

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
 (повне найменування інституту, назва факультету)

кафедра електромеханіки та машинобудування
 (повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.В. Калиниченко
 (підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 20__ р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітній ступінь)

на тему: «Підвищення ефективності електропостачання відокремленого підрозділу «Шахтоуправління «Добропільське» Державного підприємства «Добропільвугілля-видобуток»

Виконав: студент 3 курсу, групи ЕЛКзп-19і
 (шифр групи)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 (шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Андрюкевич С.А.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник ст.викл. каф. ЕМ Придятько І.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

зав.каф. ЕЛІН, к.т.н., доц. Коларов О.Ю.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань*

Студент _____
 (підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій _____.
 Кафедра електромеханіки та машинобудування _____.
 Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) бакалавр _____.
 Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____.
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ В.В. Калиниченко

“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Андрюкевича Сергія Анатолійовича _____.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення ефективності електропостачання відокремленого підрозділу «Шахтоуправління «Добропільське» Державного підприємства «Добропільвугілля-видобуток»

керівник роботи Придятько Ігор Владиславович

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

затверджені наказом від “ _____ ” _____ 2022 року № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.06.2022р. _____.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) матеріали звітів про практику, гірничо-геологічні умови та техніко-економічні параметри шахти; загальна характеристика діючої шахти; перелік електромеханічного обладнання дільниць шахти; техніко-економічні показники роботи підприємства за звітний період 2021 року і поточний період 2022 року.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) актуальність роботи; загальні відомості про електропостачання шахти; розрахунок силових трансформаторів ГПП, стоволових кабелів та реакторів; розрахунок електропостачання видобувної дільниці; пропозиції з підвищення ефективності електропостачання; економічна оцінка запропонованих заходів; техніка безпеки при експлуатації електрообладнання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 – схема зовнішнього електропостачання підприємства; 2, 3, 4 – схеми електропостачання видобувної дільниці; 5, 6, 7 – залежності втрат напруги трансформаторної підстанції від потужності споживачів

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2022р._____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>15.04.2022</i>	
2	<i>Забезпечення надійності електропостачання</i>	<i>22.04.2022</i>	
3	<i>Загальні відомості щодо електропостачання гірничих підприємств</i>	<i>30.04.2022</i>	
4	<i>Вибір оптимальної системи електропостачання підземних споживачів</i>	<i>05.05.2022</i>	
5	<i>Розрахунок електропостачання видобувної ділянки</i>	<i>10.05.2022</i>	
6	<i>Розрахунок високовольтної розподільної підземної мережі</i>	<i>15.05.2022</i>	
7	<i>Розрахунок електропостачання шахти</i>	<i>21.05.2022</i>	
9	<i>Безпечна експлуатація електромеханічного обладнання</i>	<i>03.06.2022</i>	
10	<i>Оформлення роботи та підготовка до захисту</i>	<i>08.06.2022</i>	

Студент

(підпис)

Андрюкевич С.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Придятько І.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Андрюкевич С.А. Підвищення ефективності електропостачання відокремленого підрозділу «Шахтоуправління «Добропільське» Державного підприємства «Добропіллявугілля-видобуток» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – ФМЕХТ ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

В роботі виконано розрахунок електричних навантажень шахти, запропоновано до застосування більш ефективні трансформатори ГПП типу ТДТНШ-16000/110 з розщепленою вторинною обмоткою, визначено раціональний переріз ствольового кабелю та кабелів розподільних мереж. Виконано розрахунок електропостачання видобувної ділянки з вибором сучасної підземної діляничної трансформаторної підстанції, кабельної мережі та комутаційних апаратів з вакуумними контакторами. Запропоновано конденсаторні установки для компенсації реактивної енергії та зменшення витрат за складовою електроенергії в собівартості вугілля.

ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ,
КОМУТАЦІЙНА АПАРАТУРА, СТРУМ УСТАВКИ, ОПІР, ЄМНІСТЬ,
КОРОТКЕ ЗАМКНЕННЯ, ВТРАТА НАПРУГИ

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДОКРЕМЛЕНОГО ПІДРОЗДІЛУ «ШАХТОУПРАВЛІННЯ «ДОБРОПІЛЬСЬКЕ» ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ-ВИДОБУТОК»	7
1.1 Електричні навантаження шахти, визначення потужності трансформаторів ГПП	7
1.2 Перевірка мережі гірничого підприємства за умовою прямого пуску двигунів великої потужності	10
1.3 Потужність КЗ на затискачах вторинної обмотки на трансформаторах ГПП	11
1.4 Параметри ствольних кабелів	12
1.5 Добір магістральних кабелів	15
1.6 Визначення потужності КЗ на розподільчих пунктах	17
1.7 Розрахунок напруги в підземній мережі	20
2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИДОБУВНОЇ ДІЛЬНИЦІ ВІДОКРЕМЛЕНОГО ПІДРОЗДІЛУ «ШАХТОУПРАВЛІННЯ «ДОБРОПІЛЬСЬКЕ» ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ-ВИДОБУТОК»	23
2.1 Параметри електроприводів видобувної дільниці	23
2.2 Вибір повної потужності дільничного трансформатора	25
2.3 Вибір кабелів видобувної дільниці	26
2.4 Розрахунок струмів КЗ в дільничній мережі	32
2.5 Вибір пускозахисної апаратури та уставок спрацювання максимального захисту	34
2.6 Перевірка опору ізоляції та ємності дільничної мережі	37
3 ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИСОКОЮ НАПРУГОЮ	40
3.1 Добір електричних апаратів керування та захисту напругою 6кВ	40
3.2 Конденсаторні установки в шахтній високовольтній мережі	40
3.3 Втрати потужності та енергії в високовольтних мережах	43
3.4 Перевірка забезпечення безпеки в шахтних мережах напругою 6кВ	46
3.5 Визначення струмів КЗ і уставок захисту в розподільних мережах	47
4 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
ВИСНОВОК	53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	54
ДОДАТКИ	55

ВСТУП

Шахта «Добропільська» «Шахтоуправління «Добропільське» Державного підприємства «Добропільвугілля-видобуток» одержує електроенергію напругою 110кВ по двох незалежних вводах від Добропільської районної підстанції. Потужні поверхневі споживачі стаціонарних установок (вентилятори головного провітрювання, підйомні та компресорні установки) живляться напругою 6кВ; цеха, майстерні, склади та інші електроспоживачі з невеликою потужністю живляться напругою 380 або 660В. Підземні споживачі електроенергії живляться напругою 6кВ від головної поверхневої понижувальної підстанції через клітьовий ствол зі свіжим струменем повітря. Центральна підземна підстанція (ЦПП) зводиться в приствольному дворі горизонту 300м. Крім того, аналогічна підстанція монтується на горизонті 200м. Безпосередньо високою напругою в шахті живляться електродвигуни головного водовідливу. Розподілення електричної енергії по підземним виробкам здійснюється також напругою 6кВ. На підземних ділянках використовують діляничні трансформаторні підстанції типу ТСВП, які здійснюють перетворення високої напруги 6кВ в низьку напругу (до 1000В). Всі силові споживачі електроенергії підземних діляниць отримують низьковольтну напругу 660В. Напруга 127В використовується для живлення ручного електроінструмента (наприклад, ручне свердло СЕР-17), а також для освітлення підземних виробок. Напруга 220В застосовується тільки для освітлення на поверхні шахти.

1 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДОКРЕМЛЕНОГО ПІДРОЗДІЛУ «ШАХТОУПРАВЛІННЯ «ДОБРОПІЛЬСЬКЕ» ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ-ВИДОБУТОК»

1.1 Електричні навантаження шахти, визначення потужності трансформаторів ГПП

Для визначення електричних навантажень шахти застосовують спрощений чи більш точний методи. До основних методів визначення розрахункових навантажень гірничого підприємства відносять [1]: визначення розрахункового навантаження за методом коефіцієнту попиту; метод питомої витрати електроенергії. Для наших умов більш прийнятний перший метод (коефіцієнт попиту).

Активна потужність шахти розраховується:

$$P_{\text{ш}} = \sum_1^n P_{\text{нов}_i} + \sum_1^n P_{\text{нид}_i} = 6057 + 6590 = 12647 \text{ кВт.} \quad (1.1)$$

Реактивна потужність шахти визначається:

$$Q_{\text{ш}} = \sum_1^n Q_{\text{нов}_i} + \sum_1^n Q_{\text{нид}_i} = 6178 + 6722 = 12900 \text{ кВАр.} \quad (1.2)$$

Коефіцієнт потужності по шахті:

$$\text{tg}\varphi_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{ш}}}{P_{\text{ш}}} = \frac{12900}{12647} = 1,02 \Rightarrow \cos\varphi_{\text{ш}} = 0,7. \quad (1.3)$$

Розрахункове навантаження по шахті:

$$S_p = K_v * \sqrt{P_{ui}^2 + Q_{ui}^2} = 0.9 * \sqrt{12647^2 + 12900^2} = 16259 \text{ кВА.} \quad (1.4)$$

Визначаємо розрахункову потужність трансформаторів на головній понижувальній підстанції (ГПП) шахти:

$$S_{p_{тн}} = \frac{S_p}{n * K_z} = \frac{16259}{2 * 0.7} = 11614 \text{ кВА,} \quad (1.5)$$

де $K_z = 0,7$ – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$n = 2$ – мінімальна необхідна кількість силових трансформаторів на ГПП.

Для застосування глибокого вводу на ГПП шахти і відокремленого живлення підземних споживачів необхідно застосувати трансформатори з номінальною потужністю $S_{тн}=16\text{МВА}$ типу ТДТНШ-16000/110-3 напругою первинної обмотки $115 \pm 10.5\% \text{кВ}$ з розщепленою вторинною обмоткою: перша напругою 6.6 кВ для живлення підземних споживачів, друга напругою 11кВ для живлення споживачів поверхні.

Таблиця 1.1 – Параметри споживачів шахти

Споживачі	Установ- лена потужність Р _н , кВт	Коефіцієнт попиту К _п або завантаження К _з	Коефіцієнт потужності cos φ	Потужність	
				Активна Р, кВт	Реактивна Q, кВАр
Підземні споживачі					
Шахтний транспорт	2220	0,8	0,9	1998	2038
Дільничні конвеєри	880	0,75	0,7	616	628
Допоміжний транспорт	1000	0,75	0,7	700	714
Проходка	1800	0,5	0,6	1080	1102
Комбайн 1К101УД	180	0,5	0,7	126	129
Конвеєр СПЦ-160	220	0,6	0,7	154	157
ПТК	15	0,5	0,7	10,5	11
СНТ32	32	0,5	0,7	22,5	23

Продовження таблиці 1.1 – Параметри споживачів шахти

Споживачі	Установ- лена потужність P_n , кВт	Коефіцієнт попиту K_n або завантаженн я K_z	Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	Потужність	
				Активна P , кВт	Реактивна Q , кВАр
ВСП	110	0,5	0,7	77	78,5
ЛГК	11	0,5	0,7	7,7	8
ЛВД	24	0,5	0,7	17	17
Станція зрошення	30	0,5	0,7	21	21,5
Водовідлив	2000	0,8	0,88	1760	1795
Разом підземні				6590	6722
Поверхневі споживачі					
Скіповий підйом	1600	0,8	0,7	1120	1142
Породний підйом	630	0,75	0,7	441	450
Клітьовий підйом	1260	0,75	0,7	882	900
Головний вентилятор ВЦД- 47,5А	4000	0,8	0,7	2800	2856
АПК	400	0,3	0,63	252	257
Механічні майстерні	750	0,7	0,75	562	573
Разом поверхні				6057	6178
Разом споживачі шахти				12647	12900

Параметри електроспоживачів шахти зведемо в таблицю 1.1.

Фактичний коефіцієнт завантаження силового трансформатора ГПП:

$$B_m = \frac{S_p}{n * S_{mn}} = \frac{16259}{2 * 16000} = 0.51 \quad (1.6)$$

Силові трансформатори ГПП одержують електроенергію від енергосистеми (або безпосередньо від електростанції) та розподіляє цю енергію електроспоживачам гірничого підприємства. Так як шахта – це споживач першої категорії, то її живлення електроенергією здійснюється від двох незалежних джерел (мінімум дві повітряні лінії електропередавання).

1.2 Перевірка мережі гірничого підприємства за умовою прямого пуску двигунів великої потужності

Напруга на шинах підземних споживачів в пусковому режимі найбільш потужного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (в нашому випадку двигуна водовідливу) не повинна бути нижче на 15% від номінальної напруги [2]. Для споживачів, які живляться електроенергією від трансформатора з розщепленою вторинною обмоткою, напруга на шинах підземних споживачів в режимі мінімальної напруги в мережі визначається:

$$U_{\text{м}} = \left(1 - \frac{\Delta U\%}{100}\right) * \frac{50 * S_{\text{тн}} * U_0}{U_{\text{кз}}\% * \left(\sum_2^n P_{\text{нi}} + K_{\text{п}} * P_{\text{н найб}}\right) + 50 * S_{\text{тн}}} =$$

$$= \left(1 - \frac{5}{100}\right) * \frac{50 * 16 * 10^3 * 6.6}{10.5 * (5590 + 6 * 1000) + 50 * 16 * 10^3} = 5.44 \text{ кВ}; \quad (1.7)$$

де $\Delta U\%$ – допустиме зниження напруги в мережі в години мінімуму, складає 5% від номінального значення;

$S_{\text{тн}} = 16 \text{ МВА}$ – номінальна повна потужність силового трансформатора ГПП;

$U_{\text{кз}}\% = 10,5\%$ – напруга короткого замкнення (КЗ) трансформатора ГПП;

$U_0 = 6,6 \text{ кВ}$ – напруга холостого ходу (ХХ) трансформатора ГПП на шинах підземних споживачів;

$\sum_i^n P_{\text{нi}} = 5590 \text{ кВт}$ – потужність підземних споживачів без потужності найбільш потужного електродвигуна;

$P_{\text{н найб.}} = 1000 \text{ кВт}$ – номінальна потужність найбільш потужного двигуна;

$K_{\text{п}} = 6$ – коефіцієнт кратності пускового струму найбільш потужного двигуна.

Визначимо коефіцієнт зниження напруги на шинах підземних споживачів в режимі пуску найбільшого двигуна:

$$K_z \% = \frac{U_n}{U_n} * 100\% = \frac{5.44}{6.0} * 100\% = 90.6\% \quad (1.8)$$

Зниження напруги в режимі пуску найбільшого двигуна задовольняє вимогам (не менше 85% від номінального значення).

1.3 Потужність КЗ на затискачах вторинної обмотки на трансформаторах ГПП

Потужність КЗ на затискачах вторинної розщепленої обмотки силового трансформатора ГПП визначається:

$$S_{KЗ}^{(3)} = \frac{100 * S_{mn}}{1.875 * U_{KЗ} \% + P\%} = \frac{100 * 16 * 10^3}{1.875 * 10.75 + 0.44} = 77.6 \text{ МВА}, \quad (1.9)$$

де $U_{KЗ} \%$ – напруга КЗ силового трансформатора.

$$P\% = \frac{S_{mn} * U_{KЗ} \%_в}{S_{mnв}} = \frac{16 * 10^6 * 11}{400 * 10^6} = 0.44\% \quad (1.10)$$

$P\%$ – коефіцієнт впливу зовнішньої мережі на потужність КЗ на затискачах трансформатора;

$\Delta U_{KЗВ} \%$ – напруга КЗ зовнішнього трансформатора, в нашому випадку $\Delta U_{KЗВ} \% = 11\%$;

$S_{\text{тнв}} = 400 \text{ МВА}$ – потужність зовнішнього трансформатора енергосистеми.

Потужність КЗ на затискачах трансформатора ГПП перевищує допустиму в підземних мережах 100 МВА та потребує обмеження індуктивним опором реактора. Також в свою чергу вона буде обмежуватися опором ствольових кабелів, параметри яких визначимо нижче.

1.4 Параметри ствольових кабелів

За сумарною потужністю підземних споживачів визначаємо струми на всі ствольові кабелі:

$$\sum I_{\text{ств}} = \frac{P_{\text{під}}}{\sqrt{3} * U_{\text{н}} * \cos \varphi_{\text{під}}} = \frac{6590}{\sqrt{3} * 6.6 * 0.682} = 845 \text{ А.} \quad (1.11)$$

де $P_{\text{під}} = 6590 \text{ кВт}$ – сумарна розрахункова потужність підземних споживачів;

$U_{\text{н}} = 6,6 \text{ кВ}$ – напруга підземної мережі;

$\cos \varphi_{\text{під}} = 0,692$ – коефіцієнт потужності надземних споживачів.

Силові трансформатори ГПП працюють в роздільному режимі та струм на один трансформатор складає:

$$I_{\text{ств(1)}} = \sum \frac{I_{\text{ств}}}{2} = \frac{845}{2} = 422.5 \text{ А.} \quad (1.12)$$

Вибір перерізів ствольових кабелів виконуємо з урахуванням робочого і форсованого режимів їх роботи. Величину струмів в нормальному режимі приймають не більше $I_{\text{роб}} \leq 0,8 * I_{\text{тр. доп}}$ тривало допустимого.

Складаємо таблицю робочих струмів на декілька перерізів, приєднаних до розщеплених вводів, та визначаємо їх кількість від одного трансформатора. Вибираємо раціональний переріз одного ствольового кабелю, для якого кількість вводів близька до цілого числа.

Таблиця 1.2 – Вибір раціональних перерізів кабелів уводів

Переріз кабелю, S, мм ²	50	70	95	120	150
Тривало допустимий струм на один кабель, I _{тр} , А	145	175	215	250	290
Прийнятий робочий струм на один кабель I _{раб} =0.8*I _{тр} , А	116	140	172	200	232
Робочій струм на ввід, А	232	280	344	400	464
Необхідна кількість вводів	4,06	3,96	2,72	2,35	2

Вибираємо раціональний переріз одного ствольового кабелю, при якому найменша вартість ствольових кабелів. Це складний аналіз, коли менше уводів і кількість їх близька до цілого числа. По розрахунку приймаємо три розщеплених вводи на один трансформатор ГПП з перерізом кабелю 3×95мм².

Визначаємо опір розщеплених реакторів:

$$X_p \geq \sqrt{n^2 * X_{дон}^2 - R_{ст}^2} - n * X_{тн} - X_{ст} = \sqrt{3^2 * 0.36^2 - 0.15^2} - 3 * 0.443 - 0.05 = -0.3 \text{ Ом.} \quad (1.13)$$

$$X_{доп} = \frac{U^2}{S_{доп}^{(3)}} = \frac{36 * 10^6}{100 * 10^6} = 0.36 \text{ Ом.} \quad (1.14)$$

$X_{доп}$ – доступний опір в підземних мережах, Ом.

$$X_{тн} = \frac{1.875 * U_{кз} \% * U^2}{100 * S_{тн}} = \frac{1.875 * 10.5 * 10^6 * 36}{100 * 16 * 10^6} = 0.443 \text{ Ом.} \quad (1.15)$$

$X_{тн}$ – опір вторинної обмотки розщепленого трансформатора, Ом;

$n=3$ – кількість введів від одного трансформатора.

Дійсний реактивний та активний опори стволів кабелів визначаються:

$$X_{ст}=X_0 \cdot L_{ст} ; \quad R_{ст}=R_0 \cdot L_{ст}. \quad (1.16)$$

де $X_0=0,078 \text{ Ом/км}$, $R_0=0,189 \text{ Ом/км}$ – відповідно питомий індуктивний та активний опори стволів кабелів;

$L_{ст}=0,7 \text{ км}$ – довжина ствола, яка складається з геометричної довжини кабелю по стволу $L_{ст}=0,55 \text{ км}$ та додатково 150 м для прокладки від ГПП до ствола й від ствола до центральної підземної підстанції (ЦПП).

$$X_{ст}=0,078 \cdot 0,7=0,05 \text{ Ом}; \quad R_{ст}=0,189 \cdot 0,7=0,13 \text{ Ом}.$$

За розрахунковим опором вибір розщепленого реактора не потрібен.

Визначаємо фактичну потужність КЗ на шинах ЦПП:

$$\begin{aligned} S_{кзцт}^{(3)} &= \frac{n \cdot U^2}{\sqrt{(n \cdot X_{тн} + X_{рн} + X_{ст})^2 + R_{ст}^2}} \\ &= \frac{3 \cdot 36 \cdot 10^6}{\sqrt{(3 \cdot 0,443 + 0 + 0,05)^2 + 0,13^2}} = 77,1 \text{ МВА} \end{aligned} \quad (1.17)$$

Фазовий параметр потужності КЗ на шинах ЦПП:

$$\begin{aligned} \text{tg} \varphi_{цп} &= \frac{n \cdot X_{тн} + X_{рн} + X_{ст}}{R_{ст}} = \frac{3 \cdot 0,443 + 0 + 0,05}{0,13} = 10,6 . \\ \varphi_{цп}^{\circ} &= 94^{\circ}. \end{aligned} \quad (1.18)$$

Модуль опору ЦПП:

$$X_{\text{цтп}} = \frac{U^2}{S_{\text{кз.цтп}}^{(3)}} = \frac{36 \cdot 10^6}{77.1 \cdot 10^6} = 0.467 \text{ Ом.} \quad (1.19)$$

1.5 Добір магістральних кабелів

Потужність підземних споживачів $P_{\text{під}}=6590\text{кВт}$, потужність головного водовідливу $P_{\text{вод}}=1760\text{кВт}$, допоміжного транспорту $P_{\text{доп}}=700\text{кВт}$, в розподільчу мережу не передається, а тільки $P_{\text{роз}}$:

$$P_{\text{роз}} = P_{\text{під}} - \sum P = 6590 - 2460 = 4130\text{кВт.} \quad (1.20)$$

Навантаження розподільної мережі шахти розподіляють приблизно на два трансформатора. Струм в кожній половині розподільної мережі визначається:

$$I_{\text{розл}} = \frac{P_{\text{мер}}}{2\sqrt{3} * U * \cos \varphi_{\text{під}}} = \frac{4130 * 10^3}{2\sqrt{3} * 6 * 10^3 * 0.68} = 290 \text{ А.} \quad (1.21)$$

Ця величина струму передається до високовольтного розподільчого пункту РПП-6 №1. Для визначення параметрів магістралі до РПП-6 №1 складаємо таблицю 1.3 на декілька перерізів кабелі, за якою визначаємо необхідну кількість вводів.

Таблиця 1.3 – Вибір перерізів кабелів магістралі

Переріз кабелів, мм ²	50	70	95	120	150
0.8 I _{тр. доп} – робочий струм, А	116	140	172	200	231
n – кількість вводів	4,35	3,60	2,53	2,52	2,67

Приймаємо $n=3$ вводи з перерізом кабелів $3 \times 70 \text{ мм}^2$. Довжину магістралі визначаємо з плану гірничих робіт $L_{m1}=1,2 \text{ км}$.

На РПП-6 №2 електроенергія подається з РПП-6 №1, струм якої складає 55% від струму на РПП-6 №1.

$$I_{pp2}=0,55 \cdot 290=160 \text{ А.} \quad (1.22)$$

Таким же чином вибираємо переріз кабелів магістралі від одного високовольтного розподільного пункту до другого за таблицею 1.4.

Таблиця 1.4 – Вибір перерізів кабелів другої магістралі

Переріз кабелів, S , мм^2	50	70	95	120
$0.8 I_{\text{тр. доп}}$ – робочий струм, А	116	140	172	200
n – кількість вводів	2,39	1,98	1,61	1,385

Приймаємо до РПП-6 №2 переріз магістральних кабелів $3 \times 70 \text{ мм}^2$ з кількістю вводів $n=2$, довжина другої магістралі за планом гірничих робіт $L_{m2}=1,5 \text{ км}$.

Обмежимося розрахунком параметрів тільки двох дільничних трансформаторних підстанцій: одна з них активною потужністю $P_{\text{діль}}=622 \text{ кВт}$ на відстані від РПП-6 №1 $L_{\text{діль}}=1,7 \text{ км}$, коефіцієнт потужності її споживачів $\cos \phi_{\text{діль}}=0,7$.

Переріз кабелів для електропостачання дільничних трансформаторних підстанцій вибираємо за тривало допустимим струмом навантаження.

$$I \leq I_{\text{тр доп}} \quad (1.23)$$

Струм трансформаторної дільничної підстанції:

$$I_1 = \frac{P_{діль I}}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi_1} = \frac{622}{\sqrt{3} * 6.3 * 0.7} = 77.75 \text{ А.} \quad (1.24)$$

Приймаємо кабель з перерізом $3 \times 25 \text{ мм}^2$.

1.6 Визначення потужності КЗ на розподільчих пунктах

Опір магістралі від ЦПП до високовольтного розподільчого пункту РПП-6:

$$Z_{.m1} = \frac{Z_{o1} * L_{.m1}}{n_1} = \frac{0.209 * 1.2}{3} = 0.084 \text{ Ом.} \quad (1.25)$$

Відношення опору магістралі до опору на шинах ЦПП:

$$\Pi_{m1} = \frac{Z_{.m1}}{Z_{\text{шн}}} = \frac{0.084}{0.467} = 0.18. \quad (1.26)$$

Фазовий параметр кабелів в першій магістралі за табл. $\varphi_{m1} = 17^\circ$.

Потужність КЗ на шинах РПП-6 №1:

$$\begin{aligned} S_{\text{кзРПП-I}}^{(3)} &= S_{\text{кзЦПП}}^{(3)} * \frac{1}{\sqrt{1 - n_{m1}^2 + 2 * \Pi_{m1} * \cos(\varphi_{\text{ЦПП}} - \varphi_{m1})}} = \\ &= 77.1 * \frac{1}{\sqrt{1 + 0.18^2 + 2 * 0.18 * \cos(82^\circ - 17^\circ)}} = 70.8 \text{ МВА.} \end{aligned} \quad (1.27)$$

Фазовий параметр потужності КЗ на шинах РПП-6 №2:

$$\operatorname{tg} \varphi_{pnn1} = \frac{\sin \varphi_{unn} + n_{m1} * \sin \varphi_{m1}}{\cos \varphi_{unn} + n_{m1} * \cos \varphi_{m1}} = \frac{0,99 + 0,18 * \sin 17^\circ}{0,094 + 0,18 * \cos 17^\circ} = 3,88. \quad (1.28)$$

$$\varphi_{pnn1} = 83,9^\circ.$$

Опір на шинах РПП-6 №1:

$$Z_{pnn1} = \frac{U^2}{S_{кз pnn-1}^{(3)}} = \frac{36 * 10^6}{70,8 * 10^6} = 0,508 \text{ Ом.} \quad (1.29)$$

Визначаємо потужність КЗ на шинах РПП-6 №2.

Опір магістралі від РПП-6 №1 до РПП-6 №2 визначається:

$$Z_{m2} = \frac{Z_{02} * L_{m2}}{n_2} = \frac{0,272 * 1,5}{2} = 0,204 \text{ Ом.} \quad (1.30)$$

Фазовий параметр другої магістралі $\varphi_{m2} = 18^\circ$.

Відношення опору другої магістралі до опору на шинах РПП-6 №1:

$$\Pi_{m2} = \frac{Z_{m2}}{Z_{pnn-1}} = \frac{0,204}{0,508} = 0,4. \quad (1.31)$$

Потужність КЗ на шинах РПП-6 №2:

$$\begin{aligned} S_{кз pnn2}^{(3)} &= S_{кз pnn1}^{(3)} * \frac{1}{\sqrt{1 + \Pi_{m2}^2 + 2 * \Pi_{m2} * \cos(\varphi_{pnn-1} - \Gamma \varphi_{m2})}} = \\ &= 70,8 * \frac{1}{\sqrt{1 + 0,4^2 + 2 * 0,4 * \cos(83,9 - 18^\circ)}} = 58 \text{ МВА.} \end{aligned} \quad (1.32)$$

Фазовий параметр потужності КЗ на шинах РПП-6 №2:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{м2}} = \frac{\sin \varphi_{\text{пнн-1}} + \Pi_{\text{м1}} * \sin \varphi_{\text{м2}}}{\cos \varphi_{\text{пнн-1}} + \Pi_{\text{м1}} * \cos \varphi_{\text{м2}}} = \frac{\sin 83.9^\circ + 0.4 * \sin 18^\circ}{\cos 83.9^\circ + 0.4 * \cos 18^\circ} = 2.29. \quad (1.33)$$

$$\varphi_{\text{м2}} = 74^\circ.$$

Опір КЗ на шинах РПП-6 №2:

$$S_{\text{пнн2}} = \frac{U^2}{S_{\text{кзпнн-2}}^{(3)}} = \frac{36 * 10^6}{58 * 10^6} = 0.62 \text{ Ом}. \quad (1.34)$$

Визначимо потужність КЗ на шинах дільничної підстанції, яка живиться від підстанції РПП-6 №1 кабелем з перерізом жил $3 \times 25 \text{ мм}^2$ довжиною $L=1,7 \text{ км}$, питомий опір якого $z_{01}=0,722 \text{ Ом/км}$, фазовий параметр $\varphi_{\text{к1}}=7^\circ$.

Визначаємо:

$$\Pi_{\text{уч1}} = \frac{Z_{01} * L_{\text{діль}}}{Z_{\text{пнн-1}}} = \frac{1.7 * 0.722}{0.508} = 2.416 \quad (1.35)$$

Потужність КЗ на шинах підземної дільничної підстанції:

$$\begin{aligned} S_{\text{кзділь}}^{(3)} &= S_{\text{кзпнн-1}}^{(3)} * \frac{1}{\sqrt{1 + n_{\text{n1}}^2 + 2 * n_{\text{n1}} * \cos(\varphi_{\text{пнн-1}} - \varphi_{\text{к1}})}} = \\ &= 70.8 * \frac{1}{\sqrt{1 + 2.416^2 + 2 * 2.416 * \cos(84 - 7)}} = 25.15 \text{ МВА}. \end{aligned} \quad (1.36)$$

1.7 Розрахунок напруги в підземній мережі

Напруга на шинах ГПП підземних споживачів при повному навантаженні визначається:

$$U_1 = U_{\text{опт}} * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - 0.01 * B_T * U_{\text{кз}} \% * \cos(\varphi_{\text{тн}} - \varphi_{\text{під}})} \right) =$$

$$= 6.6 * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - 0.01 * 0.69 * 10.75 * \cos(90^\circ - 47^\circ)} \right) = 6.22 \text{ кВ.} \quad (1.37)$$

де $U_{\text{о під}} = 6,6 \text{ кВ}$ – напруга холостого ходу на шинах ГПП підземних споживачів розщепленого трансформатора;

$B_T = 0,69$ – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$U_{\text{кз}} \% = 10,75\%$ – напруга КЗ трансформатора;

$\varphi_{\text{тн}} = 90^\circ$ – фазовий параметр трансформатора;

$\varphi_{\text{під}} = 47^\circ$ – фазовий параметр підземного навантаження.

Напруга на шинах ЦПП буде:

$$U_2 = U_1 * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{\sqrt{3} * B_k * I_{\text{max}} * L_{\text{см}} * Z_k * \cos(\varphi - \varphi_k)}{U_1}} \right) =$$

$$= 6.22 * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{\sqrt{3} * 422.5 * 0.7 * 0.209 * \cos(47 - 17^\circ)}{3 * 6220}} \right) = 6.188 \text{ кВ,} \quad (1.38)$$

$$B_k I_{\text{max}} = \frac{I_{\text{смг}}}{3} = \frac{422.5}{3}, \quad (1.39)$$

де $B_k \cdot I_{\text{max}}$ – струм одного стоволового кабелю, А;

$L_{\text{ст}} = 0,7 \text{ км}$ – довжина стоволового кабелю;

$Z_{\text{ст}} = 0,209 \text{ Ом/км}$ – питомий опір одного стоволового кабелю;

$\varphi = 47^\circ$ – фазовий параметр навантаження;

$\varphi_{\text{ст}} = 17^\circ$ – фазовий параметр ствольового кабелю.

Напруга на шинах розподільного пункту РПП-6 №1:

$$U_3 = U_2 * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{\sqrt{3} * B_{\kappa} * I_{\max} * L_{m1} * Z_{\kappa} * \cos(\varphi - \varphi_{\kappa})}{U_2}} \right) =$$

$$= 6.188 * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{\sqrt{3} * 290 * 1.2 * 0.209 * \cos(47 - 17^\circ)}{3 * 6188}} \right) = 6.15 \text{ кВ}, \quad (1.40)$$

$$B_{\kappa} I_{\max} = \frac{I_{\text{мерл}}}{3} = \frac{290}{3}, \quad (1.41)$$

де $B_{\kappa} \cdot I_{\max}$ – струм в одному магістральному кабелі до РПП-6 №1;

$L_{\text{кб}} = L_{\text{м1}} = 1,2 \text{ км}$ – довжина магістралі;

$Z_{\kappa} = Z_{\text{м1}} = 0,209 \text{ Ом/км}$ – питомий опір магістрального кабелю;

$\varphi_{\text{м1}} = 17^\circ$ – фазовий параметр магістрального кабелю.

Напруга на шинах РПП-6 №2:

$$U_4 = U_3 * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{\sqrt{3} * B_{\kappa} * I_{\max} * L_{\text{м2}} * Z_{\kappa} * \cos(\varphi - \varphi_{\kappa})}{U_3}} \right) =$$

$$= 6.15 * \left(0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{\sqrt{3} * 160 * 1.5 * 0.272 * \cos(47 - 18^\circ)}{2 * 6150}} \right) = 6.1 \text{ кВ}, \quad (1.42)$$

$$B_{\kappa} I_{\max} = \frac{I_{\text{м2}}}{2} = \frac{160}{2}, \quad (1.43)$$

де $B_{\kappa} \cdot I_{\max}$ – струм по одному кабелю до РПП-6 №2, А;

$L_{\text{м2}} = 1,5 \text{ км}$ – довжина магістралі до РПП-6 №2;

$\varphi_{\text{м2}} = 18^\circ$ – фазовий параметр кабелю до РПП-6 №2.

Напруга на шинах дільничної трансформаторної підстанції:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{діль}} &= U_{\text{рпп-1}} * \left(0.5 + \sqrt{\frac{0.25 - \sqrt{3} * B * I_{\text{мділь}} * L_{\text{діль}} * Z_{\text{о1}} * \cos(\varphi - \varphi_{\text{діль}})}{U_{\text{рпп-1}}}} \right) = \\
 &= 6.15 * \left(0.5 + \sqrt{\frac{0.25 - \sqrt{3} * 77.75 * 1.7 * 0.722 * \cos(45 - 7)}{6150}} \right) = 5.9 \text{ кВ}, \quad (1.44)
 \end{aligned}$$

де $B \ I_{\text{max}} = 77,75 \text{ А}$ – струм по кабелю;

$L_{\text{діль1}} = 0,7 \text{ км}$ – довжина високовольтного кабелю до дільничної підстанції;

$\varphi_{\text{діль}} = 7^\circ$ – фазовий параметр дільничного кабелю;

$Z_{\text{ок1}} = 0,722 \text{ Ом/км}$ – питомий опір дільничного кабелю;

$\varphi_2 = 45^\circ$ – фазовий параметр навантаження.

2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИДОБУВНОЇ ДІЛЬНИЦІ ВІДОКРЕМЛЕНОГО ПІДРОЗДІЛУ «ШАХТОУПРАВЛІННЯ «ДОБРОПІЛЬСЬКЕ» ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ-ВИДОБУТОК»

2.1 Параметри електроприводів видобувної дільниці

Розраховуємо електропостачання видобувної дільниці з довжиною лави $L_{\text{л}}=220\text{м}$, яка обладнана механізованим комплексом з потужністю електропривода видобувного комбайна $P_{\text{к}}=180\text{кВт}$, скребковий конвеєр лави з електроприводом $2 \times 110\text{кВт}$, перевантажувач з двигуном 55кВт , насосною станцією з двигуном 32кВт , ВСП потужністю $2 \times 55\text{кВт}$, станцією зрошення потужністю 30кВт , лебідками потужністю 11 та 24кВт . Для живлення електроприводів застосована напруга 660В . Підземна дільнична підстанція та низьковольтний розподільний пункт РПП-0,69 лави, де розміщено пускозахисну апаратуру керування видобувним обладнанням, розташовані на конвеєрному штреку. Максимальна відстань від РПП-0,69 до лави – 60м , від пересувної підстанції до РПП-0,69 – 20м . З урахуванням провисання кабелів (за нормативом для гнучкого кабелю додається 10% від геометричної довжини) довжина кабелю від РПП-0,69 до комбайна складає:

$$L_{\text{КОМ}}=1,1 \times (220+60)=308\text{м}. \quad (2.1)$$

Довжина кабелю до головного та хвостового приводів конвеєра лави:

$$\begin{aligned} L_{\text{ГОЛ.КОН}} &= 1,1 \times 60 = 66\text{м}; \\ L_{\text{ХВОС. КОН}} &= 1,1 \times (220+60) = 308\text{м}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Довжина магістрального кабелю:

$$L_{\text{МК}} = 1,1 \times 20 = 22 \text{ м.} \quad (2.3)$$

Складаємо таблицю 2.1 електроприймачів видобувної дільниці.

Таблиця 2.1 – Параметри електроприводів видобувної дільниці

Електроприводи споживачів	Номінальна потужність P_n , кВт	Коефіцієнт заванта- ження K_z	номінальні		пускові	
			Струм, А. I_n	$\cos\varphi_n$	Струм, А. I_n	$\cos\varphi_n$
Комбайн 1К101УД	180	0,85	179	0,88	1163,5	0,5
Конвеєр лави СПЦ-163	2*110	0,85	110,5	0,87	718	0,5
Перевантажувач ПТК	15	0,9	15	0,87	90	0,53
Станція СНТ32	32	0,75	33	0,85	231	0,54
ВСП	2*55	0,9	54,5	0,88	354	0,52
Станція зрошення	30	0,75	30	0,86	210	0,55
Лебідка ЛГК	11	0,80	11	0,86	77	0,55
Лебідка ЛВД	24	0,80	24	0,86	136,8	0,55
Разом	622					

Номінальні струми електроприводів визначають за каталогом або визначають за формулою [3]:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos\varphi_n} \quad (2.4)$$

де P_n – номінальна потужність електроприводу, кВт;

U_n – номінальна напруга мережі, В;

$\cos\varphi_n$ – номінальний коефіцієнт потужності.

Струм пускового режиму визначають через кратність струму:

$$I_{\pi} = K_{\pi} \times I_n \quad (2.5)$$

Всі параметри електроприводів заносимо до таблиці 2.1.

2.2 Вибір повної потужності дільничного трансформатора

Вибір повної потужності дільничного трансформатора здійснюється за методом коефіцієнта попиту [1]:

$$K_n = 0.4 + 0.6 * \frac{P_{n.naib}}{\sum_1^n P_{ni}} = 0.4 + 0.6 * \frac{180}{622} = 0.573. \quad (2.6)$$

Середній коефіцієнт потужності для видобувної ділянки складає $\cos\varphi_{cp}=0,7$.

Розрахункова повна потужність трансформатора буде:

$$S_{mp} = K_n * \frac{\sum_i^n P_{ni}}{\cos\varphi_{cp}} = \frac{0.573 * 622}{0.7} = 509 \text{ кВА}. \quad (2.7)$$

Номінальна повна потужність трансформатора видобувної ділянки повинна задовольняти умові:

$$S_{тн} \geq S_{тр} \quad (2.8)$$

Приймаємо пересувну підземну дільничну трансформаторну підстанцію типу КТПВ-630-6/0.69.

Коефіцієнт завантаження дільничного трансформатора:

$$B_{т} = \frac{S_p}{S_{тн}} = \frac{509}{630} = 0.8. \quad (2.9)$$

2.3 Вибір кабелів видобувної ділянки

Визначення перерізу силового кабелю за нагріванням виконується за струмом I_p та обирається більше стандартне значення перерізу (тривалий допустимий струм):

$$I_p \leq I_{тр} \quad (2.10)$$

Обрані кабелі видобувної ділянки за тривалим допустимим струмом та їх параметри наведемо в таблиці 2.2.

Струм магістрального кабелю визначається:

$$I_{мк} = \frac{K_n * \sum_1^n P_{ni}}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_{cp}} = \frac{0.573 * 622}{\sqrt{3} * 660 * 0.7} = 445 \text{ А.} \quad (2.11)$$

Виконаємо розрахунок діляничної кабельної мережі за втратою напруги. Для цього спочатку визначаємо коефіцієнт трансформації діляничного трансформатора:

$$K_T = \frac{U_{н1}}{U_{о2}} = \frac{6000}{690} = 8.7. \quad (2.12)$$

Напруга на затискачах діляничного трансформатора в холостому режимі:

$$U_{20} = \frac{U_{1в}}{KT} = \frac{5900}{8.7} = 678 \text{ В.} \quad (2.13)$$

де $U_{1в} = 5900В$ – висока напруга на дільничній трансформаторній підстанції.

Таблиця 2.2 – Параметри кабелів видобувної дільниці

Найменування кабелів споживачів	тип кабелю	Переріз жил, мм ²	довжина, м	Питомий повний опір, z	фазовий параметр	Ємність, мкФ/км.
Комбайн 1К101УД	КГЭШ	3×70	325	0.292	15.7°	0.66
Конвеєр лави СПЦ-163	КГЭШ	2× (3×35)	325 70	0.292	15,7	0.66
Перевантажувач ПТК	КГЭШ	3×16	22	1.22	5.1	0.361
Станція СНТ32	КГЭШ	3×10	45	1.96	2,7	0.327
ВСП	КГЭШ	3×25	325	0,712	6,5	0.426
Станція зрошення	КГЭШ	3×10	45	1.96	2.7	0.327
Лебідка ЛГК	КГЭШ	3×16	100	1.22	5.1	0.361
Лебідка ЛВД	КГЭШ	3×16	100	1,22	5,1	0,361
Магістралі	КГЭШ	2× (3×70)	22	0.292	15.7°	0.66

Гранично допустима напруга на затискачах електродвигунів в робочому режимі:

$$U_{\text{гран}} = 0,95 \times U_{\text{н}} = 0,95 \times 660 = 627В. \quad (2.14)$$

Допустима втрата напруги в мережі:

$$\Delta U_{\text{гран}} = U_{20} - U_{\text{гран}} = 678 - 627 = 51В. \quad (2.15)$$

Допустима втрата напруги визначається в границі $(1,05-0,95) \times U_n$ та для мережі 660В складає $\Delta U_n = 690 - 627 = 63\text{В}$ і це 10% від номінальної величини. В протяжних розподільчих мережах напруга на вході дільничних трансформаторів відхиляється від номінальної величини і це повинно враховуватися. В нашому випадку допустима втрата напруги складає 51В. Визначимо її в відсотках:

$$\Delta U_{\text{гран}} \% = \frac{\Delta U_{\phi}}{\Delta U_n} * 10\% = \frac{51}{63} * 10\% = 8.1\%. \quad (2.16)$$

Втрата напруги в трансформаторі видобувної дільниці:

$$\Delta U_{\text{тн}} \% = B_t * U_{\text{кз}} \% * \cos(\varphi_{\text{тн}} - \varphi), \quad (2.17)$$

де $B_t = 0,86$ – коефіцієнт завантаження дільничного трансформатора;

$U_{\text{кз}} \% = 3,5\%$ – напруга КЗ трансформатора видобувної дільниці;

$\varphi_{\text{тн}} = 77,7^\circ$ – фазовий параметр трансформатора видобувної дільниці;

φ – фазовий параметр навантаження, $\cos\varphi = 0,7 \Rightarrow \varphi = 45^\circ$.

$$\Delta U_{\text{тн}} \% = 0,86 \times 3,5 \times \cos(77,7^\circ - 45^\circ) = 2,53\%.$$

Втрата напруги в магістральному кабелі визначається:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{м}} \% &= \frac{100 * K_{\text{п}} * \sum_1^n P_{\text{ні}} * L_{\text{м}} * Z_{\text{ом}} * \cos(\varphi - \varphi_{\text{м1}})}{2 * U^2 * \cos\varphi} = \\ &= \frac{100 * 0.573 * 622 * 0.022 * 0.292 * \cos(45^\circ - 15.7^\circ) * 10^3}{2 * 660^2 * 0.7} = 0.32\% \quad (2.18) \end{aligned}$$

де $K_{\text{п}} = 0,573$ – коефіцієнт попиту дільниці;

$\sum_1^n P_{\text{нi}} = 622 \text{ кВт}$ – номінальна потужність споживачів видобувної діляниці;

$L_{\text{м}} = 0,022 \text{ км}$ – довжина магістралі;

$Z_{\text{ом}} = 0,292 \text{ Ом/км}$ – питомий опір магістрального кабелю.

Витрата напруги в комбайновому кабелю:

$$\Delta U_{\text{к}} \% = \frac{100 * 180 * 0.9 * 0.325 * 0.292 * \cos(45 - 15.7) * 10^3}{660^2 * 0.7} = 4.39\%.$$

Втрата напруги в кабельній мережі у відсотках складе:

$$\Delta U_{\text{ф}} \% = \Delta U_{\text{тр}} \% + \Delta U_{\text{м}} \% + \Delta U_{\text{к}} = 2,53 + 0,32 + 4,39 = 7,24\% \quad (2.19)$$

$$\Delta U_{\text{р}} \% > \Delta U_{\text{гра}} \% \quad 7,24\% < 8,1\%$$

Отже, умова за гранично допустимою втратою напруги виконується. При невиконанні умови перевищення гранично допустимої втрати напруги над розрахунковою необхідно було б збільшувати перерізи кабелів, зменшувати їх довжину, що не всякий раз можливо. При зниженні напруги в високовольтній мережі в місці встановлення діляничного трансформатора використовують мінусові анцапфи, що дозволяє підняти напругу на виході вторинної обмотки на +5% від номінального значення, але умова виконується, тому перерахунок не потрібен.

Виконаємо перевірку кабельної мережі видобувної діляниці в пусковому режимі. Пускова потужність найбільшого електродвигуна (видобувного комбайна) буде:

$$P_{\text{пуск}} = \gamma * P_{\text{н}} = 2,1 * 180 = 378 \text{ кВт}, \quad (2.20)$$

де γ – коефіцієнт пускової потужності електродвигуна;

$K_v = 0,8$ – допустимий коефіцієнт зниження напруги в пусковому режимі;
 $K_n = 5,7$ – коефіцієнт кратності пускового струму (для видобувного комбайну);

$\cos\varphi_{\text{пуск}} = 0,5$ – коефіцієнт потужності в режимі пуску електродвигуна;

$\cos\varphi_n = 0,88$ – номінальний коефіцієнт потужності електродвигуна видобувного комбайну.

$$\gamma = \frac{K_v^2 * K_n * \cos\varphi_{\text{пуск}}}{\cos\varphi_n} = \frac{0,8^2 * 5,7 * 0,5}{0,88} = 2,1. \quad (2.21)$$

Активна потужність трансформаторної підстанції в режимі пуску найбільшого електродвигуна [2]:

$$P_{\text{пус}} = P_{\text{найб}} \times (\gamma + m \times K_{\text{з.реш}}), \quad (2.22)$$

де $P_{\text{найб}} = 180$ кВт – потужність електроприводу найбільшого споживача (видобувного комбайна);

m – відношення потужності решти споживачів до потужності найбільшого електроприводу на видобувній ділянці;

$K_{\text{з.реш}} = 0,85$ – коефіцієнт завантаження решти електродвигунів видобувної ділянки.

$$m = \frac{P_{\text{н.уст}} - P_{\text{н.найб}}}{P_{\text{н.найб}}} = \frac{622 - 180}{180} = 2,45. \quad (2.23)$$

$$P_{\text{пус}} = 180 \times (2,1 + 0,85 \times 2,45) = 753 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт потужності кабельної мережі в режимі пуску найбільшого електродвигуна:

$$\cos\varphi'_n = \frac{\gamma * \cos\varphi_n + m * K_{зав} * \cos\varphi}{\gamma + m * K_{зав}} = \frac{2.1 * 0.5 + 2.45 * 0.85 * 0.7}{2.1 + 2.45 * 0.85} = 0.599 \Rightarrow \varphi'_n = 53.2^\circ. \quad (2.24)$$

Коефіцієнт завантаження дільничного трансформатора в пусковому режимі найбільшого електродвигуна:

$$B_{т\text{пус}} = \frac{P_{\text{пус}}}{S_{\text{нт}} * \cos\varphi_n} = \frac{753}{630 * 0.599} = 2.0. \quad (2.25)$$

Втрата напруги на дільничному трансформаторі в режимі пуску найбільшого електродвигуна:

$$\Delta U_{\text{тн пус}} \% = B_{\text{т пус}} * U_{\text{кз}} \% * \cos(\varphi_{\text{тн}} - \varphi'_n), \quad (2.26)$$

$$\Delta U_{\text{тн пус}} \% = 2,0 * 3,5 * \cos(77,7^\circ - 53,2^\circ) = 6,37\%.$$

Втрата напруги в пусковому режимі магістралі:

$$\Delta U_{\text{мпуск}} \% = \frac{100 * P_{\text{пуск}} * L_{\text{мк}} * Z_{\text{мк}} * \cos(\varphi'_n - \varphi_{\text{мк}})}{2 * U^2 * \cos\varphi'_n} =$$

$$= \frac{100 * 753 * 0.022 * 0.292 * \cos(53.2^\circ - 15.7^\circ) * 10^3}{2 * 660^2 * \cos 53.2} = 7.35\%. \quad (2.27)$$

Втрата напруги в комбайновому кабелю в пусковому режимі:

$$\Delta U_{\text{кпуск}} \% = \frac{100 * P_{\text{н}} * \gamma * L_{\text{к}} * Z_{\text{к}} * \cos(\varphi'_n - \varphi_{\text{к}})}{U^2 * \cos\varphi_{\text{к}}} =$$

$$= \frac{100 * 180 * 10^3 * 2.1 * 0.325 * 0.292 * \cos(60^\circ - 15.7^\circ)}{660^2 * 0.5} = 11.78\%. \quad (2.28)$$

Втрата напруги в кабельній мережі діляниці в пусковому режимі:

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{пуск}}\% &= \Delta U_{\text{тн пус}}\% + \Delta U_{\text{м пус}}\% + \Delta U_{\text{к пус}}\%, \\ \Delta U_{\text{пуск}}\% &= 2,53\% + 7,35\% + 11,78\% = 21,66\%.\end{aligned}\quad (2.29)$$

Гранична напруга в режимі пуску найбільшого електродвигуна:

$$U_{\text{пус гран}} = 0,8 \times U_{\text{н}} = 0,8 \times 660 = 528 \text{ В.} \quad (2.30)$$

Допустима втрата напруги в пусковому режимі:

$$\Delta U_{\text{пус}} = U'_{02+5\%} - 0,8 \times U_{\text{н}} = 712 - 528 = 184 \text{ В.} \quad (2.31)$$

Допустима втрата напруги в пусковому режимі у відсотках буде:

$$\Delta U_{\text{пус}}\% = \frac{\Delta U_{\text{пус}}}{U_1} * 100 = \frac{184}{660} * 100\% = 28\%. \quad (2.32)$$

Отже, отримали $28\% > 21,66\%$, тобто умова пуску найбільш потужного електродвигуна видобувної діляниці виконується.

2.4 Розрахунок струмів КЗ в діляничній мережі

Максимальний струм КЗ визначається на затискачах трансформатора:

$$I_{\text{кз max}}^{(3)} = \frac{100 * I_{\text{н}}}{K_p * (U_{\text{кз}}\% + P\%)} = \frac{100 * 553}{\frac{21}{20} * (3.5 + 2.5)} = 8778 \text{ А.} \quad (2.33)$$

де I_{HT} – номінальний струм трансформатора.

$P\%$ – коефіцієнт потужності зовнішньої мережі;

$K_p = \frac{21}{20}$ – коефіцієнт регулювання трансформації напруги.

$$I_{HT} = \frac{S_{TH}}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{630 * 10^3}{\sqrt{3} * 660} = 553 \text{ A.} \quad (2.34)$$

$$P\% = \frac{100 * S_{TH}}{S_{KЗ діль}} = \frac{100 * 630 * 10^3}{25.15 * 10^6} = 2.5\% . \quad (2.35)$$

Опір трансформатора видобувної ділянки складе:

$$Z_{TH} = \frac{U_H}{\sqrt{3} * I_{KЗ max}^{(3)}} = \frac{660}{\sqrt{3} * 8778} = 0.043 \text{ Ом.} \quad (2.36)$$

Струм КЗ на РПП-0,69 лави:

$$I_{KЗ РПП}^{(3)} = \frac{I_{KЗ max}^{(3)}}{\sqrt{1 + n_1^2 + 2 * n_1 * \cos(\varphi_{TH} - \varphi_{MK})}} =$$

$$= \frac{8778}{\sqrt{1 + 0.15^2 + 2 * 0.15 * \cos(77.7^\circ - 15.7^\circ)}} = 8138 \text{ A.} \quad (2.37)$$

$$n_1 = \frac{Z_{MK} * L_{MK}}{Z_{TH}} = \frac{0.292 * 0.022}{0.043} = 0.15 \quad (2.38)$$

де $\varphi_{MK} = 15,7^\circ$ – фазовий параметр магістрального кабелю.

Опір мережі до РПП-0,69 лави:

$$Z_{pnn} = \frac{U_H}{\sqrt{3} * I_{KЗ pnn}^{(3)}} = \frac{660}{\sqrt{3} * 8138} = 0.045 \text{ Ом.} \quad (2.39)$$

Фазовий параметр в кабельній мережі на РПП-0,69 лави.

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{рпп}} = \frac{\sin\varphi_{\text{тн}} + \Pi_1 * \sin\varphi_{\text{к}}}{\cos\varphi_{\text{тн}} + \Pi_2 * \cos\varphi_{\text{к}}} = \frac{\sin 77.7^\circ + 0.304 * \sin 15^\circ}{\cos 77.7^\circ + 0.304 * \cos 15^\circ} = 2.08. \quad (2.40)$$

$$\varphi_{\text{от}} = 64^\circ.$$

Струм КЗ на затискачах електропривода видобувного комбайна:

$$I_{\text{кзк}}^{(3)} = \frac{I_{\text{кзрпп}}^{(3)}}{\sqrt{1 + n_2^2 + 2 * n_2 * \cos(\varphi_{\text{рпп}} - \varphi_{\text{к}})}} =$$

$$= \frac{8138}{\sqrt{1 + 0.465^2 + 2 * 0.465 * \cos(64^\circ - 15.7^\circ)}} = 6007 \text{ А}. \quad (2.41)$$

$$n_2 = \frac{Z_{\text{к}} * L_{\text{к}}}{Z_{\text{рпп}}} = \frac{0.292 * 0.325}{0.204} = 0.465 \quad (2.42)$$

де n_2 – коефіцієнт зниження струму КЗ в комбайновому кабелі.

2.5 Вибір пускозахисної апаратури та уставок спрацювання максимального захисту

Автоматичний вимикач вибирається за умовою [1]:

$$I_{\text{р}} \leq I_{\text{н}} \quad (2.43)$$

Струм в магістральному кабелю $I_p=445\text{A}$. Приймаємо автоматичний вимикач АФВ-3 на номінальну напругу $U_n=660\text{В}$ та номінальний струм $I_{нА}=500\text{A}$, граничний струм вимикання $I_{гр}=19\text{кА}$.

$$500\text{A} > 445\text{A}; 19000\text{A} > 1.2 \times 8778 = 10533,6\text{A}.$$

Вимикач приймається.

Магнітні пускачі добираються за номінальною напругою $U_n=660\text{В}$, номінальним струмом пускача $I_{нп} \geq I_p$. Робочий струм електроприводу комбайна 179A . Приймаємо пускач ПВВ-250 з номінальним струмом $I_{нА}=250\text{A}$. Пускач допускає струм на відключення $I_{роз}=4000\text{A}$. Перед пускачем поставлені два автоматичних вимикача: в пересувній трансформаторній підстанції та на РПП-0,69 лави. Перевірка виконується за формулою:

$$I_p > \frac{1.2 * I_{\kappa 2}^{(3)}}{n * K} = \frac{1.2 * 8708}{3 * 1.1} = 3192 \text{ A}. \quad (2.44)$$

$$4000\text{A} > 3192\text{A}.$$

Аналогічно вибираємо пускачі для інших електроприводів.

Струм уставки $I_{ус.сп}$ максимального захисту вибирають за умовою:

$$I_{ус.сп} \geq I_{пус.м} + \sum_2^n I_{ні} = 6.5 * 179 + 443 * 0.5 = 1385 \text{ A}, \quad (2.45)$$

де $I_{пус.найб}$ – пусковий струм найбільшого електродвигуна, А.

$\sum_2^n I_{ні} = 443\text{A}$ – сума номінальних струмів решти електродвигунів.

Приймаємо уставку спрацювання $I_{ус\text{спр}}=1750\text{A}$.

Уставку спрацювання перевіряємо на надійність вимикання автоматичним вимикачем струму двофазного короткого замкнення:

$$I_{\kappa\text{З}}^{(2)} = 0.86 * I_{\kappa\text{З}}^{(3)} = 0.86 * 8138 = 6998 \text{ A.} \quad (2.46)$$

$$\frac{I_{\kappa\text{З}}^2}{I_{\text{уссп}}^2} = \frac{6998^2}{1750^2} = 3.9 > 1.5. \quad (2.47)$$

Для захисту відгалуження з одним електродвигуном з короткозамкненим ротором уставки спрацювання захисту вибираються:

$$I_{\text{усспр}} > I_{\text{пус.}} \quad (2.48)$$

Для пускача комбайнового електродвигуна:

$$I_{\text{усспр}} \geq K_{\text{п}} \times \sum I_{\text{н}} = 6,5 \times 179 = 1163,5 \text{ A.} \quad (2.49)$$

Вибираємо уставку $I_{\text{усспр}} = 1300 \text{ A.}$

Перевіряємо уставку за струмом двофазного КЗ:

$$I_{\kappa\text{З}}^{(2)} = 0.86 * I_{\kappa\text{З}}^{(3)} = 0.86 * 6007 = 5166 \text{ A.}$$

$$\frac{I_{\kappa\text{З}}^{(2)}}{I_{\text{усспр}}} = \frac{5166}{1300} = 3.9 > 1.5.$$

Так добираємо уставки для інших електроприводів електроспоживачів видобувної ділянки. Дані пускозахисної для електроспоживачів видобувної ділянки зведено до таблиці 2.3. Для скребкового конвеєра лави типу СПЦ-163 на кожен привод конвеєра (верхній та нижній) встановлюється пускач ПВВ-250 з метою запобігання струмових перевантажень двигунів.

Таблиця 2.3 – Відомість низьковольтних апаратів видобувної ділянки

Найменування споживачів	Фактичний струм, А	Фактична потужність, кВт	Тип апарата	Номинальний струм апарата, А	Граничний струм відключення, А	Струм уставки, А	Коеф-т чутливості захисту
1К101УД	179	180	ПВВ-250-15	250	4000	1300	3,9
СПЦ-163	110,5	2×110	ПВВ-250	250	4000	900	2,95
ПТК	15	15	ПВВ-25-13	25	1500	150	3,7
СНТ32	33	32	ПВВ-32	32	1100	300	3,3
ВСП	54,5	2×55	ПВВ-125	125	2500	500	3,1
Ст. зрош.	30	30	ПВВ-32	32	1100	300	3,3
ЛГК	11	11	ПВВ-25-13	25	1500	150	3,8
ЛВД	24	24	ПВВ-25-13	25	1500	250	3,8
Магістраль	445	622	АФВ-3	500	10000	3000	6,3

2.6 Перевірка опору ізоляції та ємності діляничної мережі

З застосуванням реле витоку струму в мережах напругою до 1140В вимагається перевіряти стійкість роботи реле витіку струму та недопустимої ємності мережі відносно землі на величину 1мкФ/фазу [4], при якій існуюче реле забезпечує захист від поразки електричним струмом.

Очікуємий опір ізоляції мережі відносно землі визначається:

$$r_{\phi} = \frac{1}{\frac{n_{mn}}{R_{mn}} + \frac{n_{\partial e}}{R_{\partial e}} + \frac{n_{an}}{R_{an}} + \frac{n_{\kappa}}{R_{\kappa}}} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{10}{1,5} + \frac{8}{1,5} + \frac{2}{1}} = 69,8 \text{ кОм}, \quad (2.50)$$

$n_{\text{тн}} = 1$ – кількість трансформаторів;

$R_{\text{тн}} = 3 \text{ МОм}$ – опір обмотки трансформатора відносно землі;

$n_{\text{дв}} = 10$ – кількість приєднаних до мережі двигунів;

$R_{\text{дв}} = 1,5 \text{ МОм}$ – опір ізоляції двигунів відносно землі;

$n_{\text{ап}} = 8$ – кількість апаратів в мережі;

$R_{\text{ап}} = 1,5 \text{ МОм}$ – опір апаратів відносно землі.

Опір ізоляції відносно землі, який очікується, $r_{\text{ф}}$ більше критичного опору ізоляції $r_{\text{кр}}$:

$$\frac{r_{\text{ср}}}{r_{\text{кр}}} = \frac{69.8}{30} = 2.3.$$

Оскільки мінімальний допустимий опір ізоляції мережі перевищує більше чим в 1,5 рази уставку критичного опору ізоляції, робота реле витоку струму буде стійка, а робота кабельної мережі видобувної ділянки буде забезпечуватися.

Величина ємності мережі відносно землі, яка очікується, буде:

$$\begin{aligned} C_1 = & C_{\text{м}} \times n \times L_{\text{м}} + C_{\text{к}} \times L_{\text{к}} + C_{\text{кл}} \times L_{\text{кл}} + C_{\text{пер}} \times L_{\text{пер}} + \\ & + C_{\text{км}} \times L_{\text{км}} + C_{\text{м1}} \times L_{\text{м1}} + C_{\text{м2}} \times L_{\text{м2}} + C_{\text{л}} \times L_{\text{л}}, \end{aligned} \quad (2.51)$$

C – питома ємність кабелів (за таблицею 2.2), мкФ/км;

L – довжина відповідного кабелю (за таблицею 2.2), км.

$$\begin{aligned} C_1 = & 2 \times 0,66 \times 0,022 + 0,325 \times 0,66 + 0,66 \times 0,325 + 0,361 \times 0,022 + 0,327 \times \\ & 0,045 + 0,426 \times 0,09 + 0,327 \times 0,045 + 0,361 \times 0,1 = 0,606 \text{ мкФ/фазу}. \end{aligned}$$

Для урахування величини ємності електродвигунів, апаратів, трансформатора видобувної ділянки ємність кабелів збільшується на 10%:

$$C=1,1C_1=1,1 \times 0,606=0,666\text{мкФ/фазу}.$$

Таким чином, сумарна ємність кабельної мережі видобувної ділянки відносно землі менша 1мкФ/фазу, тобто експлуатація мережі допустима.

3 ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИСОКОЮ НАПРУГОЮ

3.1 Добір електричних апаратів керування та захисту напругою 6кВ

Для керування та захисту у шахтних електричних мережах з напругою 6(10)кВ приймають рудникові вибухобезпечні комплектні розподільчі пристрої (КРП) типу КРУВ-6, які добираються за напругою, струмом та перевіряють за граничним значенням струму і потужності КЗ.

Розраховуємо струм КЗ на боці високої напруги трансформатора:

$$I_{pv} = \frac{I_{pn}}{K_m} = \frac{445}{8.7} = 51 \text{ А.} \quad (3.1)$$

Потужність КЗ на РПП-6 №2 складає $S_{кз,діл}^{(3)} = 25,15 \text{ МВА}$.

Для реле струму миттєвого спрацювання, ввімкненого за схемою неповної зірки, уставку спрацювання максимального захисту силових трансформаторів добирають за наступною формулою:

$$I_{cpr} = \frac{K_n * (K_l * I_{n,найб} + I_{pих})}{K_m} = \frac{1.3 * (6.5 * 179 + 280)}{8.7} = 215 \text{ А} \quad (3.2)$$

де $K_n = 1,3$ – коефіцієнт надійності захисту.

3.2 Конденсаторні установки в шахтній високовольтній мережі

В період максимуму активне навантаження шахти $P_{max} = 12647 \text{ кВт}$, реактивне навантаження $Q_{max} = 12900 \text{ кВАр}$. Організація, яка постачає

електроенергію, задає гірничому підприємству в часи максимуму підтримувати реактивну потужність на рівні 6000кВАр, в часи мінімуму навантаження 3000кВАр. Коефіцієнт α , який враховує значення активного навантаження в години мінімального навантаження 0,6. Для підтримки необхідного значення коефіцієнта потужності та відповідно зменшення витрат на електроенергію необхідно здійснювати компенсацію реактивної потужності. Це буде здійснюватися за рахунок застосування конденсаторних установок (КУ).

Сумарну потужність КУ, установлених на шахті, визначається необхідним балансом реактивної потужності на межі електричного поділу шахти і енергосистеми в часи найбільшого активного навантаження:

$$Q_{\text{ка}} = Q_{\phi 1} - Q_{\phi 1} = K \times Q_{\phi} - Q_{\phi 1}, \quad (3.3)$$

де $Q_{\phi 1} = 10965 \text{кВАр}$ – найбільше сумарне реактивне навантаження в години максимального навантаження системи;

$Q_{\phi} = 12647 \text{кВАр}$ – фактичне значення найбільшого сумарного реактивного навантаження шахти;

$K = 0,85$ – коефіцієнт, який враховує незбіг за часом найбільшої активної потужності системи і реактивної потужності шахти;

$Q_{\phi 1} = 6000 \text{кВАр}$ – значення заданого системою реактивного навантаження.

$$Q_{\text{ка}} = 0.85 \times 12647 - 6000 = 4750 \text{кВАр}.$$

Коефіцієнт реактивної потужності буде:

$$\text{tg}\varphi_1 = \frac{Q_{\phi 1}}{P_{\text{max}}} = \frac{10965}{12647} = 0.867. \quad (3.4)$$

Визначаємо мінімальне навантаження:

$$P_{\min}=0,6 \times P_{\max}=0,6 \times 12647=7588 \text{ кВт.} \quad (3.5)$$

Визначаємо скомпенсоване значення $\text{tg}\varphi_2$:

$$\text{tg}\varphi_2 = \frac{Q_{\varphi 2}}{P_{\min}} = \frac{3000}{7588} = 0.395. \quad (3.6)$$

Реактивна потужність в години мінімуму навантаження складе:

$$Q_{\varphi 2}=P_{\min} \times \text{tg}\varphi_1=7588 \times 0,867=6579 \text{ кВАр.} \quad (3.7)$$

Раціональна компенсація реактивної потужності в години мінімального навантаження шахти і систем визначається:

$$Q_{\text{кд.тр}}=Q_{\varphi 2}-Q_{\varphi 2}=6579-3000=3579 \text{ кВАр.} \quad (3.8)$$

Потужність конденсаторних установок, яка буде регулюватися:

$$Q_{\text{кдр}} = P_{\min} [\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2(1+\alpha)]. \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{кдр}} = 7588 \times [0.867 - 0.395 \times 1.6] = 1783 \text{ кВАр.}$$

Потужність конденсаторної установки, яка не буде регулюватися:

$$Q_{\text{нрп}} = Q_{\text{к2}} - Q_{\text{кдр}} = 4965 - 1783 = 3182 \text{ кВАр.} \quad (3.10)$$

Це значення близько до раціональної потужності. Отже, приймаємо конденсаторні установки з компенсаційною потужністю по 500 кВАр в батареї. Тоді потужність, що регулюється складе $P_p=3$ батареї; потужність, що не регулюється, складе $P_{\text{нр}}=6$ батарей.

3.3 Втрати потужності та енергії в високовольтних мережах

3.3.1 Втрата в трансформаторах

Втрата потужності в двообмоточних трансформаторах та в трансформаторах з розщепленою вторинною обмоткою визначається;

$$\Delta P_{\text{вт заг}} = P_{\text{xx}} + B_{\text{т}}^2 * P_{\text{кз}} * K_{\text{л}} * \frac{S_{\text{нт}}}{100} * (i\% + B_{\text{т}}^2 * U_{\text{кз}} \%) =, \quad (3.11)$$

де $P_{\text{xx}} = 27 \text{ кВт}$ – номінальні активні втрати потужності в сталі;

$P_{\text{кз}} = 120 \text{ кВт}$ – номінальні активні втрати потужності в обмотках при повній завантаженості трансформатора;

$B_{\text{т}} = 0,69$ – завантаженість трансформатора;

$K_{\text{л}} = 0,07 \text{ кВт/кВАр}$ – коефіцієнт підвищення втрати активної потужності на передачу 1 кВАр в систему електропостачання;

$S_{\text{нт}} = 16 \times 10^3 \text{ кВА}$ – номінальна повна потужність трансформатора;

$i\% = 1\%$ – струм холостого ходу трансформатора;

$U_{\text{кз}}\% = 10,5\%$ – напруга КЗ трансформатора.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{вт заг}} &= P_{\text{xx}} + B_{\text{т}}^2 * P_{\text{кз}} * K_{\text{л}} * \frac{S_{\text{нт}}}{100} * (i\% + B_{\text{т}}^2 * U_{\text{кз}} \%) = \\ &= 27 + 0,69^2 * 120 + 0,07 * \frac{16 * 10^3}{100} * (1 + 0,69^2 * 10,5) = 151 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

На поверхневій понижувальній підстанції два трансформатора і ці втрати подвоюються. Але це втрати в години максимального завантаження трансформаторів.

Втрата енергії визначається втратою потужності холостого ходу за повну кількість годин приєднання трансформатора до мережі і суми втрати енергії за

окремі проміжки часу з приблизно постійним навантаженням і визначається за формулою на добу:

$$\begin{aligned}
 W_A &= \left(P_{xx} + R_{пп} * \frac{S_{HT}}{100} * i\% \right) * T_0 + \sum_{i=1}^n \left(\Delta P_{кз} + K_{пп} * \frac{S_{HT}}{100} * U_{кз} \% \right) * B_{Ti}^2 * T_{pi} = \\
 &= \left(27 + 0.07 * \frac{16 * 10^3}{100} * 1 \right) * 24 + \left(120 + 0.07 * \frac{16 * 10^3}{100} * 10.5 \right) * \sum_{i=1}^n B_{mi} * T_{pi} = \\
 &= 916.8 + 237.6 * \sum_{i=1}^n B_{mi} * T_{pi} = 916.8 + 237.6 * 6.335 = 2422 \text{ кВт*год} \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

Таблиця 3.1 – Визначення проміжку часу з приблизно рівним завантаження протягом доби

T, год	3	4	7	6	4
B _т	0,3	0,45	0,5	0,55	0,65

Визначимо:

$$\sum_{i=1}^n B_{mi}^2 * T_{pi} = 0.3^2 * 3 + 0.45^2 * 4 + 0.5^2 * 7 + 0.55^2 * 6 + 0.65^2 * 4 = 6.335 \text{ умов.год.} \quad (3.13)$$

На два трансформатора втрата енергії в двічі більша:
 $2422 \times 2 = 4844 \text{ кВт*год.}$

За цими формулами розраховуються також втрати потужності і енергії в дільничних трансформаторах.

3.3.2 Втрата в лініях електропередавання

Втрата активної потужності в лінії електропередавання:

$$\Delta P = \frac{3 * I^2 * Z_o * L}{10^3} * \left(\frac{1}{\cos \varphi} + \frac{K_p}{\sin \varphi} \right) \quad (3.14)$$

Розглянемо, втрату потужності в ствольових кабелях:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{сп}} &= \frac{3 * I_{\text{ст1}}^3 * Z_o * L_{\text{ст}}}{10^3} * \left(\frac{1}{\cos \varphi_{\text{під}}} + \frac{K_p}{\sin \varphi_{\text{пов}}} \right) = \\ &= \frac{3 * \left(\frac{422.5}{3} \right)^2 * 0.209 * 0.9}{10^3} * \left(\frac{1}{0.62} + \frac{0.07}{0.73} \right) = 13.6 \text{ кВт.} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Це втрата в ствольових кабелях на один трансформатор, втрата на два трансформатора в двічі більше: $13,6 \times 2 = 27,2 \text{ кВт}$. Це при максимальному навантаженні.

Завантаження ствольових кабелів протягом доби змінюється. Це можна визначити діаграмою навантаження на ствольові кабелі. На ній можна визначити завантаження кабелів відносно максимального навантаження та відповідні проміжки часу (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Максимальне завантаження ствольових кабелів протягом доби

T	5	6	7	4	2
B	0,55	0,65	0,78	0,82	0,87

Визначаємо:

$$\sum_1^n B_i * T_i = 0.55 * 5 + 0.65 * 6 + 0.78 * 7 + 0.82 * 4 + 0.87 * 2 = 17.14 \text{ умов.год.} \quad (3.16)$$

Втрата енергії на всі ствольові кабелі складас:

$$\sum W = 2 * \Delta P_m * \sum_1^n B_{\kappa i} * T_1 = 2 * 13.6 * 17.14 = 466.2 \text{ кВт*год} \quad (3.17)$$

3.4 Перевірка забезпечення безпеки в шахтних мережах напругою 6кВ

Гранична ємність відносно землі в високовольтних мережах шахти визначається:

$$C_{\text{гран}} \frac{U_{\text{доп}} * 10^6}{\sqrt{3} * R_3 * U_n * 10} = \frac{42 * 10^6}{\sqrt{3} * 2 * 6 * 10^3 * 314} = 6.44 \text{ мкФ/фаза}, \quad (3.18)$$

$U_{\text{доп}} = 42\text{В}$ – допустима напруга доторкання в умовах шахти;

$R_3 = 2\text{Ом}$ – допустимий опір заземлення в підземних мережах;

$U_n = 6\text{кВ}$ – номінальна напруга високовольтної мережі;

ω – кутова частота струму.

Розраховуємо опір мережі для нашого випадку:

$$\begin{aligned} \sum_1^n c_i &= n_{\text{ст}} * c_{\text{стII}} * L_{\text{ст}} + n_{\text{м1}} * c_{\text{м1II}} * L_{\text{м1}} + n_{\text{м2}} * c_{\text{м2II}} * L_{\text{м2}} + \\ &+ c_{\text{діль II}} * L_{\text{дл I}} = 0.56 * (3 * 0.42 * 0.7 + 3 * 0.42 * 1.2 + \\ &+ 2 * 0.4 * 1.5 + 0.28 * 0.8 + 0.28 * 1.7) = 2.28 \text{ мкФ/фазу}, \end{aligned} \quad (3.19)$$

де $n_{\text{ст}} = 3$ – кількість ствольних кабелів, приєднаних до одного силового трансформатора;

$n_{\text{м1}} = 3$ – кількість паралельних кабелів в першій високовольтній магістралі;

$n_{\text{м2}} = 2$ – кількість паралельних кабелів в другій високовольтній магістралі;

$L_{\text{ст}} = 0,7\text{км}$ – довжина стоволового кабелю;

$L_{\text{м1}} = 1,2\text{км}$ – довжина першої високовольтної магістралі;

$L_{\text{м2}} = 1,5\text{км}$ – довжина другої високовольтної магістралі;

$L_{\text{дл1}} = 1,7\text{км}$ – довжина високовольтного кабелю від РПП-6 до дільничної підстанції видобувної дільниці;

$c_{\text{стII}} = 0,56 \times 0,42 \text{мкФ/км}$ – часткова ємність жили на оболонку стоволового кабелю;

$c_{\text{м1 II}} = 0,56 \times 0,42 \text{мкФ/км}$ – часткова ємність кабелю першої магістралі;

$c_{\text{м2 II}} = 0,56 \times 0,4 \text{мкФ/км}$ – часткова ємність кабелю другої магістралі;

$c_{\text{діль1 II}} = 0,56 \times 0,28 \text{мкФ/км}$ – часткові ємності дільничних кабелів.

Аналіз показує, що ємність кабелів СБ, СБГ, ЦСКН, ЦСКЛ напругою 6кВ в процесі експлуатації підвищується примірно на 10% від урахованої:

$$C = 1,1 \sum_1^n c_i = 1,1 * 2,28 = 2,5 \text{ мкФ/фазу} \leq 6,44 \text{ мкФ/фазу}. \quad (3.20)$$

Умова виконується – величина ємності високовольтної мережі менше гранично допустимого значення.

3.5 Визначення струмів КЗ і уставок захисту в розподільних мережах

Визначаємо струми КЗ при пошкодженні одного зі стоволових кабелів. Пошкодження можуть бути в будь-якому місці. Розглянемо пошкодження в стоволовому кабелі в точці K_1 , близької до приєднання до шин ЦПП:

$$Z_{\kappa 1} = \frac{z}{n} = \frac{0,209}{3} = 0,069 \text{ Ом}. \quad (3.21)$$

Максимальні струми трифазних КЗ в ствольових кабелях (пошкодження на кінці кабелю):

$$I_{\text{кз maxк2}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} * (Z_{\text{тн}} + Z_{\text{к2}})} = \frac{6300}{\sqrt{3} * (0.443 + 0.069)} = 8868 \text{ А.} \quad (3.22)$$

Визначимо опори дуги КЗ в ствольовому кабелі на кінці:

$$R_{\text{д1}} = \frac{1000 * L_{\text{ддб}}}{I_{\text{кз max2}}^{(3)}} = \frac{1000 * 0.586}{8868} = 0.066 \text{ Ом,} \quad (3.23)$$

де $L_{\text{ддб}}$ – середня довжина дуги КЗ в броньованому кабелі перерізом $3 \times 95 \text{ мм}^2$.

Відношення опору дуги до опору КЗ буде:

$$n_1 = \frac{R_{\text{д1}}}{Z_{\text{тн}} + Z_{\text{к1}}} = \frac{0.066}{0.443 + 0.069} = 0.13. \quad (3.24)$$

Мінімальний струм трифазного КЗ з урахуванням струму обмежуючої дії дуги в місці пошкодження звичайно майже не залежить від режиму роботи системи електроживлення та визначається за формулою:

$$\begin{aligned} I_{\text{кз R1}}^{(3)} &= \frac{I_{\text{кз max1}}^{(3)}}{\sqrt{1 + n_1^2 + 2 * n_1 * \cos(\varphi_{\text{тн}} - \varphi_{\text{к}})}} = \\ &= \frac{8868}{\sqrt{1 + 0.13^2 + 2 * 0.13 * \cos(90 - 21^\circ)}} = 8395 \text{ А,} \end{aligned} \quad (3.25)$$

де $\varphi_{\text{тн}} = 90^\circ$ – фазовий параметр трансформатора ГПП;

$\varphi_{\text{к}} = 21^\circ$ – фазовий параметр ствольового кабелю.

Середнє значення (найбільш імовірне) струму трифазного КЗ з урахуванням струмообмежуючої дії дуги в місті пошкодження становить:

$$I_{\text{кзcp}(1)}^{(3)} = \frac{I_{\text{кзmax}(1)}^{(3)} + I_{\text{кзR1}}^{(3)}}{2} = \frac{8868 + 8395}{2} = 8631.5 \text{ А} \quad (3.26)$$

Середні значення струмів на один увід визначається:

$$I_{\text{кзcp}(1)I}^{(3)} = \frac{I_{\text{кзcp}(1)}^{(3)}}{n} = \frac{8631.5}{3} = 2877 \text{ А.} \quad (3.27)$$

Двофазні значення струмів КЗ будуть:

$$I_{\text{кзcp}(1)I}^{(2)} = 0.86 * I_{\text{кзcp}(1)I}^{(3)} = 0.86 * 2877 = 2474 \text{ А.} \quad (3.28)$$

Визначаємо струм при пуску найбільшого двигуна, тобто головного водовідливу потужністю $P_n=1000\text{кВт}$, $\cos\varphi_n=0,88$. Номінальний струм цього електродвигуна розраховується:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos\varphi_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} * 6.3 * 0.88} = 104 \text{ А} \quad (3.29)$$

Пусковий струм цього електродвигуна складе:

$$I_{\Pi} = K_{\Pi} * I_n = 6 * 104 = 624 \text{ А.} \quad (3.30)$$

Струм решти споживачів, приєднаних до одного трансформатора:

$$I_{\text{реш}} = I_{\text{під}} - I_{\text{нд}} = 422,5 - 104 = 318,5 \text{ А} \quad (3.31)$$

Струм в режимі пуску найбільшого двигуна:

$$I_{\text{пус.реж}} = I_{\text{пус}} + I_{\text{реж}} = 624 + 318,5 = 942,5\text{A.} \quad (3.32)$$

На один увід струм в пусковому режимі буде:

$$I_{\text{пусреж}(1)} = \frac{I_{\text{пусреж}}}{3} = \frac{942,5}{3} = 314\text{A.} \quad (3.33)$$

Для захисту від міжфазних КЗ ліній електропередачі застосовується максимальний струмовий захист в сполученні зі струмової відсічкою.

Струм спрацювання струмової відсічки знаходимо:

$$I_{\text{с кз}} = K_3 \times I_{\text{к max}} = 1,6 \times 314 = 502\text{A,} \quad (3.34)$$

де $K_3 = 1,6$ – коефіцієнт запасу при використанні струмових реле РТ-80.

Приймаємо уставку на уводах $I_y = 1000\text{A}$.

Чутливість струмової відсічки перевіряється за виразом:

$$K_1 = \frac{I_{\text{к min}}}{I_{\text{сеп}}} = \frac{2474}{1000} = 2.47 \geq 2. \quad (3.35)$$

Умова виконується, отже захист забезпечує нормальну роботу при електропостачання високовольтних мереж.

4 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

До шахтних електроустановок на поверхні повинні застосовуватися вимоги згідно правил [6]. Забороняється в підземних мережах шахти застосовувати глухозаземлену нейтраль трансформаторів, за виключенням спеціальних трансформаторів, необхідних для споживання перетворюючих пристроїв контактних мереж електровозної відкатки. Під'єднання других споживачів і пристроїв до таких трансформаторів забороняється.

Захист людей від ураження електричним струмом [6] повинно здійснюватися застосуванням заземлення, а в мережах до 1000В (до 1140В включно) – також і реле витоку струму з автономним вимикання ушкодженої мережі. Загальний час вимикання ушкодженої мережі не повинно перевищувати 0,2с.

На трансформаторах, які знаходяться на поверхні та живлять підземні електричні мережі, повинні мати захист від витоку струму, пробивні запобіжники при цьому можуть не встановлюватися.

Дистанційне, телемеханічне та автоматичне керування електроустановками напругою вище 1000В на нових гірничих підприємствах дозволяється тільки при наявності автоматичного блокування, не допускається вмикання ліній і електроустановок з пониженим опором ізоляції відносно землі.

При монтуванні та ремонті електрообладнання в шахтах, небезпечних за газом, повинен здійснюватися контроль за вмістом метану в місці виконання робіт.

Забороняється [7]:

а) обслуговувати підстанції та електроустановки напругою вище 1000В без захисту;

б) обслуговувати електроустановки напругою до 1000В без діелектричних рукавичок, за виключенням електроустановок напругою 40В і нижче;

в) експлуатувати електрообладнання при несправних засобах вибухозахисту, блокування, порушення схем захисту та керування, а також при пошкоджених кабелях та при несправному захисті від витоку струму на землю й заземленні;

г) мати під напругою мережі, які не використовуються, за виключенням резервних;

д) відкривати оболонки вибухонебезпечного електрообладнання в шахтах, небезпечних за газом, без попереднього замірювання метану, якщо при цьому струмоведучі частини знаходяться під напругою;

є) змінювати заводську конструкцію електрообладнання, електричні схеми та градування реле електричного захисту на шахті;

ж) під'єднувати та від'єднувати іскронебезпечне обладнання та електровимірювальні прилади під напругою вище 40В.

Центральні підземні підстанції (ЦПП) повинні бути забезпечені резервним споживанням від головної поверхневої підстанції (ГПП), а головні водовідливні установки – від ЦПП або ГПП.

ВИСНОВОК

В роботі виконано розрахунок електричних навантажень шахти, запропоновано до застосування більш ефективні трансформатори ГПП типу ТДТНШ-16000/110 з розщепленою вторинною обмоткою, визначено раціональний переріз ствольового кабелю та кабелів розподільних мереж. Запропоновано конденсаторні установки загальною потужністю 4500кВАр для зменшення витрат за складовою електроенергії в собівартості вугілля. Застосована компенсації реактивної енергії зі ступеневим регулюванням. Виконано розрахунок електропостачання видобувної ділянки з вибором сучасної підземної дільничної трансформаторної підстанції типу КТПВ, кабельної мережі та комутаційних апаратів з вакуумними контакторами. У зв'язку із застосуванням існуючого видобувного обладнання рівень низьковольтної напруги залишено старим. Більш перспективні підвищені рівні як низьковольтної, так і високовольтної напруги можливе застосувати лише при достатньому фінансуванні гірничого підприємства, що на теперішній час неможливо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий: Учебник для техникумов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Медведев Г.Д. – М.: Недра, 1988. – 356с.: ил.
2. Электрификация горных работ под редакцией Г.Г. Пивняка. М., Недра, 1992.
3. Разумный Ю.Т., Шкрабец Ф.П. Повышение эффективности электроснабжения угольных шахт.– К.: Техніка, 1986. – 136с.
4. Справочник по электроустановкам угольных предприятий. Электроустановки угольных шахт / В.Ф. Антонов, Ш.Ш. Ахмедов, С.А. Волотковский и др. Под общей ред. В.В. Дегтярева, В.И. Серова, Г.Ю. Цепелинского. – М.: Недра, 1988. – 727с.: ил.
5. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К. Справочник энергетика угольной шахты. М.: Недра, 1983. – 542с.
6. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. – М.: Недра, 1986. – 447с.
7. Щадов М.И., Владыченко И.М. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М., Недра, 1986.
8. Охрана труда: Учебник для вузов / К.З. Ушаков, Б.Ф. Киринов, Н.В. Ножкин и др. Под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1986. – 624с.