frac{S_p}{\beta_6} = \frac{251,17}{0,85} = 295,494 \text{ кВА};$$

Обираємо ТП з двома трансформаторами ТМ- 1600/10;

$$\beta_{\phi} = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}^{TP}} = \frac{1771,51}{2 \cdot 1600} = 0,55$$

Характеристик трансформаторів ТМ -1600/10:

$$U_{ВН} = 10,5\text{кВ}; \quad U_{НН} = 0,4\text{кВ}; \quad \Delta P_{xx} = 3,3 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{кз} = 16,5 \text{ кВт};$$

$$U_{кз} = 5,5\%$$

$$I_{xx} = 1,3 \%$$

Знаючи навантаження цехів, вибираємо ТП. Результати представлено у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

№	Назва	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА	Назва трансформатора	№ ТП
1	Підйом руди штолен	792	504	938,7651	ТМ -1600/10	2
2	Насосна	1498,5	1080	1847,134		3
3	Аварійний підйом	33,6	14	36,4		3
4	Спуск і підйом людей в рудник	38,4	16	41,6		2
5	Компресорна	1764	1260	2167,786		1
6	Вентиляційна станція №1	847	616	1047,313	ТМ -1600/10	3
7	Бремсберг	277,2	163,8	321,9787		2
8	Елеватор	93,96	52,65	107,7056		2
9	Вентиляційна станція №2	462	336	571,2618		2
10	Ремонтний цех	207	141,529	251,170		3

5.3 Вибір схеми цехової трансформаторної підстанції

Для ТП обираємо Блочну комплектну трансформаторну підстанцію 2БКТП-АТ. Зображену на листі креслення 5.

БКТП-АТ, являє собою збірну конструкцію з декількох залізобетонних блоків. Кожен блок має надземну (далі - блок-модуль) і підземно-цокольную частини у вигляді об'ємних залізобетонних конструкцій.

Підземно-цокольна частина призначена для вводу кабельних ліній, прокладки і підключення кабельних перемичок і є збірною конструкцію із залізобетонних плит, яка заглиблюється в землю і встановлюється на підготовлений фундаментний майданчик. Підземно-цокольную частину для забезпечення гідроізоляції покривають бітумною мастикою. У разі застосування масляного силового трансформатора, на дно підземно-цокольної частини встановлюється масло приймач, розрахований на весь обсяг масла трансформатора. Блок-модуль призначений для розміщення електрообладнання відсіків БКТП-АТ і являє собою збірну конструкцію з залізобетонних плит.

Блок-модулі БКТП-АТ встановлюються зверху на підземно-цокольні частини або спеціальний фундамент, що виготовляється замовником з урахуванням габаритних розмірів підстанції (в цьому випадку підземно-цокольна частина не виготовляється). Для завантаження і установки блок-модулів БКТП-АТ в конструкції блоків передбачені чотири строповочні цапфи. Внутрішній контур заземлення БКТП-АТ виконується на заводі-виробнику і має елементи для зв'язку із зовнішнім контуром заземлення. Матеріали для обладнання зовнішнього контуру заземлення в комплект БКТП-АТ не входять.

Спеціальних заходів по захисту від блискавки підстанції не потрібно, по тій причині, що металева арматура каркаса має жорсткий металевий зв'язок з внутрішнім контуром заземлення.

В комплект БКТП-АТ входить наступне обладнання:

- силові трансформатори;

- розподільний пристрій боку вищої напруги (РПВН);
- розподільний пристрій боку нижчої напруги (РУНН);
- ящик вводу власних потреб (ЯВ-ВП);
- пристрій АВР на стороні ВН чи НН (для двосекційних підстанцій, на замовленням);
- шафа зовнішнього освітлення;
- шафа обліку електричної енергії (ШО);
- шафа теплового захисту та вентиляції (при необхідності);
- з'єднувальні кабелі, шини та проводи;
- стійка з індивідуальними засобами захисту від поразки електричним струмом (за замовленням).

У ввідних і секційних панелях встановлюються автоматичні вимикачі викочування серії ВА55 на струми до 2000 А і серії «Електрон» на струми до 4000 А, роз'єднувачі серії РЕ19. В лінійних панелях встановлюються автоматичні вимикачі на струми до 630 А, роз'єднувачі-запобіжники або блоки запобіжник-вимикач-роз'єднувач.

У блоці РУНН також встановлюються:

- ящик ЯВ-ВП, призначений для забезпечення внутрішнього освітлення всіх блоків, внутрішнього освітлення КСО, зовнішнього освітлення підстанції, живлення схеми управління обігрівом;
- шафа обліку електричної енергії;
- ящик керування освітленням

5.4 Вибір компенсуючих пристроїв

Оптимальне значення реактивної потужності, яку можна передати через трансформатори ТП

$$Q_T = \sqrt{(S_T \cdot N_T^e \cdot \beta)^2 - (P_p)^2} ;$$

$$Q_T = \sqrt{(1600 * 6 * 0.9) - 5806.66^2} \text{квар},$$

де $S_T = 1600$ кВА – потужність одного трансформатора на трансформаторній підстанції;

$\Delta N_T^e = 6$ шт – кількість трансформаторів на ТП;

$\beta = 0,9$ – коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів;

$P_p = 5806.66$ кВт – розрахункова потужність електроприймачів напругою до 1 кВ.

Потужність КУ, що визначається пропускною здатністю трансформаторів ТП

$$Q_{HK1} = Q_{p.HH} - Q_T ;$$

$$Q_{HK1} = 4183.979 - 2834 = 1349.979 \text{квар}.$$

Потужність КУ, які забезпечують оптимальну величину втрат електричної енергії в електромережах ;

$$Q_{HK2} = Q_{p.HH} - Q_{HK1} - \gamma \cdot S_T \cdot N_T^e$$

$$Q_{HK2} = 4183.979 - 1349.97 - 0.35 * 1600 * 6 = 526 \text{ квар}$$

де $\gamma = f(k_1; k_2)$, k_1 – залежить від кількості змін і для підприємства яке працює в три зміни $k_1 = 11$; k_2 – залежить від характеристики електричної мережі і для радіальної мережі рівний

$$k_2 = \frac{I_{каб} \cdot S_T}{F_{каб}}$$

$$k_2 = \frac{0,5 \cdot 1600}{95} = 8,4 .$$

Сумарна розрахункова потужність низьковольтних КУ

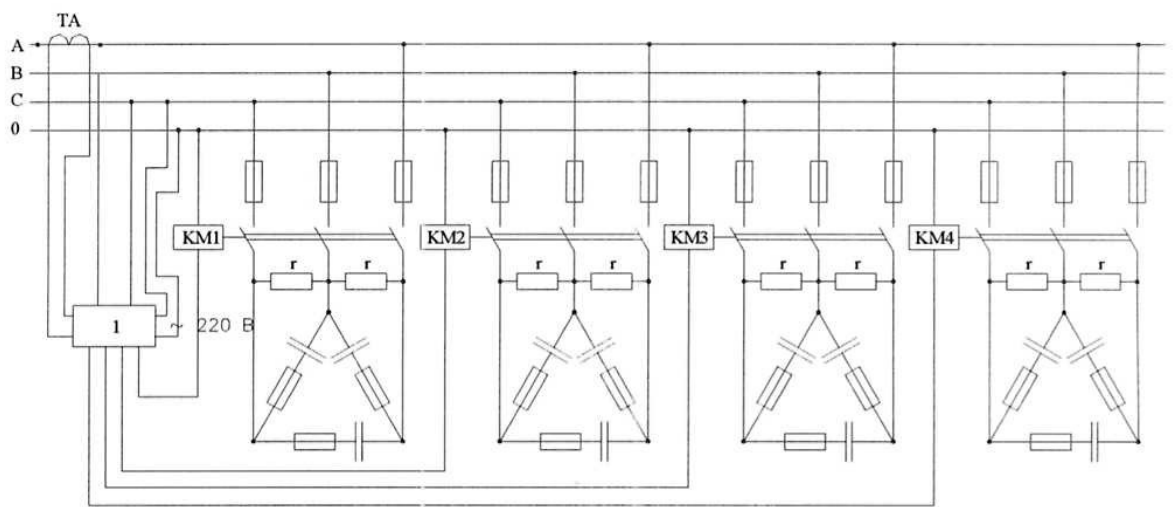
$$Q_{HK} = Q_{HK1} + Q_{HK2} ;$$

$$Q_{HK} = 0 + 526 = 526 \text{ квар.}$$

$$Q_{HK} = \frac{526}{6} = 87.667$$

З розрахунків видно, що на стороні НН трансформаторної підстанції необхідно ставити КУ потужністю $Q_{HK} = 87.667$ квар.

Отже вибираємо конденсаторну установку (табл. 4.37 [8]) з регулятором потужності, принцип роботи якої наведено нижче:



Принципова схема конденсаторної установки з регулятором потужності

1 - регулятор потужності

Конденсаторна установка має дискретне регулювання потужності. Регулятор обладнаний спеціальними гермованими реле, які є дуже надійними. Комутація секцій конденсаторної установки здійснюється контакторами КМ. Кожна секція захищена запобіжниками.

$$6 \times UKM58 - 0,4 - 250 - 10 \text{ УЗ.}$$

Фактична потужність низьковольтних КУ

$$Q_{HKФ} = 6 \cdot 250 = 1500 \text{ квар.}$$

Конденсаторна установка підключена через автоматичний вимикач.

Розрахунковий струм: $I_p = \frac{Q_{KY}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 360,84 \text{ А}.$

Вибираємо вимикач типу А3730Б:

$U_{ном}^{AB} = 0,4 \text{ кВ}$	=	$U_{ном}^{мер} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{ном}^{розч} = 400 \text{ А}$	>	$I_p = 360,84 \text{ А}$
$I_{ном}^{AB} = 400 \text{ А}$	=	$I_{ном}^{розч} = 400 \text{ А}$

Втрати реактивної потужності в трансформаторах ТП

$$\Delta Q_{Тп} = n \cdot [\Delta Q_x + (\beta_T)^2 \cdot \Delta Q_k],$$

$$\Delta Q_{Тп} = 6 \cdot \left[\frac{1600 \cdot 3,3}{100} + (0,514)^2 \cdot \frac{16,5 \cdot 1600}{100} \right] = 735,28 \text{ квар},$$

де $n = 6$ – кількість трансформаторів на ТП; ΔQ_x та ΔQ_k – втрати реактивної

потужності в ТР при холостому ході та короткому замиканні; $\beta_T = \frac{P_{рнн}}{n \cdot S_{ном}^T},$

$$\beta_T = \frac{5806.66}{6 \cdot 1600} = 0.605 \text{ – коефіцієнт завантаження ТР.}$$

Потужність високовольтних КУ

$$Q_{БК} = Q_{р.нн} + Q_{р.вн} + \Delta Q_{Тпн} - Q_{НКФ}$$

$$Q_{БК} = 5806.66 + 193.7 + 735.28 - 1500 = 5235,64 \text{ квар.}$$

З розрахунків видно, що на стороні ВН трансформаторної підстанції потрібно ставити КУ потужністю УКЛ57-10,5-5400 У3 габарити [8].

Типономинал	Напряжение, кВ	Мощность, квар	Размеры шкафа, мм				Масса, кг	
			длина		ширина	высота	ввод снизу	ввод сверху
			ввод снизу	ввод сверху				
УКЛ57-10,5-5400 У3	10,5	5400	3150	3600	800	1950	1780	1870

Баланс реактивной мощности

$$Q_{сд}^{баз} = Q_{р.НН} + Q_{р.ВН} + \Delta Q_{Тмн} - Q_{нкф} - Q_{вкф}$$

$$Q_{сд} = 5806.66 + 193.7 + 735.28 - 1500 - 5400 = 0 \text{ квар.}$$

Підприємство компенсує реактивну потужність за допомогою КУ.

6. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ СТРУМОВЕДУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

6.1. Вибір ПЛ 35 кВ

Визначаємо струми нормального та максимального режимів:

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{S_P^{\text{ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{ПЛ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{сп}}} ,$$

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{7381.2}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 35} = 60,88 \text{ А.}$$

$$I_{\text{МАХ}} = 2 \cdot I_{\text{НОРМ}} ,$$

$$I_{\text{МАХ}} = 2 \cdot 60,88 = 121,76 \text{ А.}$$

За таблицею. 10.1 [2] знаходимо економічну густину струму при $T_{\text{МАХ}} = 4500$ год для повітряної лінії $j_{\text{ЕК}}^{\text{ПЛ}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$.

Визначаємо економічно вигідний переріз ПЛ

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{j_{\text{ЕК}}^{\text{ПЛ}}} ,$$

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{60.88}{1.1} = 55.35 \text{ мм}^2$$

За таблицею. 7.35 [8] вибираємо провід типу АС-70/11:

$$S_{\text{СТ}} = 70 \text{ мм}^2 = S_{\text{ЕК}} 55,35 \text{ мм}^2.$$

$$I_{\text{ДОП}} = 210 > I_{\text{МАХ}} = 121,76 \text{ А.}$$

Правилами будови електроустановок встановлені мінімально допустимі перерізу проводів за умовою корони. Наприклад, на лініях напругою 110 кВ використовують провід із мінімальним перерізом АС-70/11.

За табл. 7.35 [8] вибираємо провід типу АС-70/11:

$$S_{\text{СТ}} = 70 \text{ мм}^2 > S_{\text{ЕК}} 55,35 \text{ мм}^2.$$

$$I_{\text{ДОП}} = 265 > I_{\text{МАХ}} = 121,76 \text{ А.}$$

З цього видно, що за здатністю до перевантажень повітряна лінія задовільняє умови.

Погонні параметри лінії (табл. 7.38 [8]): $r_0 = 0.422 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,137 \text{ Ом/км}$.

6.2. Вибір кабелів 10 кВ для підключення цехових ТП та високольтних споживачів

Вибір КЛ для цехових ТП покажемо на прикладі головного корпусу, заводоуправління.

Нормальний та максимальний струми:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 96,4 \text{ А}$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,33 \text{ А}$$

Знаходимо економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{ек.кл}}} = \frac{96,4}{1,4} = 66 \text{ мм}^2.$$

По економічно вигідному перерізу обираємо стандартний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{ст}} = 70 \text{ мм}^2 > S_{\text{ек}} = 66 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель типу АПвЭВ 3х70-10

Погонні параметри кабельної лінії:

$$r_0 = 0,196 \text{ Ом/км}, \quad x_0 = 0,098 \text{ Ом/км}.$$

Перевіряємо кабельну лінію за умовою допустимого нагріву:

$$I_{\text{доп}} = 193 \text{ А} > I_{\text{макс}} = 129,33 \text{ А}.$$

Результати розрахунків інших КЛ наведені в таблиці 6.1

Таблиця 6.1

№ п/п	Назва підрозділу	№ ТП	Іном, А	Імакс , А	Марка кабеля	Перері з, мм ²	Ідоп, А
5	Компресорна	1	96,4	129,33	АПвЭВ	3x70	193
1	Підйом руди штолен	2	96,4	129,33			
4	Спуск і підйом людей в рудник						
7	Бремсберг						
8	Елеватор						
9	Вентиляційна станція №2						
7	Бремсберг	3	96,4	129,33	АПвЭВ	3x70	193
2	Насосна						
3	Аварійний підйом						
6	Вентиляційна станція №1						
10	Ремонтний цех						

АПвЭВ - Силовий кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену і оболонкою з ПВХ пластику на номінальну змінну напругу 3,6/6; 6/10; 10; 8,7/15; 12/20; 20; 18/30; 35 кВ. Призначений для прокладки в приміщеннях, тунелях, каналах, шахтах, в землі і на відкритому повітрі під навісом [8].

ААШв – алюмінієвий кабель з ізоляцією із просоченого паперу, в алюмінієвій оболонці і шлангу із полівінілхлориду. Кабель призначений для прокладання в сухих і вологих приміщеннях, каналах, шахтах, в землі з низьким і середнім рівнем корозійної активності, на відкритому повітрі. Його застосовують для розподілу електроенергії в електричних мережах напругою 6 кВ або 10 кВ і частотою 50 Гц. Він призначений для горизонтальних і похилих трас [8].

Особливістю кабелю є можливість використання його в приміщеннях, що піддаються вібрації, в пожежонебезпечних і вибухонебезпечних приміщеннях.

6.3. Вибір елементів та розрахунок цехової мережі

6.3.1 Розрахунок силової мережі цеху

Цехові електромережі виконуються змішаними методами. У цій схемі одна або кілька ліній, що простягаються від трансформаторної підстанції до РП. Вони живляться у вигляді розподільних шин і силових шаф і малих електронних схем. Ми приймаємо цю схему, по тій причині, що ми маємо відносно рівномірне розташування силових і освітлювальних навантажень вздовж площини цеху. Схема забезпечить надійність, універсальність і високу гнучкість [8].

Вибір вимикачів

Відповідно до ПУЕ, захисні апарати за їх розривною здатністю повинні відповідати максимальному значенню струму короткого замикання на початку захищеної зони, електричної мережі. Дозволяється встановлювати захисні пристрої, якщо найближчий апарат, розташований у напрямку живлення, забезпечує миттєве вимкнення струму короткого замикання.

Умова вибору АВ:

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном}}^{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном.розщ}} \geq I_{\text{розр}}$$

$$I_{\text{спр}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}$$

$$I_{\text{ном.вим}} \geq I_{\text{ном.розщ}}$$

Для прикладу розрахунок проводимо для плоскошліфувального верстату.

Розраховуємо номінальний струм

$$I_{\text{ном}}^{\text{РП}} = \frac{P_{\text{ном}}^{\text{ПШВ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{ном}}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,85} = 28,87 \text{ А} \quad [2.7.1]$$

$$1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 28,87 \cdot 5 = 180,4649 \text{ А} \quad [2.7.2]$$

Умови вибору автоматичних вимикачів:

Таблиця 6.3. 1

Автоматичний вимикач		
Дані АВ	Умова вибору	Розрахункові дані
380 В	$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном}}^{\text{мережі}}$	380 В
30 А	$I_{\text{ном.розщ}} \geq I_{\text{розр}}$	28,87 А
160 А	$I_{\text{ном.вим}} \geq I_{\text{ном.розщ}}$	30 А
630 А	$I_{\text{спр}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пik}}$	180,4649 А
А3710Б		

Вибір автоматичних вимикачів до всіх електроприймачів наведено в таблиці.2.7. 2 таблиця 3.5[4]

Таблиця 6.3. 2

Дані споживача								АВ		
№	ЕП	$n_{шт}$	$P_{ном} ,$ кВт	$\cos \varphi$	η	$I_{ном} , A$	$1,25 * I_{розщ},$	$I_{вим}, A$	Тип	
1	Вентилятор	2	52	0,85	0,85 5	109,3506	683,4414	300	1000	ВА55-41
2	Зварювальний агрегат	3	12	0,7		30,64221	191,5138	40	160	А3710Б
3	Токарний автомат	3	8	0,65		21,99953	137,4971	40	160	А3710Б
4	Зубофрезерний верстат	3	18	0,65		49,49895	309,3684	63	160	А3710Б
5	Кругшлифувальний верстат	3	5	0,5		17,87462	111,7164	20	160	А3710Б
6	Заточний верстат	3	2,5	0,65		6,874854	42,96784	16	160	А3710Б
7	Свердлильний верстат	2	3,2	0,5		11,43976	71,49849	16	160	А3710Б
8	Токарний верстат	6	9	0,65		24,74948	154,6842	40	160	А3710Б
№	ЕП	$n_{шт}$	$P_{ном} ,$ кВт	$\cos \varphi$		$I_{ном} , A$	$1,25 * I_{розщ},$	$I_{вим}, A$	Тип	
9	Плоскошлифувальний верстат	2	10,5	0,65		28,87439	180,4649	40	160	А3710Б
10	Строгальний верстат	3	17,5	0,65		48,12398	300,7749	63	160	А3710Б
11	Фрезерний верстат	3	8,5	0,65		23,3745	146,0907	40	160	А3710Б
№	ЕП	$n_{шт}$	$P_{ном} ,$ кВт	$\cos \varphi$		$I_{ном} , A$	$1,25 * I_{розщ},$	$I_{вим}, A$	Тип	
12	Розточний верстат	3	11,5	0,65		31,62433	197,6521	40	160	А3710Б
13	Крани мостові	2	25	0,5		89,37311	558,5819	100	160	А3710Б

Вибір проводу від силового пункту до електроспоживачів вибираємо за номінальним струмом розщеплення автоматичного вимикача.

Визначення перерізів струмоведучих жил

Тип приміщення – П І

У пожежонебезпечних приміщеннях застосовуються алюмінієві або мідні провідники.

Марка проводу – ВВГнг

Умови вибору провідників:

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{ном}}^{\text{П}} \cdot \frac{K_3}{K_{\text{п}}},$$

де K_3 – кратність струму для провідника відносно струму апарата захисту $K_3 = 1,0$

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт прокладки $K_{\text{п}} = 1,0$

$$I_{\text{пр}} \leq I_{\text{пр}}^{\text{доп}}$$

З табл. 3.15, [4] вибираємо допустимо тривалий струм та стандартний переріз.

З табл. 3.32, [4] вибираємо діаметр жили.

Результати вибору наведено в табл. 6.3.3

Таблиця 6.3.3

№	Найменування електроприймача	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{розщ}}, \text{А}$	Провід ВВГнг		
				$I_{\text{пр доп}}, \text{А}$	$S_{\text{ст}}, \text{мм}^2$	$d_{\text{ж}}, \text{мм}$
1	Вентилятор	109,35 06	300	123	3x25	23
2	Зварювальний агрегат	30,642 21	40	42	4x6	14
3	Токарний автомат	21,999 53	40	42	4x6	14
4	Зубофрезерний верстат	49,498 95	63	73	4x10	16
5	Кругшлифувальний верстат	17,874 62	20	19	4x1,5	8
6	Заточний верстат	6,8748 54	16	19	4x1,5	8
7	Свердлильний верстат	11,439 76	16	19	4x1,5	8
8	Токарний верстат	24,749 48	40	42	4x6	14
9	Плоскошлифувальний верстат	28,874 39	40	42	4x6	10
10	Строгальний верстат	48,123 98	63	73	4x10	16
11	Фрезерний верстат	23,374 5	40	42	4x6	14
12	Розточний верстат	9,46	40	19	4x1,5	8
13	Крани мостові	67,29	100	73	4x10	16

Вибір діаметру сталевих труб звичайного виконання

Діаметр розрахунковий внутрішній сталевих труб вибираємо за номограмою [8], а стандартні значення сталевих труб за табл. 14.26 [8].

Дані вибору сталевих труб представимо в таблиці.6.3.4.

Таблиця 6.3.4

Електроприймачі		ВВГнг		Сталева труба			
№	Назва	$d_{ж}$, мм	$n_{шт}$	D_B , мм	d_B , мм	d_3 , мм	d_y , мм
1	Вентилятор	23	1	23	32	41,8	32
2	Зварювальний агрегат	14		14	20	26,8	20
3	Токарний автомат	14		14	20	26,8	20
4	Зубофрезерний верстат	16		23	32	41,8	32
5	Кругшліфувальний верстат	8		8	15	20,8	15
6	Заточний верстат	8		8	15	20,8	15
7	Свердлильний верстат	8		8	15	20,8	15
8	Токарний верстат	14		14	20	26,8	20
9	Плоскошліфувальний верстат	10		10	15	20,8	15
10	Строгальний верстат	16		23	32	41,8	32
11	Фрезерний верстат	14		14	20	26,8	20
12	Розточний верстат	8		8	15	20,8	15
13	Крани мостові	16		23	32	41,8	32

Вибір апаратури розподільчої мережі

Силовий пункт - це закрита металева шафа, в якій встановлені пристрої захисту, запобіжники або вимикачі. Ці пристрої з'єднані між собою лініями. Електроживлення має затискачі для підключення кабелів або проводів [8].

Для прийняття та розподілу електроенергії в групі споживачів застосовують СП (енергетичні пункти). Використовуються СП типу СПА 77-8, з автоматичними вимикачами, розташованими на відповідних лініях при 160А.

Шафи розподілу потужності типу СПА 77-8 призначені для прийому та розподілу електричної енергії трифазного змінного струму напругою до 660 В і

частотою 50 Гц в системах з міцно заземленою нейтраллю, а також для захисту вихідних ліній від перевантаження та струмів короткого замикання в промислових установках. Шафи призначені для установки в промислових, житлових, комунальних і громадських приміщеннях з одностороннім обслуговуванням [8].

Шафи виконані в підвісному і "підлоговому" варіанті[8]. Технічні характеристики та умова вибору наведені в таблиці. 6.3.5.

Таблиця 6.3.5

№	Тип СП	К-сть приєднань	Ісп, А	Найменування споживачів	Запас
1	СПА 77-8	8X160	400	1,2,3,4,5	3
2	СПА 77-8	8X160	400	6,7,8,9,10,11,13,14	0
3	СПА 77-8	8X160	400	12,38,39,28,35	3
4	СПА 77-8	8X160	400	29,30,31,32,33,34, 36,37	0
5	СПА 77-8	8X160	400	15,16,17,18,19,20	2
6	СПА 77-8	8X160		21,22,23,24,25,26, 27,28	0

Вибір шинопроводу.

За результатами розрахунків, що приведені в таблиці.6.3.5 за довідниковими даними [10] обираємо перший шинопровід марки KLM-R (1).

$$I_{\text{ном}}^{A-S(1)} \geq I_{\text{розр}}^1 \text{ шин}$$

$$800 \text{ A} > 654 \text{ A}$$

За результатами розрахунків, що приведені в таблиці.2.7.7 за довідниковими даними [23] обираємо другий шинопровід марки KLM-R (2).

$$I_{\text{ном}}^{A-S(2)} \geq I_{\text{розр}}^2 \text{ шин}$$

$$800 \text{ A} > 692 \text{ A}$$

Шинопроводи серії KLM-R призначені для розподілу потужності в середньому діапазоні струмів в промислових, комерційних, житлових і службових будівлях.

Шини KLM-R пропонуються у двох варіантах: з алюмінієвими провідниками і з провідниками з міді для номінального навантаження 160А, 250А, 550А, 600А 800А [10].

Корпус виконаний з гарячої оцинкованої сталі і складається з двох стикованих С-профілів, забезпечує чудову жорсткість і механічну міцність [10].

Металевий корпус шинопровода захищає струмопровідні частини від механічних впливів, на відміну від не захищених кабельних систем [10].

Вибір автоматичного вимикача від СП до шинопровода.

Умови вибору автоматичних вимикачів:

$$U_{\text{ном}}^{\text{AB}} \geq U_{\text{ном}}^{\text{мер}};$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{розч}} \geq I_{\text{СП}}^{\Sigma};$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{AB}} \geq I_{\text{ном}}^{\text{розч}};$$

$$I_{\text{спрац}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}.$$

Розрахуємо АВ для СПА 77-8: таблиця 3.5[8]

Таблиця 6.3.8

СПА 77-8		
Дані АВ	Умова вибору	Розрахункові дані
380 В	=	380 В
100 А	>	68,25
160 А	>	100 А
630А	>	$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 426,56 \text{ А}$
А3710Б		

Результати розрахунків автоматичних вимикачів до інших силових пунктів наведено у таблиці. 6.3.9. таблиця 3.5[8]

Таблиця 6.3.9

№	Тип СП	$I_{\Sigma}^{СП}, A$	$I_{ном}^{розч}, A$	$I_{ном}^{AB}, A$	Тип АВ
1	СПА 77-8	310,62	320	400	A3730Б
2	СПА 77-8	250	320	400	A3730Б
3	СПА 77-8	276,35	320	400	A3730Б
4	СПА 77-8	213,12	320	400	A3730Б
5	СПА 77-8	68,25	125	160	A3710Б
6	СПА 77-8	229,62	320	400	A3730Б

Вибір кабельної лінії від шинопровода до СП.

Умови вибору:

$$I_{\text{доп}}^{\text{кл}} \geq \frac{I_{\text{ном}}^{\text{розч}} * K_3}{K_n},$$

де K_3 – кратність струму для провідника відносно струму апарата

захисту $K_3 = 1,0$

K_n – коефіцієнт прокладки $K_n = 1,0$

Вибір кабельної лінії від шинопровода KLM-R (1) до СП СПА 77-8 . [4]

$$38A > \frac{100 * 1}{1} A$$

Отже, від шинопровода до СП СПА 77-8 вибрали кабельну лінію АВВГ-4х50. [4]

Результати вибору кабельних ліній від шинопровода KLM-R (1) до силових пунктів наведено у таблиці. 6.3.10. [8]

Таблиця 6.3.10

№	Тип СП	$I_{ном}^{розч}, A$	$I_{доп}^{\text{кл}}, A$	Тип КЛ
1	СПА 77-8	320	337	АВВГ 4х240
3	СПА 77-8	320	337	АВВГ 4х240
5	СПА 77-8	125	132	АВВГ 4х50

Результати вибору кабельних ліній від шинопровода КЛМ-Р (2) до силових пунктів наведено у таблиці.6.3.11. [8]

Таблиця 6.3.11

№	Тип СП	$I_{\text{ном}}^{\text{розч}}$, А	$I_{\text{доп}}^{\text{КЛ}}$, А	Тип КЛ
2	СПА 77-8	320	337	АВВГ 4х240
4	СПА 77-8	320	337	АВВГ 4х240
6	СПА 77-8	320	337	АВВГ 4х240

Вибір автоматичних вимикачів від КТП до шинопроводу.

Умови вибору автоматичних вимикачів:

$$U_{\text{ном}}^{\text{АВ}} \geq U_{\text{ном}}^{\text{мер}},$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{розч}} \geq I_{\text{розр}}^{\text{шин}};$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{АВ}} \geq I_{\text{ном}}^{\text{розч}};$$

$$I_{\text{спрац}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}.$$

Вибір автоматичних вимикачів від КТП до шинопроводів КЛМ-Р (1) та КЛМ-Р (2) наведено у таблиці. 6.3.12. та 6.3.13. [8]

Таблиця 6.3.12

BBI SYSTEM (1)		
Дані АВ	Умова вибору	Розрахункові дані
380 В	=	380 В
800 А	>	654
800 А	>	800 А
35000 А	>	$1,25 \cdot 654 = 817,5 \text{ А}$
ВА 88-40		

Таблиця 6.3.13

BBI SYSTEM (2)		
Дані АВ	Умова вибору	Розрахункові дані
380 В	=	380 В
800 А	>	692
800 А	>	800 А
35000 А	>	$1,25 \cdot 692 = 865 \text{ А}$
ВА 88-40		

Вибір кабеля від КТП до шинопровода.

Умови вибору:

$$I_{\text{доп}}^{\text{кл}} \geq \frac{I_{\text{ном}}^{\text{розч}} \cdot K_3}{K_{\text{п}}},$$

де K_3 – кратність струму для провідника відносно струму апарата захисту $K_3 = 1,0$

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт прокладки $K_{\text{п}} = 0,8$

Вибір кабельної лінії від шин КТП до шинопровода KLM-R (1).

$$1095 \text{ A} > \frac{800 \cdot 1}{0,8} \text{ A}$$

Отже від шин КТП до шинопровода KLM-R (1) вибираємо кабельну лінію ВВГнг 2х4х250.[29]

Вибір кабельної лінії від шин КТП до шинопровода KLM-R (2).

$$1095 \text{ A} > \frac{800 \cdot 1}{0,8} \text{ A}$$

Отже від шин КТП до шинопровода KLM-R (2) вибираємо кабельну лінію ВВГнг 2х4х250. [29]

Результати вибору кабельних ліній наведено у таблиці. 6.3.14.

Таблиця 6.3.14

Шинопровід	$I_{\text{ном}}^{\text{розч}}$, А	$I_{\text{доп}}^{\text{кл}}$, А	Тип КЛ
KLM-R (1)	800	1095	ВВГнг 2х4х250
KLM-R (2)	800	1095	ВВГнг 2х4х250

Вибір магнітного пускача

Стартери призначені для віддаленого керування (пуск, стоп, реверс) трифазних асинхронних двигунів. У варіанті з тепловим реле, стартери забезпечують двигуни від тривалих перевантажень, та від струмів, що виникають при поломці однієї з фаз. Реверсивні стартери використовуються для ввімкнення та вимикання інших типів трифазних навантажень. У стартери

вбудовані теплові реле, які забезпечують захист від перевантажувальних струмів.[8]

Умови вибору магнітного пускача:

$$U_{\text{ном}}^{\text{п}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{п}} \geq I_{\text{р}}$$

$$P_{\text{підкл}} \geq P_{\text{ном1}}$$

Для прикладу зробимо розрахунок магнітного пускача для розточного верстату [8]

$$U_{\text{ном}}^{\text{п}} = 380 \text{ В} \geq U_{\text{мережі}} = 380 \text{ В}$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{п}} = 40 \text{ А} \geq I_{\text{р}}^{\text{р-т в}} = 31,62 \text{ А}$$

$$P_{\text{підкл}} = 18,5 \text{ кВт} \geq P_{\text{ном1 РП}} = 11,5 \text{ кВт}$$

Обрали магнітний пускач серії ПМЛ-3620 з вмонтованим тепловим реле.

Вибір магнітних пускачів для обладнання наведено у таблиці. 6.3.17.

Таблиця 6.3.17

№	Назва	n	P _{ном} , кВт	I _р , А	P _{підкл} ,кВт	I _{ном} , А	Тип пускача
1	Вент	2	52	109,3506	75	160	ПМЛ-6100
2	Звар. авт	3	12	30,64221	18,5	40	ПМЛ-3210
3	Зуб-фр.в	3	8	21,99953	11	25	ПМЛ-2501
4	К-ш.в	3	18	49,49895	30	63	ПМЛ-4100
5	Зат.в	3	5	17,87462	11	25	ПМЛ-2501
6	Свер.в	3	2,5	6,874854	7,5	16	ПМЛ-1631
7	Ток.в	2	3,2	11,43976	18,5	40	ПМЛ-1720
8	П-шл.в	6	9	24,74948	11	25	ПМЛ-2501
9	Стр.в	2	10,5	28,87439	11	25	ПМЛ-2501
10	Фрез.в	3	17,5	48,12398	30	63	ПМЛ-4100
11	Розт.в	3	8,5	23,3745	11	25	ПМЛ-2501
12	Кр-м.	3	11,5	31,62433	18,5	40	ПМЛ-3210

7. Розрахунок струмів короткого замикань та вибір високовольтного та низьковольтного електрообладнання

Коротке замикання означає будь-яке несподіване нормальне з'єднання двох точок електричної ланцюга. Короткі замикання є найбільш частими та важкими аваріями в енергосистемі [8]. Причинами короткого замикання є механічні пошкодження ізоляції, її поломка від перенапруги і старіння, розриви, ескізи і перерізи проводів, повітряні лінії, помилкові дії персоналу. Внаслідок короткого замикання в ланцюзі виникають струми, небезпечні для елементів схеми, які можуть їх відключити [8]. Тому для забезпечення надійності цих мереж, електрообладнання пристроїв релейного захисту, розрахунок струмів короткого замикання. Розташування точок короткого замикання вибирається таким чином, що під час короткого замикання електрообладнання він перевіряється і провідники знаходяться в найбільш несприятливих умовах.

Механічний складальний цех верстатобудівного заводу проектується електроенергією з системи [8]. Після цього, для базової потужності, для обчислення струмів короткого замикання приймають потужність серії, кратної 10 (тобто 10, 100, 1000, 10000 і т.д.).

Схема для визначення струмів короткого замикання показана на кресленні 7.1.

Розрахунок струмів короткого замикання в точці K1 на вході трансформаторної підстанції низької напруги. Схема заміщення показана на кресленні 7.1

Визначити опір елементів короткого ланцюга:

Трансформатор (T1):

$\Delta P_{\text{з.}}$ - потужність k.z. трансформатор, кВт,

$S_{\text{r.tr}}$ - номінальна потужність трансформатора, кВ А

1. Наведемо опір високовольтної системи електроживлення напрузі 0,4 кВ: $X_{\text{с}} = 0$

2. Визначити опорний цех трансформатора:

$$r_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{\text{HOM}}^2}{S_{\text{HOM}}^2} = \frac{2700 \cdot 0,38}{160^2} = 0,04 \text{ OM} = 40 \text{ mOM.}$$

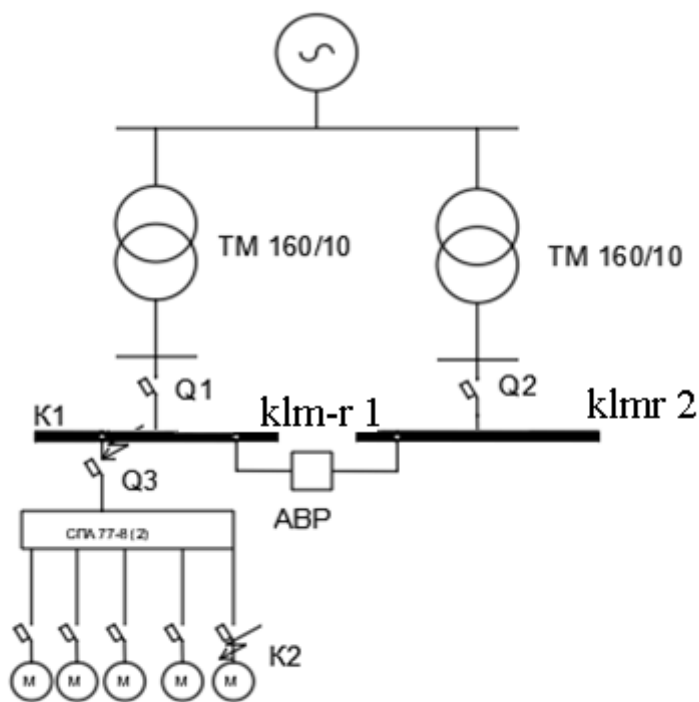
$$x_T = \sqrt{(10 * U_{K3})^2 - \left(\frac{\Delta P_K}{S_{HOM}}\right)^2} \cdot \frac{U_H^2}{S_{HOM}} = \sqrt{(10 * 5,5)^2 - \left(\frac{2700}{160}\right)^2} \cdot \frac{0,38^2}{160} = 0,047 \text{ OM} = 47 \text{ MOM}$$

$$Z_T = \frac{10 \cdot U_{K3} \cdot U_{HOM}^2}{S_{HOM}} = \frac{10 \cdot 5,5 \cdot 0,38^2}{160} = 0,048 \text{ OM} = 48 \text{ mOM}$$

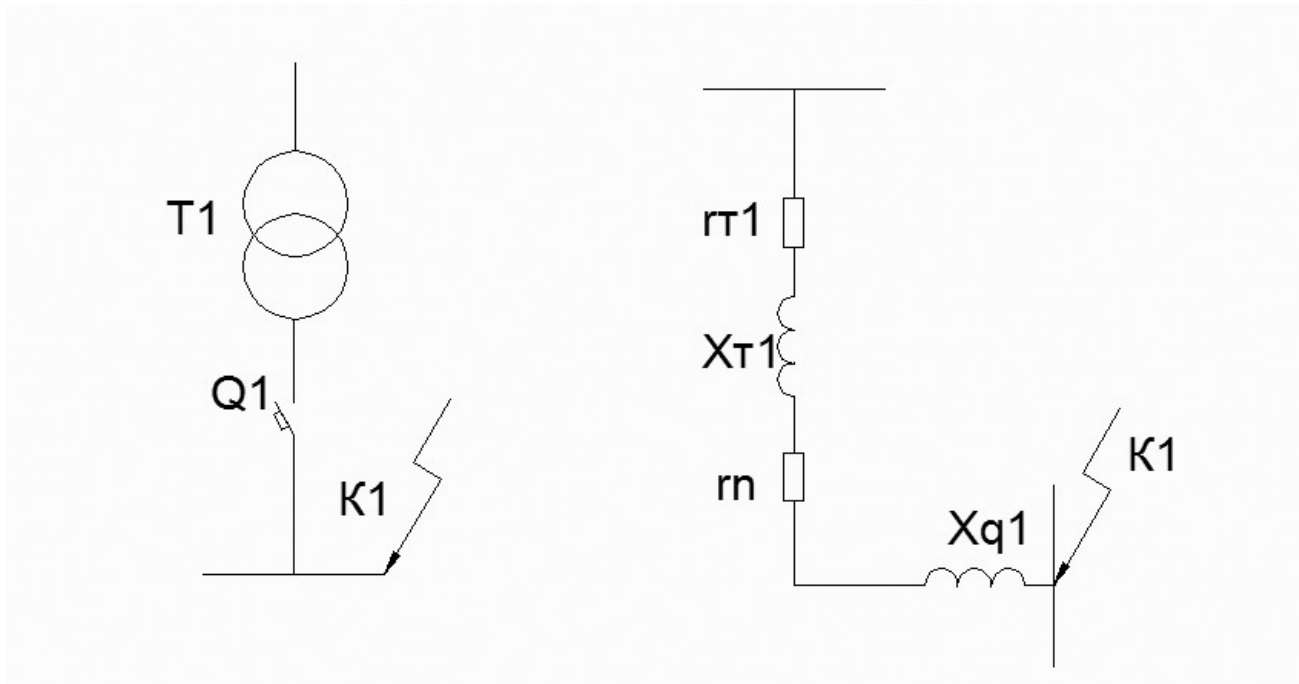
Опір автоматичного вимикача складається з опору розчіплювача і опору перехідного контакту. $X_{тс}[11]$

$$r_a = 1,1 \text{ M0M}$$

$$X_a = 0,5 \text{ МОМ}$$



Креслення.7.1 схема для визначення короткого замикання.



Креслення.7.2 Розрахункова схема і схема заміщення для визначення струмів КЗ в точці К1

Сумарний опір до КЗ в точці К1 [8]

$$r_{k1} = r_T + r_a + r_{Tc} + r_{K3} = 40 + 1,1 + 0 + 15 = 56,1 \text{ мОм}$$

$$x_{k1} = x_T + x_a + x_{Tc} = 47 + 0,5 + 0 = 47,5 \text{ мОм}$$

$$Z_{k1} = \sqrt{r_{k1}^2 + x_{k1}^2} = \sqrt{56,1^2 + 47,5^2} = 73,5 \text{ мОм}$$

Точка К1

Трифазний струм к.з.

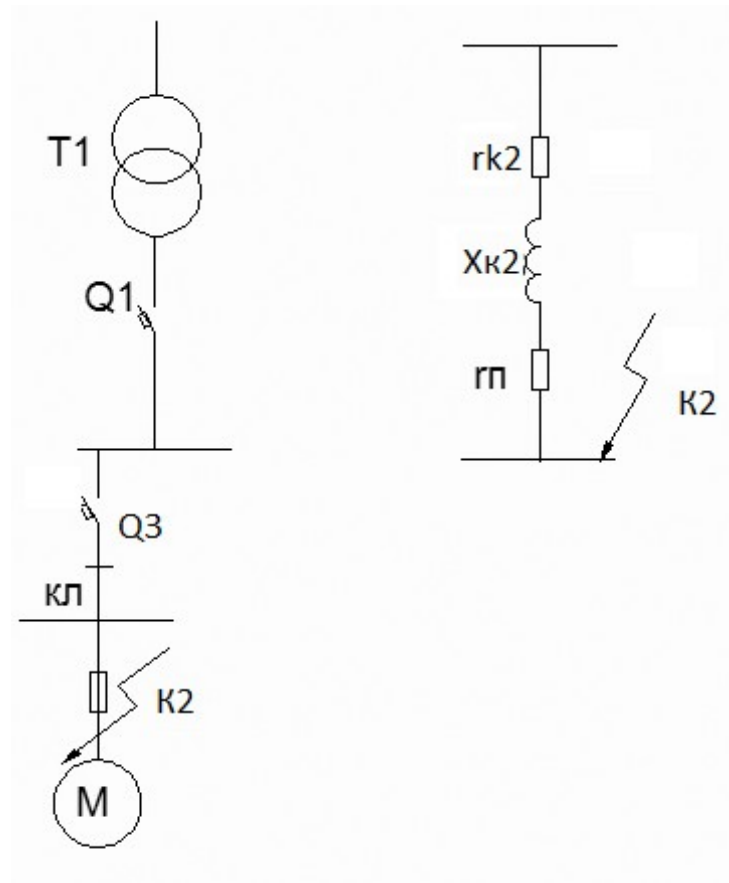
$$I_k^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 73,5} = 2,985 \text{ кА}$$

Ударний струм к.з.

$$T_a = \frac{x_k}{\pi \cdot r_k} = \frac{47,5}{314 \cdot 56,1} = 0,0027$$

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0027}} = 1,025$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,025 \cdot 2,985 = 4,33 \text{ кА}$$



Креслення.7.3. Розрахункова та схема заміщення для визначення струма КЗ в точці К2

Точка К2

Як розрахункове відгалуження від СП до ЕП вибираємо відгалуження до якнайменш віддаленого ЕП ($\kappa_{ст}=3$; $a=0,8$).

Перехідний опір:

$$r_{\pi} = \frac{2,5 \cdot \sqrt{S_{н.т}} \cdot \kappa_{ст}^3 + 320 \cdot a}{S_{н.тр}} = \frac{2,5 \cdot \sqrt{160} \cdot 3^3 + 320 \cdot 0,8}{160} = 6,935 \text{ мОм.}$$

$$r_{к2} = r_{к1} + r_{\pi} = 56,1 + 6,936 = 63,035 \text{ мОм}$$

$$x_{к2} = x_{к1} = 47,5 \text{ мОм}$$

Повний опір

$$Z_{к2} = \sqrt{r_{к2}^2 + x_{к2}^2} = \sqrt{63,036^2 + 47,5^2} = 78,94 \text{ мОм}$$

Трифазний струм к.з. в точці КЗ:

$$I_k^{(2)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 78,93} = 2,79 \text{ кА}$$

Ударний струм кз

$$T_a = \frac{x_{K2}}{\pi \cdot r_{K2}} = \frac{47,5}{314 \cdot 63,036} = 0.0024$$

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.0024}} = 1.016$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,016 \cdot 2,78 = 3,994 \text{ кА}$$

Струми в точках покажемо в таблиці. 7.1.

Таблиця 7.1

Точка	r_k , мОм	x_k , мОм	z_k , мОм	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА
К1	56.1	45.5	73.5	2.985	4.33
К2	63,036	47,5	78,93	2,78	3,994

Висновок:

Виходячи з розрахунків бачимо що струми кз значно відрізняються від струмі роботі в нормальному режимі, отже використання релейного захисту необхідне.

7.1 Вибір високовольтного та низьковольтного електрообладнання

Комплектні трансформаторні підстанції зовнішньої установки КТП-160/10 / 0,4 В1 призначені для живлення в установках трифазного змінного струму з напругою 10 / 0,4 кВ і частотою 50 Гц. Вони використовуються в системах електропостачання підприємств в районах з помірним кліматом (від -40 ° С до +40 ° С) [8].

Підстанція включає:

1) Пристрій на стороні вищої напруги:

- Шафа для глухих входів (тип ВВ-1 У1 - ящик для кабельного входу);
- Шафа з перемикачем навантаження VNPR з важелем-пружинним приводом (тип ШВВ-2Р У1)

2) Силовий трансформатор 2 х ТМ-160.

3) розподільчий пристрій на низьковольтній стороні розподільного пристрою низької напруги, що складається з низьковольтних вхідних шаф, шаф вихідної лінії та секційного шафи (для КТП). У низьковольтних розподільних пристроях встановлені вимикачі вихідних ліній стаціонарного або висувного виконання [8].

Підстанції постачаються в одній і двох трансформаторних варіантах з заземленою і ізолюваною нейтраллю на стороні ЛВ, однорядні. Підстанції поставляються в 3-4 шафах в оригінальній упаковці, обладнані приєднувальними пристроями, шинами, шинами. Для захисту обладнання від зовнішнього середовища низьковольтні розподільні пристрої виконані в захищеній конструкції (зовнішні двері, бічні пластини, дахи і днища виконані гумовим ущільненням). Для запобігання впливу сонячного випромінювання в RUNN передбачена низька покрівля з природною вентиляцією [8].

Основні параметри представлені в таблиці. 7.2

Таблиця 7.2

Найменування	Параметри
Потужність КТП	320
Номінальна напруга на стороні ВН, кВ	10
Номінальна напруга на стороні НН, кВ	0,4
Номінальний струм збірних шин, кА - УВН - РУНН	0,4
	0,58
Струм електродинамічної стійкості, кА - УВН - РУНН	51
	12,5
Струм термічної стійкості УВН, кА - УВН - РУНН	20
	5

8. Релейний захист та автоматика (РЗА).

Загальні вимоги до релейного захисту в мережах 10/0,4 кВ

До релейного захисту висувають наступні вимоги:

- Селективність (вибірковість) – відключення тільки тієї мінімальної частини або елемента установки, що викликала порушення режиму;
- Чутливість – швидка реакція на визначені, заздалегідь задані відхилення від нормальних режимів, іноді самі незначні;
- Надійність – безвідмовна робота у випадку від нормального режиму.

Надійність захисту забезпечується як правильним вибором схеми та пристроїв [30], так і правильним функціонуванням, забезпечуючи періодичні профілактичні перевірки та огляди.

Необхідна швидкість реле визначається проектом залежно від характеру технологічного процесу. Іноді, щоб мінімізувати пошкодження від пошкоджень, захист реле повинен забезпечити повне відключення протягом сотих часток секунди [30].

За своїм призначенням реле поділяються на реле управління та реле захисту. Реле управління, як правило, включаються безпосередньо в електричні схеми, і вони спрацьовують через відхилення від процесу або зміни в роботі механізмів [30]. Захисні реле включаються в електричні схеми через вимірювальні трансформатори і лише іноді безпосередньо. Вони працюють в неформальному або аварійному режимах роботи установки.

Для живлення релейного захисту та автоматики, управління вимикачами, сигналізації тривоги та попередження ми вибираємо в якості джерела живлення постійний струм на номінальну напругу 220 В [30], вони не були порушені роботою інших [30].

Усі споживачі постійного струму діляться за ступенями їх відповідності на кілька категорій. Найбільш відповідальними серед споживачів є схеми

робочого струму релейного захисту, автоматики та управління автоматичним вимикачем [30].

При виборі типів релейного захисту (РЗ) слід керуватися тим фактом, що прилади РН повинні забезпечувати автоматичне відключення захищеного елемента в разі пошкодження, що є безпосередньою безпекою для нього або для всієї установки, а також у випадок станів, що загрожують пошкодженням (різке зниження рівня масла в трансформаторі) або порушення нормального режиму роботи електроустановки [30].

Якщо порушення нормального режиму роботи або пошкодження не є безпосередньою безпекою для електроустановки, пристрої релейного захисту повинні подавати сигнал тривоги, що вказує на появу цих режимів.

При виборі джерел робочого струму слід враховувати, що постійний робочий струм від акумуляторів застосовується на високих підстанціях при наявності потужних масляних вимикачів, а також коли батареї потрібні на додаток до робочих ланцюгів для інших потреби (наприклад, заводська ТЕЦ та ін.) [30].

Частіше використовується змінний робочий струм. Як джерела змінного робочого струму використовуються вимірювальні трансформатори струму, напруги та власних потреб. Трансформатори струму можуть бути надійними джерелами живлення для захисту від коротких замикань, що супроводжуються значними струмами несправностей, і непридатними для живлення робочих ланцюгів в робочих режимах, а також однофазних замикань на землю. З іншого боку, трансформатори напруги та власні трансформатори не підходять для живлення захистів від короткого замикання і можуть використовуватися для управління в звичайних режимах, а також для захисту від пошкоджень, що не супроводжуються значним зниженням напруги перевантаження, короткою витокотом трансформатора контури, нижчий рівень масла [30].

Схеми з попередньо зарядженими конденсаторами використовуються для живлення захисних ланцюгів за відсутності напруги та струму в силових

ланцюгах (наприклад, APV). Конденсатори заряджаються через зарядний пристрій від трансформаторів напруги або за потребами власника. Ці пристрої підходять для вимкнення вимикачів практично з будь-яким приводом [30]. Основним їх недоліком є імпульс дії, що унеможлиблює їх використання для живлення елементів, що працюють із значним уповільненням. В основному вони використовуються для вимкнення вимикачів та сепараторів [30].

Випрямні джерела живлення використовуються як джерело випрямляючого робочого струму - це пристрої, які підключають струм, напругу або власні потреби до трансформаторів. Вони випрямляють струм і забезпечують постійну напругу, що використовується для живлення робочих ланцюгів. Є випрямлячі, джерела живлення, напруга і комбіновані. Випрямлені джерела змінного струму можуть використовуватися для захисту пристроїв, що реагують на будь-який тип пошкодження та ненормальної роботи. Недоліками таких агрегатів є недостатня потужність для живлення котушок електромагнітних приводів та одночасне відключення декількох вимикачів, а також неможливість їх використання при відключенні джерела живлення [30].

Вибираючи схему захисту реле, необхідно керуватися стандартними рішеннями схеми. Однак слід пам'ятати про особливості певної РН, що накладаються комутаційним обладнанням, що використовується [30], фактичним джерелом робочого струму, відстанню підстанції від джерела живлення тощо. Спосіб підбору струмів спрацьовування захисту визначається типом захисту та вимогами, що стосуються його чутливості та надійності. Наприклад, для роботи він вибирається з умов відстроювання від поглинань струму намагнічування при включенні трансформатора і дисбалансу при зовнішніх коротких замиканнях. Струм відключення максимального струмового захисту регулюється з урахуванням максимальних струмів навантаження.

Витримка часу максимального струмового захисту вибирається з умови узгодження із захистом попередньої ділянки. При узгодженні із захистом, що

має незалежну витримку часу, ступінь часу обирається 0,35...0,6 с при узгодженні із захистом, що має залежну характеристику, - 0,6 ...1 с. При узгодженні зі швидкодіючим захистом ступінь часу обирається 0,35...0,4 с.

Загальні принципи побудови диференціального струмового захисту силових трансформаторів [30] Поздовжній диференціальний захист струму - основний високошвидкісний захист трансформаторів з ВН обмоткою 3 кВ і вище. Відповідно до правил електроустановок рекомендується застосовувати диференціальний захист на силових трансформаторах однієї потужності та на паралельних силових трансформаторах. Диференціальний захист також встановлений на силових трансформаторах. якщо простіший захист (відключення струму, максимальний струмовий захист) не відповідає умовам чутливості або має більший час (більше 0,5 с).

Розглянемо більш докладно релейний захист та автоматизацію понижуючого трансформатора. Знижувальний трансформатор повинен мати максимальний струмовий захист від перенапруг, що відповідає струму та часу наступним елементам схеми [30]. На додаток до максимального струмового захисту від перенапруг силовий трансформатор повинен мати газовий захист залежно від потужності. Якщо персонал чергує на підстанції або передає попереджувальні та тривожні сигнали до будь-якої наступної точки, тоді захистить трансформатор від перевантаження, який діє на сигнал із затримкою, більшою за тимчасову затримку інших засобів захисту на ділянці зазвичай 8... 10 с.

8.1. Вибір автоматичних вимикачів.

Відповідно до ПУЕ, захисні пристрої повинні відповідати максимальному значенню струму короткого замикання на початку захищеної зони електричної мережі з точки зору їх комутаційної здатності [30]. Встановлення захисних пристроїв дозволяється, якщо найближчий пристрій,

розташований у напрямку електроживлення, забезпечує миттєве відключення струму короткого замикання.

Номінальні струми автоматичних вимикачів слід вибирати відповідно до номінальних струмів ділянок мережі або відповідно до номінальних струмів електричних приймачів. У той же час захисні пристрої не повинні вимикати електроустановки під час короточасних перевантажень (пускових струмів, пікових струмів тощо).

8.2. РЗА трансформаторів цехових ТП

Максимальний струмовий захист

Максимальний струмовий захист (МСЗ) - найпростіший і надійний захист, що широко застосовується для захисту трансформаторів.

Визначаємо номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9.23.$$

Трансформатори струму прийняті з коефіцієнтом трансформації 75/5, схема захисту неповна зірка; $K_{\text{СХ}}=1$.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{K_{\text{Н}} \cdot (I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{СЗП}} + I_{\text{ном}})}{K_{\text{П}}} = \frac{1,2 \cdot (9,23 \cdot 1,5 + 9,23)}{0,85} = 32.58 \text{ A},$$

де $K_{\text{Н}}=1,2$ - коефіцієнт надійності;

$K_{\text{СЗП}}=1,5$ - коефіцієнт самозапуску;

$K_{\text{П}}=0,85$ - коефіцієнт повернення реле.

Чутливість захисту при короткому замиканні на своїй ділянці:

$$5875 \cdot (0,4/10) = 235 \text{ A}$$

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_{\text{k min}}}{I_{\text{СЗ}}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 235}{32.58} = 6.25 > 1,5 ,$$

де $I_{\text{k min}}$ - мінімально ймовірне значення струму при короткому замиканні на стороні вищої напруги трансформатора.

Уставка реле струму:

$$I_{CP} = \frac{I_{C3} \cdot K_{CK}}{K_{T.TC}} = \frac{32.58 \cdot 1}{15} = 2.172 \text{ A}$$

Обираємо реле типу РТ-40/20 з паралельним з'єднанням котушок.

Установка часу захисту (реле):

$$t_{cz1} = t_{max} + \Delta t.$$

Обираємо реле часу типу ЕВ-122 з напругою 10 В постійного струму.

$$\Delta t = 0,12 + 0,12 + 0,08 + 0,1 = 0,42 \approx 0,4 \text{ с},$$

де 0,12- похибка двох реле ЕВ-122;

0,08 - час до згасання дуги на контактах вимикача;

0,1- запас часу.

Тоді

$$t_{cz1} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с};$$

$$t_{cz2} = 1,6 + 0,4 = 2 \text{ с}.$$

Розрахунок миттєвого діючого струмового захисту (відсічки)

Відсічка – найбільш простий з диференційних захистів трансформатора.

Вона виконується за допомогою максимальних реле струму типу РТМ або РТ-40. При цьому відсічка захисту від піку струму намагнічування здійснюється за допомогою невеликої витримки. Справа в тому, що пік миттєвого значення струму намагнічування швидко знижується від початкового рівня $(6...8)I_{ном}$ до $(2...3)I_{ном}$ усього за 0,04...0,06 с. приблизно такий самий час потрібен для спрацювання реле прямої дії типу РТМ. Реле побічної дії типу РТ-40 спрацьовує швидше, і щоб збільшити час спрацювання його доповнюють проміжним реле. В результаті приймається приблизно з запасом 1,5 раз

[30]. Максимальний номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{MAX} = \frac{1,4S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1,4 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 12.93 \text{ A}$$

$$I_{C3} = 4,5 \cdot I_{MAX} = 4,5 \cdot 12.93 = 58.185 \text{ A}$$

$$1,2 \cdot 5878 \cdot (0,4/10) = 1,2 \cdot 235 = 282 \text{ A}$$

Вибір такого великого струму I_{C3} , як завжди, забезпечує також відсічку й від режиму зовнішнього короткого замикання.

Перевіримо коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{k \min}}{I_{C3}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 282}{58.185} = 4.197 > 2 ,$$

Знаходимо вторинний струм:

$$I_{\text{CP}} = \frac{I_{C3} \cdot K_{\text{CX}}}{K_{\text{T,TC}}} = \frac{58.185 \cdot 1}{15} = 3.879 \text{ A}$$

Так як, $K_{\text{ч}} > 2$ диференційна струмова відсічка прийнята.

Захист від перевантажень

Струм спрацювання сигналізації:

$$I_{\text{CC}} = \frac{K_{\text{Від}} \cdot K_{\text{СЗП}}}{K_{\text{П}}} \cdot I_{\text{МАХ}} = \frac{1.05 \cdot 1.35}{0.85} \cdot 12.93 = 21.564 \text{ A}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{CP}} = \frac{I_{\text{CC}} \cdot K_{\text{CX}}}{K_{\text{T,TC}}} = \frac{21.564 \cdot 1}{15} = 1.44 \text{ A}$$

Час спрацювання сигналізації:

$$t_{\text{cc}} = t_{\text{сз}}^{\text{МСЗ}} + \Delta t = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ с,}$$

де $\Delta t = 0,4 \text{ с}$ - ступінь селективності.

Таблиця 8.1

Струм спрацювання		Коефіцієнт	Час спрацювання захисту
захисту	реле		
I_{C3}	I_{CP}	$K_{\text{ч}}$	t_{C3}
A	A	-	с
Відсічка			
32.58	2.172	6.35	-
Максимальний струмовий захист (МСЗ)			
58.185	3.879	4.197	2
Захист від перевантажень (з дією на сигнал)			
21.564	1.44	-	2,4

9. ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

9.1 Вибір комутаційної апаратури

Високовольтні комутаційні пристрої вибираються відповідно до номінальних параметрів і перевіряються на комутаційну здатність, динамічну та теплову стійкість до аварійних струмів - режим короткого замикання. Метод вибору однаковий для всіх комутаційних пристроїв, але найбільш повно його можна розглянути на прикладі вибору високовольтних вимикачів. Відповідно до ГОСТ 687-78 високовольтні вимикачі вибирають за такими умовами:

Таблиця 9.1

№ п/п	Параметри вимикача	Умова вибору	Мережа
1	$U_{\text{ном}}$	$\geq$	$U_{\text{ном.мер}}$
2	$I_{\text{ном}}$	$\geq$	$I_{\text{макс}}$
3	$I_{\text{н.р}}$	$\geq$	$I_{\text{птр}}$
4	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.р}} \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \right)$	$\geq$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{птр}} + i_{\text{атр}}$
5	$i_{\text{дин}}$	$\geq$	$i_{\text{уд}}$
6	$I_{\text{дин}}$	$\geq$	$I_{\text{по}}$
7	$I_{\tau}^2 \cdot \tau$	$\geq$	$B_{\text{к}}$

У лівій частині рівнянь указані параметри вимикачів, що наведені довідниках, у правій – дані мережі та розрахункові дані по струмах максимального режиму та режиму короткого замикання.

Умови 1,2 відповідають вибору високовольтного вимикача за номінальними параметрами з номінальною напругою мережі та робочим струмом необмежено тривалий час максимального режиму. Умова 3 (для розмикання симетричної складової короткого замикання) і умова 4 (для розмикання повного струму з урахуванням апериодичної частини струму короткого замикання) відповідають випробуванню перемикача на комутаційну здатність при розмиканні ланцюга:

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{птр}} ;$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{н.р} \left(1 + \frac{\beta_n}{100} \right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{птр} + i_{атр},$$

де $I_{н.р}$ - номінальний струм розриву вимикача; $I_{птр}$ та $i_{атр}$ - відповідно періодична та аперіодична складові струму короткого замикання в момент початку різниці контактів вимикача, тобто в момент розмикання; β_n - нормований відсоток аперіодичної складової струму короткого замикання в струмі, що відкриває вимикач:

$$\tau_p = \tau_{р.з.мін} + \tau_{о.р}.$$

де $\tau_{р.з.мін}$ найкоротший проміжок часу, протягом якого спрацює релейний захист, приймається рівним 0,01 с; $\tau_{о.р}$ особистий час відключення вимикача, тобто проміжок часу з моменту подачі команди релейним захистом на відключення схеми до моменту початку розбіжності основних контактів вимикача, с; $\tau_{о.р}$ - залежить від типу вимикача та типу приводу.

Умови

$$i_{дин} \geq i_{уд};$$

$$I_{дин} \geq I_{по},$$

де $i_{дин}$ - максимальне миттєве значення сумарного струму електродинамічної стійкості, який проходить через вимикач і не пошкоджує його, кА; $I_{дин}$ - ефективне значення сумарного струму електродинамічної стійкості, кА; $I_{по}$ - струм у початковий момент режиму короткого замикання - поточне значення періодичної складової струму короткого замикання, кА.

Перевірці вимикача на термічну стійкість до струмів короткого замикання відповідає умова 7:

$$I_{\tau} \cdot \tau \geq B_k.$$

де $I_{\tau} \cdot \tau$ - струм термічної стійкості, кА; за час τ , с; B_k - розрахункове значення теплового імпульсу, кА²с.

Обираємо вимикач в приєднанні ВН трансформатора ГРП (таблиці.9.2)

Таблиця 9.2

Номер умови вибору	Параметри вимикача ВГБ-35-12,5	Умова вибору	Розрахункові параметри приєднання
1	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$=$	$U_{ном.мер} = 35 \text{ кВ}$
2	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$\geq$	$I_{макс} = 142,3 \text{ А}$
3	$I_{н.р} = 12,5 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{птр} = 1,35 \text{ А}$
4	$\sqrt{2} \cdot I_{н.р} \left(1 + \frac{\beta_n}{100} \right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 12,5 \left(1 + \frac{35}{100} \right) = 23,87 \text{ кА}$	$\geq$	$\sqrt{2} \cdot I_{птр} + i_{атр} =$ $= \sqrt{2} \cdot 1,35 + 0,503 = 2,41 \text{ кА}$
5	$i_{дин} = 64 \text{ кА}$	$\geq$	$i_{уд} = 3,44 \text{ кА}$
6	$I_{дин} = 12,5 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{по} = 1,35 \text{ кА}$
7	$I_t^2 * \tau = 12,5^2 * 3 = 468,75 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$\geq$	$B_k = 0,63 \text{ кА}^2 \text{с}$

Обираємо вимикач в приєднанні НН трансформатора ГРП (таблиці.9.3)

Таблиця 9.3

Номер умови вибору	Параметри вимикача ВРС-10-20/630 У2	Умова вибору	Розрахункові параметри приєднання
1	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$=$	$U_{ном.мер} = 10 \text{ кВ}$
2	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$\geq$	$I_{макс} = 129,33 \text{ А}$
3	$I_{н.р} = 20 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{птр} = 2,232 \text{ А}$
4	$\sqrt{2} \cdot I_{н.р} \left(1 + \frac{\beta_n}{100} \right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 20 \left(1 + \frac{35}{100} \right) = 38,18 \text{ кА}$	$\geq$	$\sqrt{2} \cdot I_{птр} + i_{атр} =$ $= \sqrt{2} \cdot 2,232 + 2,312 = 5,47 \text{ кА}$
5	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$	$\geq$	$i_{уд} = 6,39 \text{ кА}$
6	$I_{дин} = 31,5 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{по} = 2,232 \text{ кА}$
7	$I_t^2 * \tau = 31,5^2 * 3 = 2976,75 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$\geq$	$B_k = 1,86 \text{ кА}^2 \text{с}$

В приєднанні трансформаторів всіх РП, ТП та КЛ обираємо вимикачі типу ВРС-10-20/630У2. На всіх ТП встановлюємо вимикачі навантаження типу ВНПу – 10/400-10зУ3 та запобіжники типу ПКТ104-10-100-31,5У3.

Таблиця 9.4

Номер умови вибору	Параметри запобіжника ПКТ104-10-160-31,5У3 в приєднанні трансформатора на ТП1	Умова вибору	Розрахункові параметри приєднання
1	$U_{\text{ном.зап}} = 10 \text{ кВ}$	=	$U_{\text{ном.мер}} = 10 \text{ кВ}$
2	$I_{\text{ном.вст}} = 160 \text{ А}$	$\geq$	$I_{\text{макс}} = 129,33 \text{ А}$
3	$I_{\text{ном.зап}} = 160 \text{ кА}$	=	$I_{\text{ном.вст}} = 160 \text{ кА}$
4	$I_{\text{відкл}} = 31,5 \text{ кА}$	$\geq$	$I_{\text{по}} = 2,232 \text{ кА}$

Вибір роз'єднувача при підключенні трансформатора ГПП буде здійснюватися у вигляді таблиці (таблиці. 9.5). Роз'єднувач вибирається в нормальних робочих умовах протягом тривалого періоду часу і перевіряється на його здатність протистояти струмам короткого замикання, тобто роз'єднувач повинен бути термічно динамічно стійким до струмів короткого замикання. Роз'єднувач не перевіряється на струми короткого замикання.

Таблиця 9.5

Номер умови вибору	Параметри роз'єднувача РНДЗ.2- 35/1000 УХЛ1 в приєднанні трансформатора ГПП 110 кВ	Умова вибору	Мережа
1	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	=	$U_{\text{ном.мер.}} = 35 \text{ кВ}$
2	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$>$	$I_{\text{м}} = 142,3 \text{ А}$
3	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$>$	$i_{\text{уд}} = 3,44 \text{ кА}$
4	$I_{\text{дин}} = i_{\text{дин}}/2,55 = 80/2,55 = 31,37 \text{ кА}$	$>$	$I_{\text{по}} = 1,35 \text{ кА}$
5	$I_{\text{т}}^2 \cdot \tau = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$>$	$V_{\text{к}} = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

9.2.Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Трансформатори струму є однофазними електричними пристроями і вибираються у двофазній або трифазній конструкції для кожного підключення всіх розподільних пристроїв системи електропостачання. Трансформатори струму з'єднані за схемою неповної і повної зірки. У мережах з ізольованою

нейтральною точкою, тобто в мережах 10 кВ, використовується неповна схема зірок.

Ми виберемо трансформатори струму для монтажу на кабельних лініях 10 кВ, що ведуть до трансформаторів ТР1. У з'єднаннях кабельної лінії повинні бути встановлені такі вимірювальні прилади: амперметр, розрахункові лічильники активної та реактивної енергії. Схема підключення пристроїв до трансформаторів струму показана на рис.9.1

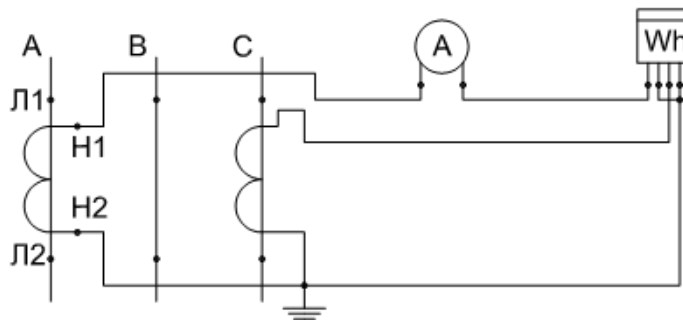


Рис.9.1. Схема приєднання приладів до трансформатора струму

Для подальших розрахунків визначаємо навантаження, яке створюється обмотками вимірювальних приладів (таблиця 9.6).

Таблиця 9.6

Прилад	Тип приладу	Навантаження МВ·А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Э-351	0,5	-	-
Лічильник енергії	НІК 2303	2,5	-	2,5
Разом	-	3,0	-	2,5

Вибираємо трансформатор струму типу ТОЛ – 10 з класом точності 0,5. Вибір проведемо в табличній формі (таблиця 9.7).

Таблиця 9.7

Тип ТС	Параметри ТС	Умова вибору	Розрахункові параметри приєднання
ТОЛ-10	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$=$	$U_{\text{ном.мер}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} = 150 \text{ А}$	$\geq$	$I_{\text{макс}} = 129,33 \text{ А}$
	$I_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$\geq$	$i_{\text{уд}} = 6,39 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot \tau = 31,5^2 \cdot 1 = 992,25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$\geq$	$B_{\text{к}} = 1,86 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

За всіма номінальними даними вибраний трансформатор струму задовольняє необхідним умовам.

Перевіримо можливість його роботи у заданому класі точності. Для цього скористаємося даними таблицею 9.6.

Сумарний опір приладів максимально завантаженої фази:

$$z_{\Sigma \text{прил}} = \frac{S_{\Sigma \text{прил}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{3}{5^2} = 0,12 \text{ Ом},$$

де $S_{\Sigma \text{прил}}$ - максимальне навантаження фази приладами, ВА;
 $I_{2\text{ном}}$ - номінальний вторинний струм.

Оскільки опір проводів, які з'єднують трансформатори струму з приладами при роботі його в заданому класі точності:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - z_{\Sigma \text{прил}} - z_{\text{к}} = 0,4 - 0,12 - 0,05 = 0,23 \text{ Ом},$$

де $z_{2\text{ном}}$ - номінальний опір вторинного кола трансформатора струму (номінальне навантаження), що відповідає його роботі у заданому класі точності.

Найменший переріз проводів, що задовольняє умову роботи трансформатора струму в необхідному класі точності:

$$S = \rho \cdot \frac{l_p}{r_{\text{пр}}} = 0,028 \cdot \frac{0,87}{0,23} = 0,11 \text{ мм}^2.$$

де ρ - питомий опір проводу, Ом·мм²/м, для алюмінію $\rho = 0,028$ Ом·мм²/м; l_p - розрахункова довжина проводу, м, для схеми з'єднання однофазних трансформаторів струму за неповною зіркою:

$$l_p = \sqrt{3} \cdot l = \sqrt{3} \cdot 0,5 = 0,87 \text{ м},$$

l – відстань від місця розташування трансформатора струму до вимірювальних приладів (довжина траси).

Відповідно до ПУЕ, виходячи з вимог механічної стійкості (міцності) контрольних кабелів, які приєднують трансформатори струму до вимірювальних приладів, переріз алюмінієвих відводів S за наявності лічильників схеми повинен бути не менше 4 мм^2 , тобто. $S_{\text{ст}}^{\text{мін}} = 4 \text{ мм}^2$.

Переріз проводу S заокруглюємо до найближчого більшого стандартного перерізу жил $S_{\text{ст}}$ контрольних кабелів. Приймаємо $S_{\text{ст}} = 6 \text{ мм}^2$. В результаті вибираємо контрольний кабель типу АКВРГ–6 з $S_{\text{ст}} = 6 \text{ мм}^2$ та $l = 0,5 \text{ м}$.

Вибір трансформаторів струму в приєднанні трансформатора зв'язку з системою та кабелів, що живлять високовольтні двигуни та інші ТП аналогічний.

В приєднанні трансформатора ГПП

Таблиця 9.8

Тип ТС	Дані за каталогом	Умова вибору	Розрахункові дані
ТФЗМ35Б-І-У1	$U_{\text{імакс}} = 35 \text{ кВ}$	=	$U_{\text{мережі}} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{\text{іном}} = 150 \text{ А}$	>	$I_{\text{макс}} = 142,3 \text{ А}$
	$Z_{\text{2ном}} = 1,2 \text{ Ом}$	>	$Z_{\text{2р}} = 0,677 \text{ Ом}$
	$i_{\text{дин}} = 3,5 \text{ кА}$	>	$i_{\text{уд}} = 3,44 \text{ кА}$
	$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 40,5^2 \cdot 3 = 4920,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	>	$B_{\text{к}} = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

9.3. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги

Для живлення лічильників, вольтметрів та пристроїв релейного захисту ми використовуємо трансформатор напруги вимірювання типу NTMI-10. Вимірювальний трансформатор напруги призначений для зниження високої напруги до стандартного значення - 100 або $\sqrt{3} \cdot 10$, від первинних кіл високої напруги для кіл вимірювання та релейного захисту.

Паспортні дані НТМИ-10:

$$U_{НОМ1} = 10 \text{ кВ};$$

$$U_{НОМ2} = 100 \text{ кВ};$$

$$S_{НОМ2}=500 \text{ ВА}.$$

Розрахунок вимірювального трансформатора напруги типу НТМИ - 10.

Трансформатори напруги встановлюємо на кожній секції збірних шин 10 кВ.

Умова роботи вимірювального трансформатора напруги в класі точності 0.5 :

$$S_{НОМ2} \geq S_P, [\text{ВА}]$$

Використовуючи дані таблиці.6.26 [30] щодо споживання контрольно – вимірювальними приладами електроенергії, визначимо сумарне навантаження від котушок усіх приладів однієї секції збірних шин.

Таблиця 9.9

РП НН 10 кВ								
Найменування приєднання	Прилад	Тип приладів	Потужність однієї котушки В·А	Число котушок	cosφ	Число приладів	Загальна потужність	
							Р, Вт	Q, вар
Збірні шини	Вольтметр	Э 378	2	1	1	1	2	–
Приєднання трансформатора до ЗШ	Ватметр	Д 305	2	1	1	1	2	–
	Лічильник енергії	НІК 2303	8	2	0,25	1	4	15,5
Приєднання КЛ	Лічильник енергії	НІК 2303	8	2	0,25	12	48	185,86
Разом	–	–	–	–	–	–	56	201,36

Розрахунок активної потужності для вольтметра проводився за формулою:

$$P = S \cdot \cos\varphi \cdot n \cdot n_N = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \text{ Вт.}$$

Розрахунок реактивної потужності для лічильника проводився за формулою:

$$Q = S \cdot \sin\varphi \cdot n \cdot n_N = 8 \cdot 0,9682 \cdot 2 \cdot 1 = 15,5 \text{ вар.}$$

Повна потужність:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{56^2 + 201,36^2} = 209 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

За [1, табл.5.13] вибираємо ТН тину 2хНТМИ-10-71УЗ з $S_{\Sigma\text{ном}} = 3 \cdot 120 = 360 \text{ В} \cdot \text{А}$ в класі точності 0.5. Схема з'єднання Y/Y₀-0.

Для підключення трансформаторів напруги до пристроїв ми приймаємо контрольний кабель АВВГ перетином 2,5 дроту за умови механічної стійкості. Для трансформатора напруги обираємо обмежувач перенапруги ОПН-КР/TEL-10/11,5 УХЛ2 та запобіжник до нього типу ПКТ 104-10-160-20-У3 за такими умовами:

Умови вибору:

$U_{\text{ном}}^3 = 10 \text{ кВ}$	=	$U_{\text{ном}}^{\text{мер}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}}^3 = 125 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 123,2 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл}} = 12,5 \text{ кА}$	>	$I_{\text{кз}} = 5,132 \text{ кА}$

Вибір трансформатора власних потреб

Оскільки двотрансформаторні ГПП мають споживачів власних потреб (ВП) I та II категорій надійності, їх роботу забезпечують два трансформатори ВП. За приблизними даними табл. 6.1 та 6.2 [30] визначають встановлену потужність власних потреб споживачів. Розрахунок наведено в таблиці 9.11.

Таблиця 9.10

№	Найменування	Встановлена потужність			cosφ	Навантаження	
		одного	кільк.	всього, кВА		P, кВт	Q, кВар
1	Обігрів КРУ	1	28	28	1	28	-
2	Опалення та освітлення побутових приміщень	7	1	7	1	7	-
3	Обігрів шаф релейного управління	1	28	28	1	28	-
4	Освітлення ЗРП	0,1	20	2	1	2	-
5	Освітлення ОПУ	0,1	10	1	1	1	-
	Разом					68	0

Розрахункове навантаження при $\kappa_c = 0,85$ (коефіцієнт попиту):

$$S_{\text{розр}} = \kappa_c \cdot \sqrt{P^2 + Q^2} = 0,85 \cdot \sqrt{64^2 + 0^2} = 57,9 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Розрахункова потужність трансформатора:

$$S_{\text{розр.тр}} = \frac{S_{\text{розр}}}{\kappa_{2н}} = \frac{57,9}{1,4} = 41,4 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Стандартна номінальна потужність трансформатора становить $S_{\text{ном.тр}} = 63 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$

Приймаємо для встановлення на ГПП два трансформатора типу ТМ-63/10/0.4.

Для них обираємо обмежувач перенапруги ОПН-КР/TEL-10/12,5 та запобіжник до нього типу ПКТ-101-10-2-40УЗ.

10. Спецпитання : «Енергоефективне електропостачання шахти та розрахунок головної вентиляційної установки»

10.1 Актуальність теми роботи

Руднична вентиляція - це сукупність заходів і засобів, призначених для забезпечення параметрів рудникової атмосфери, встановлених санітарними нормами і технологічними вимогами [11].

Приклад схеми вентиляції шахти показаний на малюнку 1.

Вентиляційна система - це технічна система, що підтримує значення параметрів повітряного середовища в обмежених обсягах (приміщеннях, гірських виробках і ін.) Відповідно до встановлених санітарних норм і технологічних вимог і складається з чотирьох основних підсистем: "Вентиляційна мережа", "Вентиляційна установка", "Вентиляційні пристрої" і "Контроль і управління".

Вентиляційна мережа - це сукупність виробок і місцевих опорів, що складаються з протяжних гірничих виробок-повітропроводів (довгі ділянки) і місцевих опорів - (короткі ділянки) [11].

Вентилятор - це повітродувна машина, що створює різницю тисків у вентиляційній мережі, під впливом якого переміщається повітря. За принципом дії вони бувають осьові і відцентрові.

Вентиляційна установка - це сукупність технічних засобів (вентилятор), обладнання (пристрою реверсування) і споруд (канали вентилятора) для створення необхідного вентиляційного потоку і управління ним у нормальному і аварійному режимі провітрювання шахти [11]. Підземні виробки необхідно провітрювати за допомогою безперервно діючих вентиляторів головного провітрювання, встановлених на поверхні. Влаштовувати підземні допоміжні вентилятори головного провітрювання допускається лише на діючих шахтах (рудниках) за спеціальним проектом за узгодженням з органами Держнаглядохоронпраці.

Вентиляційні споруди - це кошти для здійснення заданого розподілу вентиляційних потоків по мережі гірничих виробок [11]

Вентиляція шахт має життєво важливе значення для всіх гірників. Постачання шахт чистим повітрям повинно проводитися грамотно при використанні якісного обладнання.

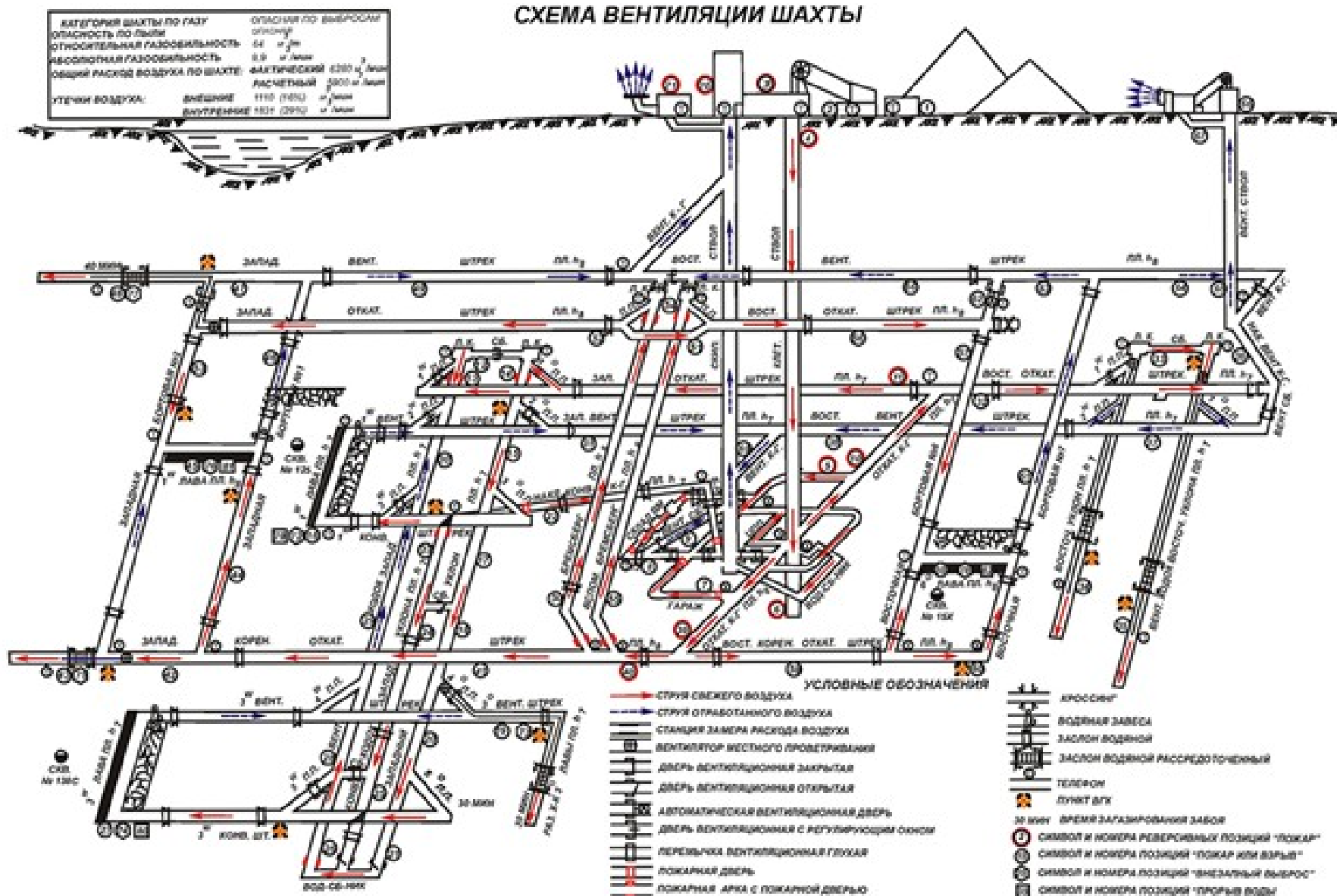
Природна вентиляція шахт проводиться досить повільно через їх розташування, також прінудительная вентиляція необхідний з огляду на вирабативаенія в шахті газових сумішей, окислення повітря через роботи техніки і людей. Всі ці фактори впливають на вимоги винесені до вентиляції і до якості повітря, що подається.

Аналіз фактичного стану багатьох вентиляційних систем на сибірських, та й російських рудниках і шахтах показує, що значна кількість вентиляторів основного провітрювання працюють при досить низьких значеннях ККД. Робота характеризується нестійкою і несвоєчасним поданням необхідного обсягу повітря у вентиляційну мережу шахти [12].

Втрата повітря

Втрата повітря нерідко відбуваються крізь вентиляційні споруди і мережі в шахті і на поверхні. Найбільші труднощі з цим питанням виникають в ряді вентиляторів допоміжного типу, а також системах каналів, особливо на великих відстанях. Такі втрати серйозно зменшують подачу повітря до місця споживання, можуть викликати і різного роду порушення в загальній вентиляції шахти. В ході обстеження великого числа вугільних шахт експертами було встановлено, що витоку повітря всередині шахт коливаються приблизно від 23% до 66% обсягу від подаваного в підземний простір повітря. [12]

СХЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТЫ



Тверді канали, зроблені зі сталі з особливим гальванічним покриттям або скловолокна, будучи змонтовані з ущільненнями, зазвичай мають виразно низьку витік повітря і можуть застосовуватися на основних виробках протяжністю в декілька кілометрів [12].

Втрати ресурсів

Одна з граней даної проблеми прямо впирається в питання економії енергоресурсів. Справа в тому, що процес вентиляції вимагає значної кількості електроенергії. На провітрювання кожної вугільної шахти установками вентиляторів йде до 30% всієї витрачатися шахтою електроенергії. Настільки великі енерговитрати фахівці пов'язують з надмірно високою продуктивністю вентиляторів з одного боку, і їх експлуатацією в недостатньо оптимальному режимі з іншого боку. Підвищення їх ККД на гірничих підприємствах в цілому тільки на 1% заощадить багато кВт / год електроенергії і мільйони грошей. Отже, проблема зниження енергоємності при провітрюванні шахт і подальша оцінка ефективності систем всій вентиляції за такими чинниками енергоємності та безпеки залишається досить актуальною, і подальші дослідження за цими напрямками є важливою науково-технічною задачею [12].

Головний напрямок зменшення енергоємності видобутку ЗРС перш за все лежить в площині вибраної тим чи іншим підприємством технології ведення гірничих робіт. В розрізі даного наукового пошуку, зупинимось на вирішенні проблеми підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств в рамках саме існуючих технологій. Такий підхід виглядає реальним ще і тому, що в найближчі 20-30 років будівництво нових підземних залізрудних підприємств в Україні не планується. Пошуку шляхів зменшення енерговитрат при видобутку ЗРС присвячено ряд наукових досліджень. Цю проблему вирішували як вчені гірники-технологи так і енергетики [14-22]. В аналізованому напрямку наукового пошуку на особливу увагу, згідно отриманих результатів, заслуговують дослідження [17-21]. Результати втілених в тій чи в іншій мірі досліджень вище відзначених дослідників дозволили вітчизняній гірничорудній

промисловості деякий час стримувати безумовно негативний, проте логічний процес зростання витрат енергії при видобутку ЗРС. Проте сьогоденне функціонування залізородних підприємств потребує нового підходу до вирішення проблеми їх енергоефективності, нової логіки рішення. «Логіка» такої необхідності диктується, перш за все, погіршенням в даний час технологічних умов видобутку ЗРС [14]. По-друге більшість, з вищевідзначених, як і відомих наукових досліджень велись для умов видобутку ЗРС на глибинах до 1000 м. Зараз ці позначки вже перетнули рубежі 1500-2100 м. Зрозуміло, що обсяги рівнів споживання ЕЕ на таких глибинах, а значить і рівень їх впливу на загальні показники собівартості видобутку ЗРС, ростуть і будуть зростати в подальшому. Це призвело і призведе до втрати вітчизняною гірничорудною промисловістю гідного місця в конкурентоспроможності на світовому ринку ЗРС. Вихід один – базуючись на результатах відомих наукових пошуків, проводити додаткові дослідження в напрямку пошуку нових сучасних і достатньо ефективних рішень [13].

Як об'єктивну реальність, в аналізуємому напрямку наукового пошуку, відзначимо, що, оцінюючи сучасну економічну ситуацію та тенденцію постійного зростання тарифів на електричну енергію, гірничі підприємства, як підприємства з технологією неперервного цикла функціонування, в останні 10-15 років дещо перебували режими функціонування своїх споживачів ЕЕ. Перш за все це терміни роботи комплексу енергоємних приймачів ЕЕ, перевівши їх відповідно до технології гірничих робіт, в льготно-економічні зони доби, котрі диференціюються як години пік, напівпік та ніч (рис.1). Саме таке «ділення» визначає тарифи на ціни спожитої ЕЕ, відповідно за ті чи інші години доби.

Цікаво, що різниця цих тарифів, наприклад, між «піком» і «ніччю» в 2018 році сягнула майже 8-ми разів [22]. Враховуючи економічну ситуацію, вжиті підприємствами такі «організаційні» заходи, не зважаючи на їх простоту, дали підприємствам, де це запроваджено, значну – біля 20% економії матеріальних

затрат за сплату за спожиту електричну енергію. Між тим, потенціал мір по підвищенню енергоефективності залізорудних підприємств не вичерпано. Перш за все це стосується можливостей адаптивного регулювання цим процесом в функції ряду технологічних факторів, котрі мають зміни своїх параметрів в процесі функціонування. Для реалізації вищезазначеного постулату необхідно формалізувати лінійку споживачів – регуляторів електричної енергії. В ході дослідження [14-16], доведено, що в перелік таких приймачів для підземних залізорудних підприємств відносяться: водовідлив, скіпові підйомні установки(СкПУ), головний водовідлив, вентиляційні установки, дробильно-сортувальна фабрика (ДСФ) [13].

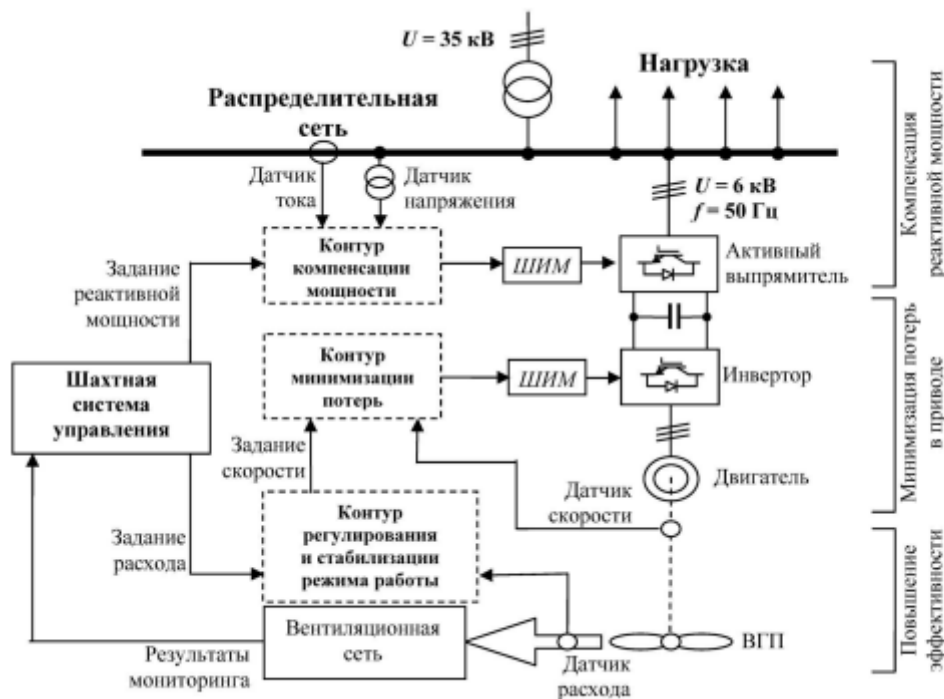
Провітрювання підземних виробок - одна з енергоємних операцій гірничого виробництва. Витрати на вентиляцію можуть досягати до 50% загальної енергії, споживаної гірничим підприємством, а частка цих витрат у собівартості продукції - до 30%. Річна плата за електроенергію на провітрювання може становити до 40% вартості головної вентиляційної установки (ГВР). Одна з причин високих витрат на провітрювання - прийнята практика роботи ГВР з постійною продуктивністю без урахування реальної потреби шахти в свіжому повітрі. Інша причина - низький експлуатаційний ККД вентиляторів головного провітрювання (ВГП), значення якого 30-40% знаходиться поза області промислового використання [1, 2]. При існуючих тенденціях зростання цін на електроенергію і збільшення глибини залягання родовищ, що розробляються низька енергетична ефективність системи вентиляції шахт стає одним з основних факторів, що впливають на економічні показники гірничого підприємства [23].

Підвищення енергетичної ефективності ГВР насамперед пов'язано з реалізацією схеми вентиляції відповідно до реальних потреб шахти в провітрюванні, яка б виключала зайве надходження повітря в шахту [14]. Реалізація такого підходу можлива на основі ефективної входять до складу шахтної системи управління

процесом видобутку корисних копалин системи автоматичного управління ГВР, яка забезпечує: динаміку провітрювання відповідно до потреби шахти в свіжому повітрі в залежності від числа робочих в шахті, особливостей ведення вибухових робіт, тривалості роботи дизельного обладнання, проведення ремонтних робіт, виникнення аварійних ситуацій і т.д. [23].

Розрахунок витрати повітря по людях $Q_{л.о.з.}$ здійснюється за такою формулою: $Q_{л.о.з.} = 6N_{год} \cdot \frac{м^3}{хв}$; де $N_{год}$ - максимальна кількість людей, які одночасно працюють у забої (за нормами на одну людину для дихання необхідно подавати не менше $6 \frac{м^3}{хв}$ повітря) [28].

Інша складова підвищення ефективності ГВР пов'язана з виявленням ресурсів енергозбереження та розробкою заходів щодо мінімізації втрат у всіх елементах системи передачі і перетворення енергії «розподільна мережа - перетворювачі частоти - двигун - вентилятор - вентиляційна мережа» [5, 6]. Для вирішення цього завдання розглядається система багатоцільового управління частотнорегульованим приводом ВГП, показана на рис.



2.

Креслення 2. Структура багатоконтурною системи управління частотно-регульованим вентилятором головного провітрювання [28].

10.2 Способи регулювання вентиляторів

Найбільш значимий енергозберігаючий ефект дає мінімізація втрат в ВГП за рахунок обліку в системі управління багатьох факторів, що впливають на експлуатаційний ККД і його зміна протягом терміну служби вентилятора [8]. До таких факторів належать: тип вентилятора, максимальна продуктивність, координати точки з найбільшим ККД, спосіб регулювання продуктивності вентилятора, траєкторія руху робочої точки в системі координат «тиск - продуктивність» в межах терміну служби вентилятора [23].

Характеристики вентилятора, побудовані за формулами при постійній частоті обертання і різних кутах нахилу лопаток, показані на рисунку. 3.

Характеристики вентилятора при частотному регулюванні продуктивності відповідно до формули представлені на рисунку.4 [28].

З графіка залежності ККД вентилятора від продуктивності (рисунку. 2, в) видно, що при аеродинамічному способі регулювання режиму провітрювання збільшення кута нахилу призводить до падіння ККД за рахунок зростання аеродинамічних втрат. При частотному способі регулювання (рисунку. 3, в) максимальне значення ККД вентилятора (84%) залишається незмінним в усьому діапазоні регулювання [23].

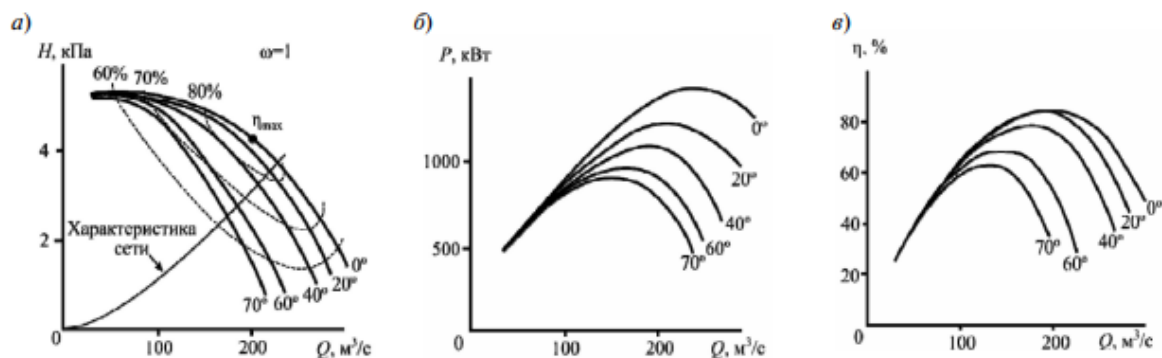


Рисунок. 3 Характеристики відцентрового вентилятора ВЦД-32М при аеродинамічному способі регулювання: тиск (а), потужність на валу (б)и КПД вентилятора (в)

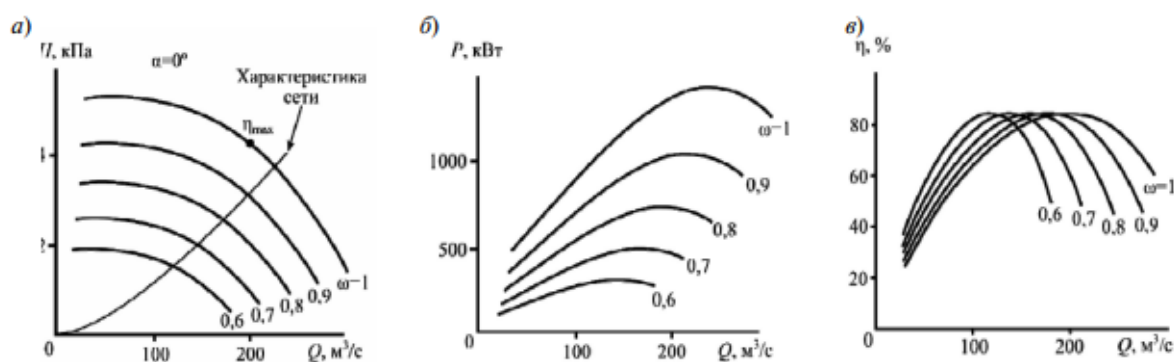


Рисунок 4. Характеристики відцентрового вентилятора ВЦД-32М при частотному способі регулювання: тиск (а), потужність на валу (б) і ККД вентилятора (в)

Як правило, при аеродинамічному регулювання вентилятор через конструктивних особливостей має кілька фіксованих положень лопаток без можливості плавного регулювання.

В такому випадку не завжди можливо точно встановити необхідний режим провітрювання, і вентилятору доводиться працювати із завищеною продуктивністю [27].

Зміна режиму провітрювання при механічному способі управління досягається переміщенням робочої точки вздовж характеристики мережі за рахунок варіювання кута нахилу лопаток (див. Рис. 3, а). При частотному способі керування переміщення робочої точки здійснюється за рахунок зміни частоти обертання (див. Рис. 4, а). Використання частотно-регульованого приводу вентиляторів головного провітрювання - необхідна умова реалізації сучасного підходу до організації вентиляції підземного простору відповідно до реальних потреб шахти в свіжому повітрі [27].

Застосування частотного управління дозволяє не тільки підвищити експлуатаційних ККД вентиляторів, але і забезпечити мінімізацію втрат в приводі за допомогою енергозберігаючих алгоритмів управління. На основі комп'ютерної моделі АД і моделі скалярної системи управління приводом виявлені залежності сумарних втрат енергії від поточного потужності при варіюванні швидкості обертання валу двигуна в межах області частотного регулювання продуктивності вентилятора. Отримані залежності дозволили сформулювати екстремальний закон частотного управління, застосування якого дає зниження втрат енергії на 5-10% в порівнянні з традиційним законом скалярного управління приводу з вентиляторної навантаженням. Висока якість аеродинамічних схем вентиляторів і досить гарне їх конструктивне втілення повинні забезпечувати високі значення експлуатаційної ефективності вітчизняних ГВР. Однак порівняльний аналіз компоновальних рішень поверхневих комплексів головних вентиляторних установок [24] показує, що тільки 25% енергії, що підводиться витрачається на вчинення корисної роботи (рис. 5). Зосередження найбільшої величини втрат енергії в

самому вентиляторі свідчить про те, що високо-економічні вентилятори знаходяться в роботі на неоптимальних режимах (режимах з низьким ККД).

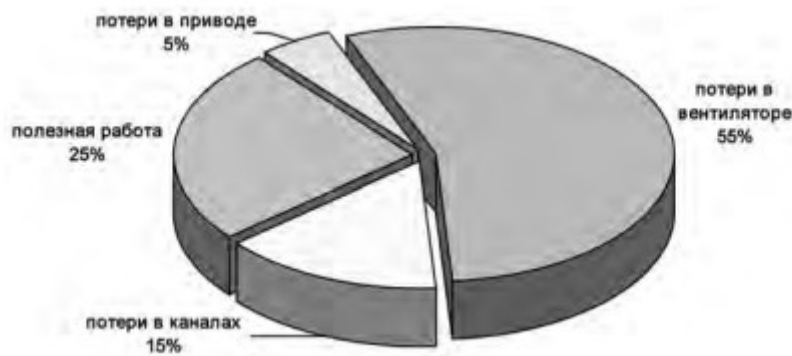


Рисунок. 5 Енергетична діаграма поверхневого комплексу ГВР

Аналіз фактичного стану шахтного вентиляторостроєння показує, що традиційні методи підвищення аеродинамічних параметрів шахтних вентиляторів шляхом вдосконалення форми профілів лопаток робочих коліс практично вичерпали свої можливості, а подальше збільшення їх габаритів і окружної швидкості обертання ротора обмежено технологічними можливостями виробництва, експлуатації та міцності. Тому підвищення технічних параметрів ГВР, збільшення ефективності шахтних вентиляторів може бути досягнуто за рахунок підвищення їх адаптивних властивостей шляхом розширення глибини регулювання, підвищення аеродинамічної навантаженості і вдосконалення їх компоновальних схем [27].

Аналіз відомих енергетичних методів управління обтіканням ізольованих профілів і робочих коліс турбомашин показує, що високою ефективністю володіють методи струменевого управління обтіканням профілів, які підвищують аеродинамічну навантаженість і адаптивність турбомашин і зокрема відцентрових вентиляторів. Використовувані в даний час регулюючі пристрої можуть бути умовно віднесені до механічних засобів регулювання, оскільки дія їх засновано на механічній трансформації геометрії проточної

частини вентилятора. Великі потенційні можливості в плані збільшення глибини економічного регулювання закладені в активних (енергетичних) методах управління аеродинамічними процесами в проточній частині вентилятора [25]. Їх реалізація дозволяє створити принципово новий засіб регулювання режиму роботи відцентрового вентилятора - енергетичний направляючий апарат (ЕНА) [16].

На рисунку. 6 приведена схема відцентрового вентилятора з ЕНА. Конструктивно ЕНА складається з вхідного 1 і пристенного 2 колекторів (направляючого екрану) встановлених в порожнині високого тиску корпусу 4 вентилятора на обечайке вхідного патрубку 5. Криволінійний кільцевої канал 3, утворений вхідним колектором 1 і направляють екраном 2 безпосередньо повідомляє порожнину високого тиску корпусу 4 вентилятора зі входом в робоче колесо 6. Зміна витрати керуючого потоку дозволяє регулювати закрутку сумарного потоку, що представляє собою сукупність транзитного та керуючого потоків, і тим самим регулювати режим роботи вентилятора. Наявність поздовжньої і поперечної циркуляції протоки в порожнини корпусу дозволяє, раціональним способом спрофільоване по лініях струму форму вхідного колектора і направляє екрану, використовувати енергію кінетичного моменту керуючого потоку для закрутки транзитного потоку з мінімальними втратами енергії на дросселирование.

перетворювальної техніки та мікроелектроніки визначають сучасний стан електроприводу для вентиляторів [16].

Незважаючи на високі енергетичні показники синхронного двигуна, електропривод шахтних вентиляторів з таким двигуном поки має ряд істотних недоліків: не завжди забезпечується розгін вентиляторів з великими маховими масами, тривалий пуск з великими пусковими струмами вимагає більш потужну систему електропостачання шахти.

Тому, поряд з синхронними двигунами, йде вдосконалення електроприводу вентиляторів головного провітрювання потужністю 500-1500 кВт завдяки широкому використанню високовольтних асинхронних двигунів з фазним і короткозамкненим ротором [16].

У вітчизняній практиці знайшли застосування поки лише дві системи електроприводу з плавним регулюванням: асинхронний вентиляно-машинний каскад (АВМК) і асинхронний вентиляний каскад (АВК). Істотна перевага каскадних схем те, що перетворювана електрична потужність у них визначається діапазонами регулювання швидкості на відміну від інших систем регульованого приводу, в яких перетворюється вся потужність, що підводиться до приводного двигуна, незалежно від діапазону регулювання. Оскільки для вентиляторів необхідна глибина регулювання частоти обертання зазвичай не перевищує 1:2, то і величина перетворюваної потужності в каскадних схемах не перевищує половини повної потужності приводу. Це зменшує потужність перетворювального устаткування і забезпечує найбільш високий ККД з усіх систем регульованого приводу [16].

При виборі системи електроприводу вентиляційних установок в залежності від його потужності і пропонованих до нього вимог може виникнути необхідність розгляду декількох варіантів приводу. Доцільне рішення знаходять шляхом техніко-економічного зіставлення варіантів. Вибір тієї чи іншої системи електроприводу визначається, зокрема, чи потрібне регулювання режимів роботи установки або ж регулювання $\cos \phi$.

Нерегульований привід зазвичай застосовують, якщо тривала ефективна робота вентилятора при можливій зміні вентиляційних параметрів шахти або рудника може бути забезпечена тільки аеродинамічними способами регулювання подачі і тиску вентилятора. У нерегульованих електроприводах вентиляційних установок залежно від потужності використовуються різні типи електродвигунів: при потужності до 200 кВт - низьковольтні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором; при більшій потужності - високовольтні синхронні двигуни і високовольтні асинхронні двигуни з фазним ротором. Застосування асинхронних двигунів з фазним ротором забезпечує: прямий пуск з малими пусковими струмами і розгін вентилятора з великими моментами інерції ротора вентилятора. Такий недолік асинхронних двигунів, як малий коефіцієнт потужності, може бути усунутий застосуванням компенсуючих пристроїв [23].

Іноді використовується комбінація двох приводів - синхронного та асинхронного. Синхронно-асинхронний привід як один з можливих варіантів застосовують, наприклад, для вентилятора ВЦД-47У. Така система приводу доцільна в разі необхідності підтримки високого коефіцієнта потужності живильної мережі шахти або рудника [26].

Регульований привід застосовують для великих відцентрових вентиляторів - найбільш енергоємних і мають менш ефективні пристрої аеродинамічного регулювання (тільки напрямні апарати). Використання регульованого приводу для осьових вентиляторів пов'язано з певними труднощами: існує можливість попадання вентилятора в зону нестійкої роботи, наявність вузької зони раціональної роботи вентилятора при регулюванні тільки зміною частоти обертання. Тому для вітчизняних шахтних осьових вентиляторів регульований привід поки не знайшов застосування [15].

10.3 Вибір системи електроприводу

У вітчизняній промисловості використовується, в основному, два типи вентиляторів: осьові (типу ВОД) і відцентрові (типу ВЦД).

Практичне застосування у відцентрових і осьових вентиляторів знайшли такі методи аеродинамічного регулювання:

- а) поворотом лопаток направляючого апарату;
- б) дроселюванням всмоктуючої або нагнічуючої сторони.

Найбільше поширення отримав перший метод. Цей метод переважний при алгоритмі регулювання з підтримкою постійної продуктивності, так як область його економічної роботи в осях витрата (Q), напір (H) витягнута по вертикалі. Основний недолік методу - невелика глибина економічного регулювання [23].

Останній метод регулювання (дроселюванням) практично не застосовується через низьку економічність.

Продуктивність у осьових вентиляторів регулюється кількістю лопаток, встановлених на робоче колесо вентилятора і кутом повороту цих лопаток [23].

Для вентиляційних установок головного провітрювання з відцентровими вентиляторам (у вітчизняній практиці) знайшов застосування регульований по швидкості електропривод. Це обумовлено як QH -характеристикою відцентрового вентилятора, так і можливістю регулювання продуктивності зміною швидкості обертання вентилятора.

Це означає, що в міру зростання вартості енергоносіїв та наближення їх цін до світових повинна спостерігатися тенденція скорочення терміну окупності і наближення цього терміну до світового. при тривалості експлуатації регульованого електроприводу до 20 років з урахуванням вартості витрат на обслуговування, виходить, що за цей час економія енергоресурсів у середньому

відповідає 5 термінами окупності. Це свідчить про те, що даний енергозберігаючий захід надзвичайно ефективний, оскільки він пов'язаний з порівняно малими капіталовкладеннями [23].

Конкретна цифра економії залежить від конкретного графіка роботи того чи іншого механізму, але вважається з достатнім ступенем достовірності, що цифра близька до 30%.

У таблиці наведено перелік найбільш часто вживаних в ГВР типів регулювання електроприводів, а також дана порівняльна оцінка їх технічних характеристик [26].

Для конкретності порівняльні оцінки дані стосовно вентустановки з вентиляторами ВЦД-42, 5 (ВПД-4, 5). Розглянуті електроприводи забезпечують плавний пуск вентилятора, а також економічне енергоспоживання за рахунок регулювання швидкості в межах 250-450 об / хв по мірі виходу на максимальну продуктивність, а також за рахунок добового і сезонного регулювання продуктивності.

В даний час найбільше поширення серед регульованих електроприводів для даного класу механізмів отримали «вентильні двигуни», у яких перетворювач з природною комутацією виконаний з проміжною ланкою постійного струму [23].

Для вентиляційної установки головного провентрування Південного вентиляційного ствола ЗЗРК, враховуючи усі переваги і недоліки, обираємо систему перетворювач частоти – асинхронний двигуна (ПЧ-АД) [26].

Таблиця 10.1 – Характеристика систем керування

Тип електропривода	Переваги	Недоліки	Примітки
Частотнокерований синхронний електропривід за схемою («Вентильний двигун»)	Реалізація СД з двома трифазними статорними обмотками, зсунутими один відносно одного на 30 ел.град., Покращує механічну сумісність СД і вентилятора.	Споживання реактивної потужності визначається діапазоном регулювання частоти установки.	Випрямляч виконано у вигляді двох тиристорних мостів, один з котрих підключається до вторинної обмотки перетворюючого трансформатора а схемою «зірка», другий – за схемою «трикутник». Це створює 12-пульсний режим роботи відносно живлячої мережі.
Частотнокерований асинхронний електропривід за схемою «Асинхронний двигун з к.з. ротором - перетворювач частоти з ланкою постійної напруги	Вхідний силовий трансформатор з двома вентильними обмотками реалізує роботу силового випрямляча ПЧ відносно живлячої мережі по еквівалентній 12-пульсній схемі.	Спектр споживаного струму мережі містить вищі гармоніки: 11-та гармоніка - 9%, 13-та - 7,7% і так далі.	Високовольтний перетворювач частоти виконано на сучасних силових напівпровідникових IGBT-транзисторах. Керування перетворювачем здійснюється по алгоритму ШІМ.
Однодвигунний регульований електропривід за схемою «асинхронно-вентильного каскаду»	Гарна електромагнітна сумісність електроприводу з мережею за рахунок використання вхідного некерованого випрямляча	Необхідність встановлення додаткового обладнання	Тиристорний перетворювач в роторному ланцюзі виконано за трифазною мостовою схемою, і підключається до зовнішньої мережі через підвищуючий трансформатор зі схемою з'єднання обмоток Δ/Y .

10.4 Вибір та розрахунок вентиляційної установки

Об'єкт – вентилятор головного провітрювання вентиляційного ствола
 . Режим роботи – довготривалий.

Умови:

- продуктивність 220 м³/с;
- статичний тиск 400 кгс/м²;
- тип вентилятору – відцентровий;
- депресія 2850 Па.

За вихідними даними Q і P з табл.10.2 обираємо відцентровий вентилятор типу ВЦД 31,5м.

Таблиця 10.2 Характеристика вентиляторів

Характеристика вентиляторів			Параметри привідних двигунів		
Вентилятор	Подача, 3/с	Статичний тиск, даПа	Двигун	Частота обертання, об/хв	Потужність,Вт
ВЦ-11м	5,5—20,3	113— 343	A02-82-4	1460	55
ВЦЦ-16	11,0—42,3	108— 330	A0102-6	980	125
ВЦП-16	8,0—44,5	294— 880	A0114-4 (6-8- 12)	1460 (975, 730,490)	200 (120,90, 60)
ВЦ-25	22—97	152— 460	СД2-85/57-8У4	750 (600)	630 (500)
ВЦ-31,5М	45—165	186— 505	(АКН2-18-43- 16)	600 (500)	800 (500)

Вентилятор	Подача, м ³ /с	Статичний тиск, даПа	Двигун	Частота обертання, об/хв	Потужність, Вт
ВЦД-1.5М	70—305	190—550	(АКН2-18-43-12)	600 (500)	1250 (1250)
ВЦД-47,5У	80—590	69—833	—	—	—
ВЦД-47,5	90—680	100—880	—	—	—
ВОД-11П	7—33	113—382	А0101-4	1470	125
ВОД-16	12—67	88—422	А0103-6 (2 шт.)	980	2Х160
ВОД-21	25—115	90—320	СД2-85/47-8У4	750 (740)	500 (500)
ВОД-30	50—224	80—290	(АКН-2-16-57-12УХЛ4)	500 (490)	800 (800)
ВОД-40	84—415	100—335	АКН-2-19-33-164У4	375 (370)	1600 (1600)
ВОД-50	140—640	100—335	СДС3-18-39-20РУ4	300	2000

Вентилятор ВЦД-31,5м – вентилятор відцентровий, двостороннього всасування [22]. Призначений для головного провітрювання шахт вугільною та гірничовидобувної промисловості з витратами повітря 85-320 м³/с і статичним тиском 900-6200 Па зображено нарис..7

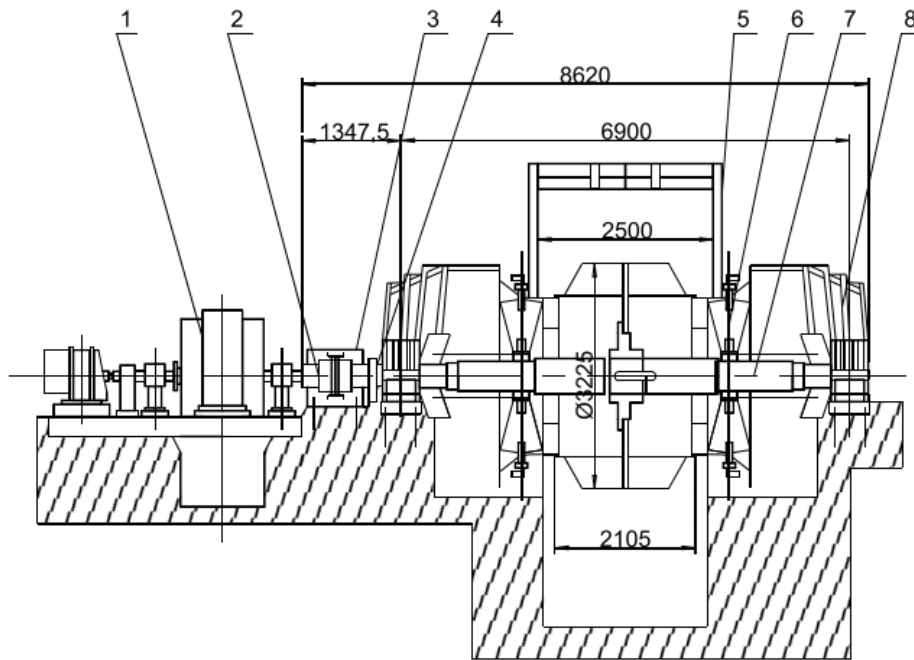


Рисунок 7 – Зовнішній вигляд вентилятору ВЦД 31.5м

Вентилятор ВЦД-31,5м складається з наступних конструкційних одиниць: електропривід з апаратурою контролю і керування 1, муфти зубчатої 2, обмежувач муфти 3, датчика швидкості 4, кожуха 5, спрямовуючої апарату 6, ротора 7, входної коробки 8.

Таблиця 10.3 – Технічна характеристика ВЦД-31,5м

Параметр		ВЦД-31,5М	ВЦД-31,5М2
Номінальний діаметр робочого колеса, мм (пред. відх. $\pm 5\%$)		3150	3150
Номінальна подача, $\text{м}^3/\text{с}$ (пред. відх. $\pm 10\%$)		200	250
Подача в межах робочої області, $\text{м}^3/\text{с}$	min, не більше	35-75	85
	max, не менше	305-285	320
Номінальний тиск, Па (пред. відх. $\pm 10\%$)	повне	5000	5000
	Статичне	4950	4950
Максимальний коефіцієнт корисної дії, не менше	повний	0,86	0,87
	статичний	0,85	0,86
Потужність електроприводу, кВт		1250	1600;1250
Частота обертання, хв^{-1}		600;500	600; 500
Спосіб регулювання		Н; В	Н
Маса вентилятора, кг		29000	31800
Габаритні розміри, мм	довжина	8250	8220
	ширина	5290	5660
	висота	3290	3290

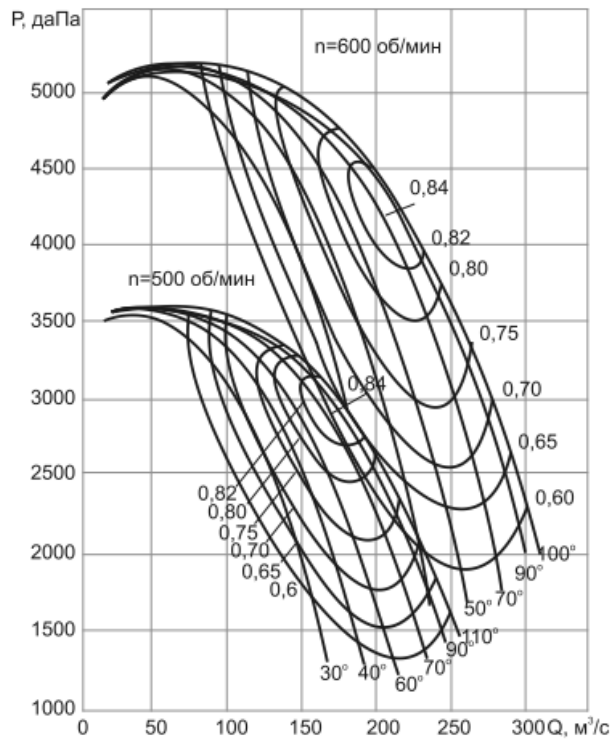


Рисунок 8 – Аеродинамічна характеристика вентилятора ВЦД 31,5м

Вибір привідного двигуна вентиляторної установки

Розрахуємо необхідну потужність привідного двигуна для ГВУ:

$$P_{\text{дв}} = \frac{K_z \cdot Q \cdot P}{102 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{1,1 \cdot 220 \cdot 387,5}{102 \cdot 0,74 \cdot 1} = 1411,79 \text{ кВт} \quad (1)$$

де $Q = 250 \text{ м}^3/\text{с}$ – максимальна продуктивність;

$P = 387,5 \text{ кгс}/\text{м}^2$ – статичний тиск;

$K_z = 1,1$ – коефіцієнт запасу;

$\eta_{\text{дв}} = 0,74$ – ККД вентилятора;

$\eta_{\text{пер}} = 1$ – ККД передачі (без редуктора).

Враховуючи розраховану потужність $P_{\text{дв}}$ обираємо асинхронний двигун АКН2-18-43-12МУХЛ4.

Таблиця 10.4 Паспортні данні двигуна АКН2-18-43-12МУХЛ4

Потужність, кВт	1600
Напруга статора(лінійна), В	6000
Струм статора, А	192
Номінальна швидкість обертання, об/хв.	495
Напруга ротора, В	850
Струм ротору, А	1150
Номінальне ковзання, %	1
ККД, %	94,6
Коефіцієнт потужності	0,85
$M_{\max}/M_n$	2,4
Маховий момент ротору, кН·м ²	39
Вага, кг	10200

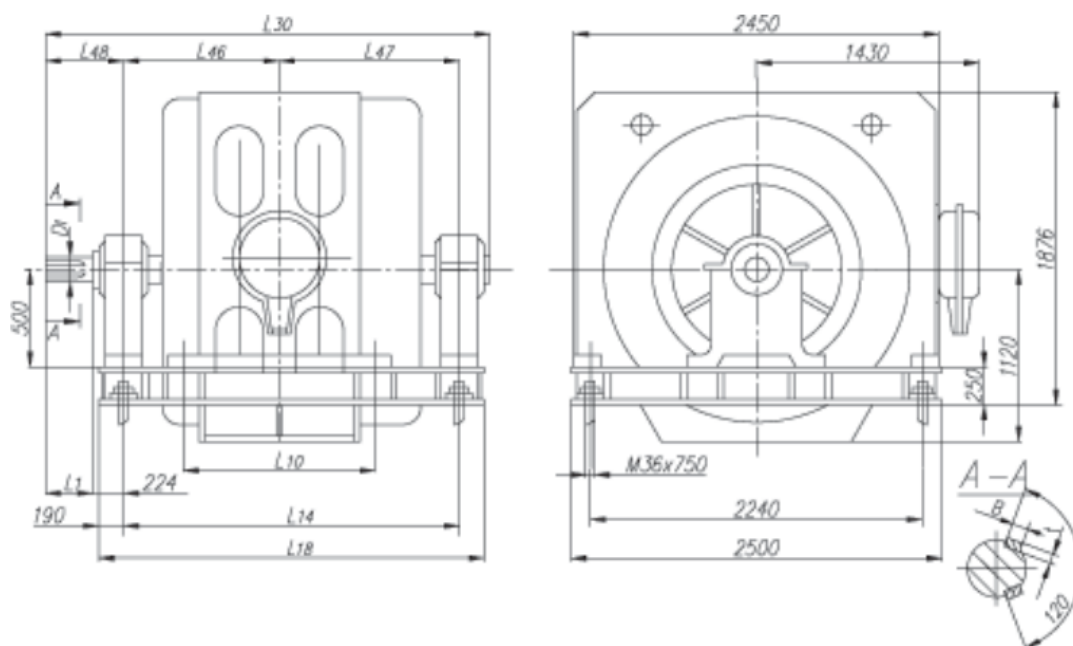


Рисунок 9 Зовнішній вигляд двигуна АКН2-18-43-12МУХЛ4

Загальна характеристика частотно-керованого приводу

Частотний спосіб регулювання швидкості асинхронних двигунів є найбільш економічним в порівнянні з іншими відомими способами. Можливість регулювання швидкості АД зміною частоти впливає з виразу швидкості ідеального холостого ходу:

$$w_0 = \frac{2\pi f_1}{p_n} \quad 2)$$

де f_1 - частота напруги обмотки статора ; p_n - число пар полюсів двигуна.

Змінюючи частоту f_1 напруги обмотки статора , можна отримувати різні швидкості [26].

ідеального холостого ходу. При цьому, як видно з виразу, залежність швидкості , лінійна . Механічні характеристики АД при частотному способі регулювання швидкості можуть істотно відрізнятися від природної характеристики. При постійній амплітуді напруги, що підводиться до обмотки статора , зі зменшенням f_1 пусковий і критичний моменти двигуна збільшуються , а жорсткість механічних характеристик підвищується. Однак при незмінній напрузі джерела живлення U_1 із зменшенням частоти f_1 різко збільшуються струм намагнічування і струм статора. Магнітна система двигуна насичується . У результаті істотно збільшуються електричні й магнітні втрати . Для підвищення техніко -економічних показників двигуна при зміні частоти необхідно регулювати амплітуду напруги U_1 як функцію від частоти f_1 і моменту навантаження M . Залежність U_1 від частоти f_1 і моменту навантаження M виражає закон частотного управління:

$$U_1 = U_1(f_1, M) \quad 3)$$

Повною мірою закони частотного управління виду (2.26) реалізуються в замкнених системах автоматичного управління електроприводами. У розімкнених системах управління напруга U_1 за звичай регулюється як функція від частоти f_1 :

$$U_1 = U_1(f_1)$$

4)

Таким чином , для здійснення частотного способу регулювання швидкості АД необхідно мати перетворювач частоти (ПЧ) з можливістю роздільної зміни амплітуди і частоти вихідної напруги [26].

Перетворювачі частоти , призначені для частотно –регульованих асинхронних електроприводів , поділяються за типом зв'язку з мережею живлення на безпосередні перетворювачі частоти і дволанкові перетворювачі частоти (ДПЧ) з проміжною ланкою постійного або змінного струму. Рис. 3.4

У сучасних частотно -регульованих асинхронних електроприводах широко застосовуються ДПЧ з проміжною ланкою постійного струму. Основними елементами таких перетворювачів є випрямляч , фільтр проміжної ланки постійного струму і автономний інвертор [26].

За типом інвертора , який являє собою комутатор на напівпровідникових силових ключах , ДПЧ поділяються на два класи: з автономним інвертором напруги (АІН) і з автономним інвертором струму (АІС) [17].

За певних алгоритмах перемикання силових ключів і властивостей джерела живлення інвертора ДПЧ з АІН забезпечують задану форму вихідної напруги , а ДПЧ з АІС- задану форму вихідного струму незалежно від параметрів навантаження з можливістю роздільного регулювання амплітуди і частоти основної гармоніки вихідної напруги або струму інвертора. Широке застосування в регульованих асинхронних електроприводах знаходить такий вид ДПЧ , як перетворювачі частоти з автономними інверторами напруги. Більшість перетворювачів частоти, що виробляються, з АІН , призначені для

регулювання швидкості обертання трифазних АД , мають схему силових ланцюгів , наведену на рис.8 .

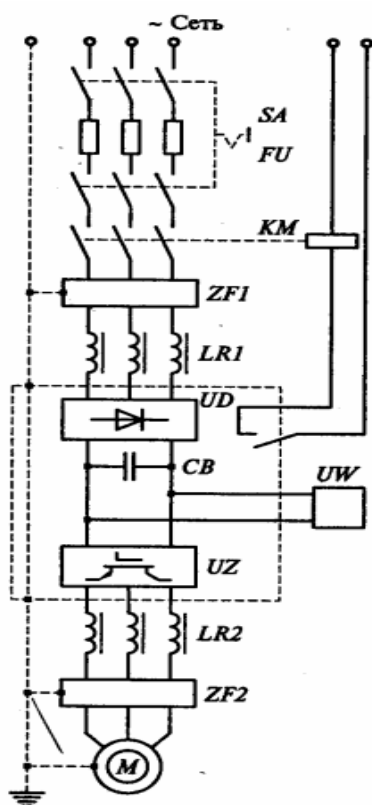


Рисунок 10 Схема силових ланцюгів частотно-регульованого асинхронного електроприводу: SA- головний вимикач; FU- лінійні запобіжники; KM- головний контактор; ZF1- вхідний фільтр; LR1- вхідний реактор; UD- випрямляч; CB-фільтр ланки постійного струму; UW- пристрій гальмування; UZ- автономний інвертор напруги; LR2- вихідний реактор; ZF2- вихідний фільтр; М- асинхронний двигун.

Перетворювач частоти містить некерований випрямляч , фільтр в ланці постійного струму і АІН , виконаний на повністю керованих напівпровідникових ключах. Автономний інвертор працює в режимі широтно - імпульсної модуляції (ШІМ) вихідної напруги. У разі необхідності в схему силових ланцюгів крім головного вимикача , лінійних запобіжників , головного контактора включаються фільтр електромагнітної сумісності , вхідний комутуючий реактор , синусоїдальний фільтр і вихідний реактор [26].

Перетворювач частоти з АІН (див. рис. 2.7) не дозволяє забезпечувати двосторонній обмін енергією між мережею і двигуном , так як в ньому використовується

некерований випрямляч . При генераторному гальмуванні віддаєма двигуном енергія розсіюється в елементах інвертора і резистори гальмівного пристрою , який підключається до шин постійного струму через керований напівпровідниковий ключ.

У тих випадках , коли для здійснення режимів електроприводу вигідний обмін [19].

енергією між мережею і двигуном , дволанковий перетворювачі частоти з АІН мають замість некерованого випрямляча активний випрямляч напруги. Випрямляч і інвертор в таких перетворювачах виконуються по ідентичним схемам, які працюють в режимі ШІМ.

За допомогою активного випрямляча напруги забезпечується не тільки рекуперативне гальмування асинхронного двигуна , а й робота перетворювача частоти з заданим значенням коефіцієнта потужності , наприклад рівним одиниці [18].

Активні випрямлячі застосовуються також у ДПЧ з автономними інверторами струму. При цьому отримують результати , аналогічні тим , що й при застосуванні ДПЧ з АІН .

У найближчій перспективі в регульованому асинхронному електроприводі можуть знайти застосування ПЧ з безпосереднім зв'язком на повністю керованих напівпровідникових приладах. При спеціальних алгоритмах управління ключами ПЧ з безпосереднім зв'язком забезпечує двосторонній обмін енергії між мережею і двигуном при одноразовому її перетворенні і коефіцієнті потужності , рівному одиниці [26].

Застосування двохланкових ПЧ з активними випрямлячами і ПЧ з безпосереднім зв'язком на керованих напівпровідникових приладах дозволяє вирішувати на якісно [26].

більш високому рівні завдання енергозбереження в системі автоматизованого електроприводу при виконанні ним основної своєї функції, що полягає в управлінні рухом робочих органів технологічних машин і агрегатів.

Вибір обладнання системи ПЧ-АД

Вибір перетворювача частоти

Вибір перетворювача частоти оснований на виконанні вимог до електроприводу та параметрів встановленого двигуна, а саме:

- номінальна напруга двигуна $U_{\text{дв}} = 6000 \text{ В}$
- номінальна потужність двигуна $P_{\text{дв}} = 1600 \text{ кВт}$

Обираємо перетворювач частоти ACS 2000 виробництва ABB з наступними параметрами: Таблиці 4

Таблиця 10.5 – Параметри перетворювача частоти ACS 2000

Категорія	Одиниця виміру	Значення
Номер моделі		ACS 2000
Номінальна потужність двигуна	кВт	250-16000
Номінальна вхідна напруга	В	6000 - 6600 В $\pm 10 \%$
Номінальний вихідний струм	А	269
Категорія	Одиниця виміру	Значення
Максимальна вихідна частота	Гц	75
Рівень шуму при 50/60 Гц	дБ	75/78
Вага (стандартна конструкція)	кг	2700
Габаритні розміри (ш х в х г)	мм	3200 x 2000 x 600

Вибір автоматичного повітряного вимикача

Повітряний вимикач обираємо виходячи з умови що пусковий струм двигуна не повинен перевищувати номінальний більше ніж у 2 рази [23]

Номінальний струм двигуна :

$$I_{ln} = \frac{P_{2n}}{\sqrt{3} \cdot U_{ln} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{1600000}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0,86 \cdot 0,947} = 189,2 A$$

Пусковий струм:

$$I_p = 2I_{ln} = 2 \cdot 189,2 = 378,4 A$$

Струм уставки теплових роз'єднувачів:

$$I_y = 1,3I_{ln} = 1,3 \cdot 189,2 = 245 A$$

З розрахованих параметрів обираємо автоматичний вимикач 3VE51 на номінальний струм відсічки 400 А і струм теплового роз'єднувача 250 А.

Вибір плавких запобіжників

Для захисту силових вентилів перетворювача частоти при зовнішніх та внутрішніх коротких замиканнях широко застосовуються швидкодіючі плавкі запобіжники. Запобіжники встановлюються у коло постійного струму, а також посліовно в колі кожного вентиля випрямляча і автономного інвертора. Вибір запобіжників, встановлених в коло постійного струму, викоується з умови:

$$\left. \begin{aligned} U_{вст} &> 1,2 \cdot U_{дн} = 1,2 \cdot 806,22 = 967,46 B, \\ I_{вст} &> k_{пер} \cdot I_{дн} = 1,5 \cdot 189,2 = 283,8 A. \end{aligned} \right\}$$

де $U_{вст}$, $I_{вст}$ – напруга і струм плавкої вставки запобіжника.

Обираємо плавкий запобіжник ПКТ 111-6-300-20УЗ на номінальний струм 300 А та струмом відключення 2500 А [26].

Розрахунок основних параметрів привідного двигуна

Номінальна швидкість обертання ротора і магнітного поля статора:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_n}{p} = \frac{60 \cdot 50}{6} = 500 \text{ об/хв},$$

$$n_n = n_0(1 - S_n) = 500(1 - 0.01) = 495 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$\omega_0 = \frac{3.14 \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 500}{30} = 52.33 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\omega_n = \frac{3.14 \cdot n_n}{30} = \frac{3.14 \cdot 495}{30} = 51.81 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Струм статора:

$$I_n = \frac{P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{1600000}{3 \cdot 600 \cdot 0.85 \cdot 0.946} = 184.97$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{1600000}{51.81} = 30882 \text{ Нм}.$$

Критичне ковзання:

$$S_k = S_n \left(m_{\max} + \sqrt{m_{\max}^2 - 1} \right) = 0.01 \left(2.4 + \sqrt{2.4^2 - 1} \right) = 0$$

Механічні втрати в двигуні:

$$\Delta P_{\text{мех}} = \frac{P_n}{6} \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) = \frac{1600000}{6} \left(\frac{1 - 0.946}{0.946} \right) = 15220$$

Коефіцієнт вязкого тертя:

$$B_m = \frac{\Delta P_{mex}}{\left(\frac{2\pi n_n}{60}\right)^2} = \frac{15220}{\left(\frac{2\pi 495}{60}\right)^2} = 5.665.$$

Активний опір обмотки ротора

$$R_r = \frac{(P_n + \Delta P_{mex})m_k}{3(1 - S_n)i_k^2 I_n^2} = \frac{(1600000 + 15220)2}{3(1 - 0.01)5 \cdot 184.97} = 1.287$$

Активний опір обмотки статора:

$$R_s = \frac{U_n^2(1 - S_n)}{2c_1 \left(1 + \frac{c_1}{S_k}\right) m_k (P_n + \Delta P_{mex})} = \frac{3460^2(1 - 0.01)}{2 \cdot 1.028 \left(1 + \frac{1.028}{0.046}\right) 2 \cdot (1600000 + 15220)} = 0.22$$

де $c_1 = 1.028$ – конструкційний коефіцієнт.

Індуктивність обмотки статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_s = L_r &= \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{2pf_n I_n \left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{\cos \varphi \cdot S_n}{S_k}\right)} = \\ &= \frac{\frac{3460}{\sqrt{3}}}{2p50 \cdot 184.97 \left(\sqrt{1 - 0.85^2} - \frac{0.85 \cdot 0.01}{0.046}\right)} = 0.004307 \end{aligned}$$

Індуктивність розсіювання обмотки статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_{ls} = L_{lr} &= \frac{1}{4pf_n} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{i_k I_n}\right)^2 - (R_s + R_r)^2} = \\ &= \frac{1}{4p50} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{3460}{\sqrt{3}}}{5 \cdot 184}\right)^2 - (0.2269 + 1.287)^2} = 0.15870 \end{aligned}$$

Взаємна індуктивність:

$$L_m = L_{ls} - L_s = 0.158707 - 0.0043073 = 0.1544 \text{ Гн.}$$

10.5 Показники енергоефективності промислових вентиляторів

Відомо, що промислові вентилятори, що використовуються в системах вентиляції, опалення та кондиціонування в будівлях, а також в різних виробничих і технологічних процесах, споживають більше 20 % вироблюваної електроенергії. Тому збільшення енергоефективності вентиляторів, зниження споживаної ними потужності в сукупності з раціональним їх використанням у системах є досить актуальною проблемою. Зниження частки енергоресурсів, які витрачаються на привід вентиляторів, одночасно вирішує завдання підвищення екологічної безпеки в країні і в світі [26].

У нашій країні ще в 90 - ті роки минулого сторіччя були сформульовані вимоги до підвищення ефективності роботи вентиляторів. У ГОСТ 5976-90 було запропоновано оцінювати аеродинамічні якості серії вентиляторів з випробувань типупредставника з діаметром колеса не менше 630 мм. Характеристики геометрично подібних вентиляторів цієї серії інших розмірів отримуються шляхом перерахунку за відомими формулами з урахуванням стисливості, числа Рейнольдса Re і масштабного ефекту. Однак із зменшенням розмірів вентиляторів не вдається забезпечити повне геометричне подібність зразків, і величина $\eta_{\max}$ зазвичай знижується: виявляється дія масштабного ефекту.

У ГОСТ 5976-90 наводиться необхідна умова для максимального значення повного ККД $\eta_{\max}$ серійних радіальних вентиляторів залежно від діаметра колеса D у вигляді [23]

$$\eta_{\max} \geq \eta_{\max 630} \exp \left\{ -0,17 \left[\ln(630/D) \right]^2 \right\}, \quad (23)$$

де $\eta_{\max 630}$ - максимальне значення повного ККД, відповідне характеристиці вентилятора з діаметром колеса $D = 630$ мм. Ця умова обмежує застосування вентиляторів з низьким ККД [26].

Формула (1) отримана в результаті узагальнення експериментальних досліджень кількох серій радіальних вентиляторів різних типорозмірів [4] . У формулі (1) діаметр D виражається в міліметрах і знаходиться в діапазоні від 125 до 630 мм. При великих значеннях діаметра $D > 630$ мм вдається забезпечити повне геометричне подібність зразків , і для цих типорозмірів величина $\eta_{\max}$ прийнята постійною. Залежність граничного значення максимального ККД вентилятора від діаметра колеса для різних серій вентиляторів , відповідна формулі (23) , наведена на рис. 11 .

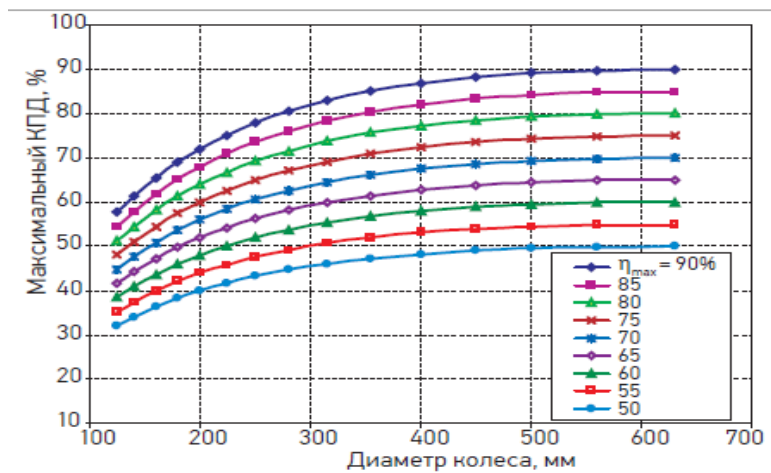


Рисунок 11 - Залежність максимального значення ККД від діаметра робочого колеса для вентиляторів однієї серії

Крім того , в ГОСТ 5976-90 наводиться вимога вибирати робочий режим вентилятора в області робочого ділянки характеристики , в якому величина ККД повинна відрізнятись від величини $\eta_{\max}$ не більше ніж на 10 %. Ця умова підвищує ефективність системи , в якій працює вентилятор [26].

Висновки. В данному розділі якості об'єкту дослідження обрано вентилятор головного провітрювання вентиляційного ствола типу ВЦД 31,5м, приведено його основні параметри, конструкцію і принцип дії. В якості системи керування обрано перетворювач частоти-асинхронний двигун. Обрано привідний асинхронний двигун, розраховано параметри схеми заміщення. Розраховано механічні, швидкісні і енергетичні характеристики для різних значень частоти.

11. Література

1. Електро та енергоефективність та оцінка її потенціалу для підземних залізрудних виробництв. А.М. Ялова, канд. техн. Наук.
2. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / [Синчук О. Н., Синчук И. О., Юрченко Н. Н., Чернышов А. А., Удовенко О. А., Пасько О. В., Гузов Э. С.] – Київ: ІЕДНАНУ, 2006. – 252 с.
3. Синчук О. Н. Совершенствование методов расчёта электрических нагрузок при проектировании и модернизации систем электроснабжения железорудных предприятий / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, Р. А. Пархоменко // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2013. – Вип. 1 (78). – С. 28 – 32.
4. О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, А.Н. Ялова. До питання оцінки потенціалу електроенергоефективності підземних залізрудних виробництв.
5. Синчук И.О., Гузов Э.С., Винник М.А О перспективах повышения эффективности функционирования комплекса" электроснабжение-электропотребление". 2016.
6. Правила Улаштування Енергоустановок .2017.
7. Якубовский Ф.Б. Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок.
8. Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. Електоропостачання промислових підприємств, Посібник до курсового та дипломного проектування
9. Ф.П. Шкрабец , А.В. Остапчук, Ю.Н. Безручко
Глубокий ввод напряжения 35 кВ для питания потребителей глубоких горизонтов шахты
- 10.KLM engineering каталог товаров, 2019.
11. В.И. Голинько Я.Я. Лебедев О.А. Муха вентиляция шахт и рудников 2012 р.
- 12.Саркис Папазян Вентиляция на подземных работах
- 13.Гірничий вісник, вип. 105, 2019

14. Sinchuk, O.M. Boiko, S.M. Karamanyts, F.I. Kozakevych, I.A. Baranovska, M.L. Yalova, A.M. (2018) Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supply SYSTEMS. IsIENCT, Warsaw, Poland.
15. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. М.: Недра, 1986, 232 с.
16. Sinchuk, I.O. (2018) Harmonization of system for assessing the electric- power consumption levels at mining enterprise. Mining of mineral deposits 12(4) 100-107.
17. Alexandra von Meier. Electric power systems a conceptual introduction. IEEE press 2006-309 pp.
18. Jiang S., Lian M., Lu C., Ma Q. Optimization research of mine production energy control system based on synergy theory. Paper AsiaVolume 2018, Issue Compendium3, 2018, Pages 48-52. 138 Гірничий вісник, вип. 105, 2019
19. A.J.H. Nel, J.C. Vosloo, M.J. Mathews. Financial model for energy efficiency projects in the mining industry. Energy Volume 163, 15 November 2018, Pages 546-554. <https://doi.org/10.1016/i.energv.2018-08-154>
20. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg. Power Generation and Control. 2014-620 pp.
21. Steven W. Blume. Electric Power System Basics for the Nonelectrical Professional. IEEE press Series on Engineering. 2017-231 pp.
22. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В. Егоров Д.А. Повышение точности определения расчетных нагрузок электроустановок полиметаллических рудников / Изв. ВУЗов Электромеханика, 1989, №3, С. 109-112.
23. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета
24. Копачев В.Ф. Сравнительный анализ компоновочных схем поверхностных комплексов главных вентиляторных установок // Известия УГГГА. Сер.: Горная электромеханика. – 2000. – Вып. 9. – С. 177–181.
25. Копачев В.Ф., Макаров Н.В. Регулирование центробежных вентиляторов энергетическим направляющим аппаратом // Горное оборудование и

электромеханика. 2007. – № 5. – С. 43–46.

26. Каледина Н.О., Артемьев В.Б., Косарев В.Д., Мещеряков Д.А.

Методические указания по проведению практических занятий и самостоятельной работе студентов по дисциплине «Вентиляция шахт»

27. В.Ф. Копачев Влияние адаптивных свойств вентиляторов на эксплуатационную эффективность поверхностных комплексов главных вентиляторных установок

28. Б.И. Абрамов, Л.Х. Дацковский, И.К. Кузьмин, Ю.В. Шевырёв

К вопросу выбора типа электропровода для шахтных вентиляторов

29.e-ks.ru

30. О.М.Сірий Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання.

Київ, 2011р.