

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Оптимізація електричних параметрів перетворювачів напруги живлення
підземних тягових підстанцій залізорудних шахт**

Виконав: студент групи ЕЕМ-22ск

Володимир КАФТАН

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

КАФТАН Володимир Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Оптимізація електричних параметрів перетворювачів напруги
живлення підземних тягових підстанцій залізничних шахт

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є оптимізація
електричних параметрів перетворювачів напруги живлення підземних
тягових підстанцій залізничних шахт.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Методи і засоби електропостачання рудникової контактної електровазної
відкатки; II. Вибір параметрів і раціональної схеми випрямлення шахтного
тягового перетворювача; III. Вибір обладнання та засобів захисту шахтного
регульованого тиристорами перетворювача.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Переважувальні характеристики шахтних тягових
перетворювачів; II. Схеми з'єднання трансформаторів; III. Параметри
перетворювачів; IV. Показники надійності; V. Модель для дослідження
динамічних процесів; VI. Освітлення шахти.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ірина КАСАТКІНА		
II	Ірина КАСАТКІНА		
III	Ірина КАСАТКІНА		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Методи і засоби електропостачання	15.05.25
2	Вибір параметрів і раціональної схеми випрямлення	19.05.25
3	Вибір обладнання та засобів захисту	24.05.25
4	Вибір засобів захисту шахтового перетворювача	26.05.25
5	Розрахунок надійності роботи АТП	31.05.25
6	Розрахунок електричного освітлення	04.05.25
7	Розрахунок електричних навантажень	10.06.25
8	Розрахунок освітлювальної мережі	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Володимир КАФТАН
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ірина КАСАТКІНА
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Оптимізація електричних параметрів перетворювачів напруги живлення підземних тягових підстанцій залізорудних шахт»

41 с., 5 рис., 26 літературних джерел

Бакалаврська дипломна робота присвячена економічно доцільному вибору електричних параметрів та захистів напруги живлення для підземних тягових підстанцій залізорудних шахт, а також оптимальності освітлення приміщення АТП з урахуванням відповідних Держстандартів прийнятих на території України.

Об'єкт дослідження – підземна тягова підстанція залізорудної шахти.

Мета роботи – виконати розрахунок норм освітлення та вибрати оптимальні і раціональні параметри для живлення тягової підстанції у залізорудній шахті.

Практичне значення полягає у застосуванні струмового захисту у шахтних напівпровідникових перетворювальних установках з використанням струмообмежувальних реакторів при неприпустимих струмових перевантаженнях і наявності коротких замикань у них.

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи складається з: анотації, вступу, семи розділів, висновків, літератури.

У вступі зазначено основні характеристики комбінату, структура, перелік шахт з наявним у них електротехнічним обладнанням.

У першому розділі розглядається методи і засоби, що необхідні для сталого і надійного електропостачання рудникової електровозної відкатки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У другому розділі проводиться вибір оптимальних параметрів і розроблення раціональної схеми випрямлення для шахтного тягового перетворювача.

У третьому розділі наведено методику вибору засобів захисту шахтового регульованого тиристорами перетворювача, розраховано надійність роботи АТП на тиристорах, наведено методику та проведено розрахунок електричного освітлення для приміщення АТП згідно Держстандартів України, виконано розрахунок електричних навантажень і визначена кількість освітлювальних трансформаторів, проведено розрахунок освітлювальної мережі.

У висновках приведено аналіз проведеної роботи та отримані відповідні очікувані результати.

ЗАЛІЗОРУДНА ШАХТА, ТЯГОВА ПІДСТАНЦЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ
НАПРУГИ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Методи і засоби електропостачання рудникової контактної електровозної відкатки	14
Розділ 2. Вибір параметрів і раціональної схеми випрямлення шахтного тягового перетворювача	19
Розділ 3. Вибір обладнання та засобів захисту шахтового регульованого тиристорами перетворювача	23
3.1. Вибір засобів захисту шахтового регульованого тиристорами перетворювача	23
3.2. Розрахунок надійності роботи АТП на тиристорах	27
3.3. Розрахунок електричного освітлення для приміщення АТП	29
3.4. Розрахунок електричних навантажень і визначення кількості освітлювальних трансформаторів	33
3.5. Розрахунок освітлювальної мережі.....	34
Висновки	37
Список використаних джерел	39

Вступ

Публічне акціонерне товариство «Криворізький залізорудний комбінат» - правонаступник ВО «Кривбасруда» - є найбільшим підприємством України з видобутку залізної руди підземним способом. До структури комбінату входять шахти: «Криворізька», «Козацька», «Тернівська» та «Покровська». Їх роботу забезпечують допоміжні підрозділи: шахто будівельне управління, сервісне управління з ремонту та монтажу шахтного обладнання, управління залізничного транспорту, автобаза, ремонтно – будівельний та енергетичний цехи, енерголабораторія, база матеріально – технічного постачання, гірнича інспекція з технічного контролю якості руд, центр інформаційних систем, управління соціальних підрозділів, та енергоменеджменту.

Поклади залізної руди, що освоюються шахтами комбінату є складовою частиною Криворізького залізорудного басейну. Криворізький басейн – це смуга залізорудних утворень шириною 3 – 5 кілометрів, протяжністю близько 100 кілометрів з півдня на північ.

Промислова розробка залізної руди в Криворізькому басейні, з центром в м. Кривий Ріг, згідно певних історичних джерел розпочалась у 1881 році []. Через п'ять років, у 1886 році обсяги видобутку становили 337 тисяч тон. Особливо бурхливо розвивався видобуток залізної руди у нашому краї в період з 1927 по 1952 роки. Саме тоді було введено у дію більшість шахт. З цього часу Кривбас став головною сировинною базою чорної металургії Радянського Союзу. Усі діючі нині шахти Кривбасу введені у експлуатацію наприкінці 50 – х в 70 – х роках минулого сторіччя.

Видобуток багатой руди проводиться на глибинах 1190 – 1350 м. З допомогою імпоротної продуктивної техніки йде будівництво наступних

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

горизонтів: 1425 м шахти «Тернівська», 1350 м шахти « », 1340 м шахти «Октябрська», 1390 м шахти «Криворізька».

Запаси природно багатих залізних руд до глибини 1599 м складають понад 205 млн. т. з середнім вмістом заліза 58,78%. Ці запаси забезпечать роботу «Кривбасзалізрудкому» на строк 30 – 40 років. Протягом останніх років виробництво товарної залізної руди становить близько 6 млн. т. за рік із вмістом заліза від 56% до 61%.

Криворізький залізорудний комбінат вже тривалий час утримує лідерство як на вітчизняному, так і на зарубіжному ринках. Якість його продукції відповідає світовим стандартам. Підприємство має сертифікат на систему управління якістю (відповідно до вимог ДСТУ ISO 9001 - 2009) при виробництві товарної залізної руди. ПАТ «Кривбасзалізрудком» - надійний партнер вітчизняних металургійних комбінатів. Продукція Криворізького залізорудного комбінату відвантажується в ряд країн Європи: а також до Китаю.

Ефективна робота гірників ПАТ «Кривбасзалізрудком» дає можливість розвивати й осучаснювати рідне підприємство.

Продуктивність шахтобудівельників, які експлуатують імпортні машини у капітальному будівництві, зросла в 2 рази, що підтверджує правильність курсу, обраного підприємством на модернізацію виробничого процесу за рахунок упровадження сучасної гірницької техніки провідних світових виробників із застосуванням нового обладнання набагато безпечнішими стали умови роботи гірників і значно зросли обсяги.

Станом на 1 січня 2014 року на комбінаті працює 39 одиниць сучасної високопродуктивної імпоротної техніки: з них – 14 гірничопрохідницьких комплексів (28 одиниць) шведської компанії «Atlas Copco» та фінської «Sandvik», 2 комбайни для безлюдної проходки висхідних фінського

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва. Імпортна техніка експлуатується як на капітальному будівництві, так і на проходці під поверхових виробок.

Планується розширення експлуатації сучасної техніки й на видобувних ділянках.

Уперше в Кривбасі технологія використання рудних покладів із застосуванням самохідної техніки як на проходці виробок, так і безпосередньо на випуску та доставці рудної маси вже застосована в експериментальному блоці на шахті «Покровська». Ця технологія показала значне підвищення безпеки та продуктивності праці на всіх операціях, скорочення строків підготовки та відпрацювання панелей. У 2013 році підготовлені два блоки під видобуток руди з використанням самохідної техніки й на шахті «Родіна».

У 2011 році відбулася заміна скіпової підйомної машини на шахті імені В.І. Леніна, тепер вона за показниками енергоефективності відповідає найвищим світовим стандартам, а також дозволяє видавати гірничу масу з глибини понад 1800 метрів.

У 2013 році розпочато роботи по заміні скіпової підйомної машини на шахті «Зоря» шахти «Октябрська», яка за своїми технічними характеристиками буде не гіршою, ніж відповідна підйомна машина на шахті «Тернівська».

З урахуванням перспектив видобутку залізної руди з глибин понад 1500 метрів, з 2013 року на геологорозвідувальних роботах шахт комбінату почалося використання сучасних верстатів кернового буріння «Diames» з глибиною буріння понад 500 метрів.

ПАТ «Кривбасзалізрудком» намагається проводити модернізацію технологічних процесів комплексно. З 2013 року у значних масштабах почалося використання технології та устаткування по кріпленню виробок

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

торкрет – бетоном фірми Meuso Piccola. Таким чином у забоях, що комплексно оснащені сучасною технікою, майже повністю виключається тяжка фізична праця.

На підприємстві розпочався другий етап модернізації виробництва за рахунок впровадження імпоротної техніки. Адже в цьому є нагальна потреба.

Стосовно подальших перспектив – до 2015 року планується імпоротною технікою оснастити 80 відсотків виробничого процесу.

Трудівники Криворізького залізорудного комбінату мають усі можливості для повнокровного життя. І не лише виробничого. Стабільна робота гірників дозволяє дбати не тільки про трудову перспективу, а й про соціальну сферу.

Шахта «Покровська»

Шахту введено в дію у 1957 році. До жовтня 1989 – го вона входила до складу рудоуправління імені Комінтерну, до 2000 року була шахтоуправлінням «Октябрське» ВО «Кривбасруда».

Промисловий видобуток залізної руди в її шахтному полі розпочався у 1892 році (рудник Ростковського). Розробка тоді велася відкритим способом.

Загалом на шахті «Покровська» станом на 1 січня 2014 року балансові запаси розвідані до глибини 2015 метрів складають 218 млн. 68 тис. тонн руди з вмістом заліза у ній 59,88%.

Видобуток залізної руди нині ведеться на горизонті 1265 метрів, який було здано в експлуатацію наприкінці 2009 року. Його запаси складають близько 11 млн. 862 тис. тонн руди з середнім вмістом заліза в масиві 60%.

В експериментальному блоці шахти «Покровська» уже застосована технологія використання самохідної техніки, як на проходці виробок, так і безпосередньо на випуску та доставці рудної маси.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У 2013 році на шахті «Покровська» розпочато підготовчі роботи по заміні скіпової підйомної машини [2].

Шахта «Козацька»

Перший пробний скіп з багатою залізною рудою на шахті було піднято з горизонту 552 метри у грудні 1964 року. А на повну потужність «Гвардійська» запрацювала в 1965 – му. Тоді вона входила до складу рудоуправління імені Рози Люксембург, з 1988 – го по 1989 рік до РУ імені Леніна.

Загалом на шахті «Гвардійська» станом на 1 січня 2014 року балансові запаси розвідані до глибини 1990 метри складають 110 млн. 281 тис. тонн руди з вмістом заліза в ній 60,44%.

Видобуток залізної руди ведеться на горизонті 1270 метри. Для того, щоб «гвардійці» могли стабільно працювати і в подальшому, споруджується новий горизонт – 1350 метрів. Його планується ввести в експлуатацію в 2014 році. На шахті впроваджується новітнє обладнання провідних світових виробників. Нині тут уже працюють імпортований високопродуктивний гірничопрохідницький комплекс та комбайн для безлюдної проходки висхідних виробок [4].

Шахта «Криворізька»

Акт здачі шахти «Родіна» в експлуатацію було підписано в 1971 році. У липні цього ж року гірники видали перші тони залізної руди. До жовтня 1989 року «Родіна» входила до складу рудоуправління імені Карла Лібкнехта.

Розробка рудного поля (територія колишнього рудника Юлії Шмакової) ведеться з 1886 року.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом на шахті «Криворізька» станом на 1 січня 2014 року балансові розвіддані до глибини 1765 метри складають 152 млн. 590 тис. тонн руди з вмістом заліза в ній 57,49%.

Наразі видобуток залізної руди тут ведеться на горизонті 1315 метрів. Гірники шахто будівельного управління для гірників цього структурного підрозділу будують новий горизонт – 1390 метрів. На шахті впроваджується новітнє обладнання провідних світових виробників. Нині тут вже працює високопродуктивний шведський гірничопрохідницький комплекс.

У 2013 році на шахті підготовлені два блоки під видобуток руди з використанням самохідної техніки [3].

- За типом стовбура шахти поділяють: на вертикальні і похилі;
- За типом органів навивки підйомних канатів: на машини з постійним радіусом навивки (з циліндричними барабанами або ведучим шківом тертя) і циліндроконічні. Сучасні шахтні підйомні машини є найбільш потужними з усього стаціонарного обладнання на шахті. Електропривод підйомних установок споживає до 40% всієї електроенергії, яка витрачається шахтою. Швидкість руху підйомних посудин у стволі досягає 15 – 20 м/сек. Оскільки така швидкість розвивається на коротких відстанях (рівних довжині шахтного стовбура), підйомні машини повинні мати надійне управління і гальмівні пристрої, які безвідмовно діють.

Як відомо, основним видом шахтного підземного транспорту гірничо - видобувної промисловості є електровозна відкатка.

На даний час для електропостачання контактної електровозної відкатки використовуються автоматизовані контуропровідні тягові підстанції

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(АТП) типу АТП – 500/275 М, котрі серійно випускаються запорізьким заводом «Перетворювач».

Автоматизована тягова перетворювальна підстанція типу АТП знаходиться на одному щаблі з рівнем кращих світових зразків того часу.

Подальше підвищення надійності і довготривалості тягових шахтних перетворювачів за рахунок зменшення їх масо – габаритних показників було пов'язано з розробкою шахтних перетворювачів, у яких тиристори виконують, окрім функцій випрямлення, також і функцію безконтактного комутуючого пристрою у перетворювачах.

Це дозволяє відмовитись від найбільш ненадійного елементу перетворювача контактного автоматичного вимикача. У свою чергу наявність тиристорів дозволяє виконати перетворювач регульованим, що також дає суттєві переваги перед нерегульованим перетворювачем (створення штучної зовнішньої характеристики перетворювача зі стабілізацією напруги, регулюванням завантаження агрегатів при їх паралельній роботі, отримання певної незалежності випрямленої напруги від завжди змінного і інші).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Методи і засоби електропостачання рудникової контактної електровозної відкатки

Найбільш економічним типом рудникових локомотивів є контактні електровози, котрі застосовуються у всіх шахтах країни, за виключенням шахт, що небезпечні по газу і пилу, там застосовують акумуляторні електровози.

У даний час у гірничо – видобувній промисловості експлуатується близько 1,5 тис. контактних електровозів.

До безперебійності, надійності і економічності електропостачання шахтного електрифікованого транспорту висуваються особливо серйозні вимоги, оскільки електровозна відкатка у багатьох випадках визначає прохідність і ритмічність роботи усього гірничо – видобувного підприємства.

Робота підземних контактних систем характеризується частими короткими замиканнями і неприпустимими перевантажуваннями, що пояснюється порівняно низьким рівнем ізоляції безконтактних мереж і наявністю тимчасових шахтних залізничних шляхів.

Для постачання електровозної відкатки постійними станом застосовуються різного типу перетворювальні установки. Пред'явлені до них вимоги зводяться у основному до наступного:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Літ.	Лист	Листів
Розробив	Кафтан ВВ						14	5
Перевірив	Касаткіна І.В.							
Реценз.								
Н. Контр.	Касаткіна І.В.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-22ск		

1. Висока економічність агрегатів. Ця вимога особливо важлива тому, що електрифікований шахтний транспорт є одним з найбільш енергоємним споживачем шахти.
2. Мінімальні інсталяційні габарити, що забезпечують максимальну компактність перетворювача. Даний фактор має важливе значення для підземних шахтних умов через високу вартість гірничої виробітки, що необхідна для розміщення обладнання перетворювальної установки. Крім того, наявність компактних масо – габаритних перетворювальних установок дозволяють економічно правильно вирішити питання електропостачання електровозної відкатки з децентралізованим розташуванням перетворювачів уздовж контактної мережі і у центрі навантажень.
3. Надійність і порівняно проста автоматизація перетворювальних установок. Автоматизація даних установок при наявності дистанційного керування сприяє можливості їх децентралізованого розташування. Крім того, надійна автоматизація перетворювальних установок ще більше підвищує економічну ефективність електровозної відкатки, надаючи можливості суттєвого зменшення кількості чергового обслуговуючого персоналу.
4. Зниження експлуатаційних витрат і вартості обладнання. Витрати по ремонту обладнання і придбання запасних частин повинні бути мінімальні. Капітальні початкові витрати, також повинні бути мінімальними.
5. Перетворювальна установка повинна вдовольняти характеру шахтного тягового навантаження при високій надійності й довговічності.
6. Робота підземної шахтної відкатки характеризується частими відключеннями перетворювачів через недопустимі перевантаження і

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

короткі замикання. За зміну може відбуватись до 15 – 20 аварійних відключень. Аналіз характеру шахтного тягового навантаження показує, що перетворювальна установка повинна допускати тривалі перевантаження кратністю до 1,5 номінального струму перетворювача.

7. Умови експлуатації і ремонту перетворювальної установки повинні вдовольняти існуючі правила і норми промислової санітарії і техніки безпеки.

В даний час для електропостачання контактної електровозної відкатки гірничої промисловості Запорізьким заводом «Перетворювач» серійно випускаються автоматизовані напівпровідникові тягові підстанції типу АТП – 500 / 275 М у виконанні РН, розробки інституту «Гіпрорудмаш».

Перевантажувальна здатність напівпровідникового тягового перетворювача АТП – 500 / 275 М (рис.1.1) значно перевершує перевантажувальну здатність випрямляча типу РН – 500 і повністю вдовольняє вимоги Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) для класу навантаження гірничого тягового обладнання середньої потужності.

Варто також врахувати, що підстанція АТП – 500 / 275 М випускається заводом автоматизованою з пунктом дистанційного керування і сигналізації, що встановлені у диспетчера шахти. Для живлення п / ст. використовується звичайний серійний шахтний трансформатор типу ТМШ або ТСШВ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

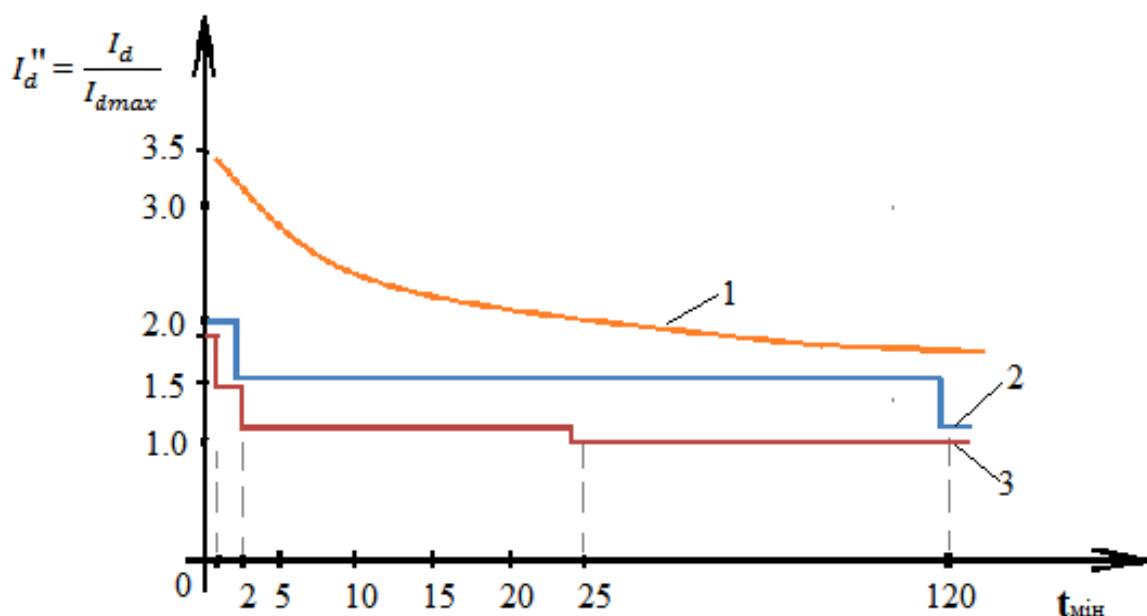


Рис. 1.1 Перевантажувальні характеристики шахтних тягових перетворювачів, 1 – АТП – 500 / 275 М, 2 – РН – 500, 3 – рекомендується

Сумарна розрахункова вірогідність річної безвідмовної роботи підстанції АТП, складає $P_{АТП}=0,92$.

На серійних підстанціях АТП для захисту кремнієвих вентилів від аварійних струмів застосуванням середньо швидкісний автоматичний вимикач типу АВ, значно більш і володіє суттєвими техніко – економічними перевагами у порівнянні з швидкодіючими вимикачами типів АБ і ВАБ.

І все ж він являється найменш надійним елементом шахтного тягового перетворювача. Крім того, необхідність у систематичному регулюванні механізмів вимикача, підчищенні і заміні блок – контактів суттєво збільшує експлуатаційні витрати. Подальше підвищення надійності і довговічності тягових підстанцій шахт, як одного з найбільш важливого складового ланцюга електровозної відкатки, вимагає відключення безконтактним. Це може бути досягнуто у результаті створення тиристорних тягових перетворювачів.

У свою чергу наявність тиристорів дозволяє розробити регульований перетворювач з раціональними діапазонами регулювання викривленої напруги.

Таким чином, проведений аналіз методів і засобів електропостачання рудникової електровозної відкатки свідчить про відповідність напівпровідникових тягових перетворювачів вимогам, що пред'являються до них електровозною відкаткою шахт.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Вибір параметрів і раціональної схеми випрямлення шахтного тягового перетворювача

У загальному випадку питання про вибір оптимальної величини номінального струму перетворювача визначається протяжністю відкатки і створюваною нею навантаженні. Найбільш розповсюдженими номінальними струмами випрямлячів є струми 500 і 1000 А.

Дослідження, що проведені по Криворізькому басейні, показали, що оптимальним струмом тягового перетворювача є струм 500 А.

Вибір раціональної схеми трифазного випрямляча покликаний забезпечити вище встановлені параметри перетворювача при високих техніко – економічних показниках перетворювача.

Найбільш розповсюдженими схемами випрямлення трифазного струму є:

- а) трифазна схема з нульовим виводом;
- б) схема трикутник – шести фазна зірка;
- в) схема зірка – дві зворотні зірки з зрівнювальним реактором;
- г) трьохфазна мостова схема.

Перші дві схеми володіють суттєвими недоліками, які полягають у поганому використанні трансформатору. Так для першої схеми типова потужність трансформатору 33%, а для другої схеми – на 55% більше потужності випрямленого струму.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Кафтан ВВ				Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Касаткіна І.В.						19	4
Реценз.						КНУ ЕЕМ-22ск		
Н. Контр.	Касаткіна І.В.							
Затвердив	Пересунько І.І.							

Крім того, у трифазній схемі з нульовим виводом величини пульсацій випрямленої напруги у 2 рази більше, ніж у шести фазних схемах і їм еквівалентних, а у схемі трикутник – шести фазна зірка вимагає силовий трансформатор спеціального виконання.

Силовий трансформатор спеціального виконання вимагається також і для трифазної схеми випрямлення «дві зворотні зірки з зрівнювальним реактором». Однак ця схема характеризується більш вищим використанням потужності трансформатору.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

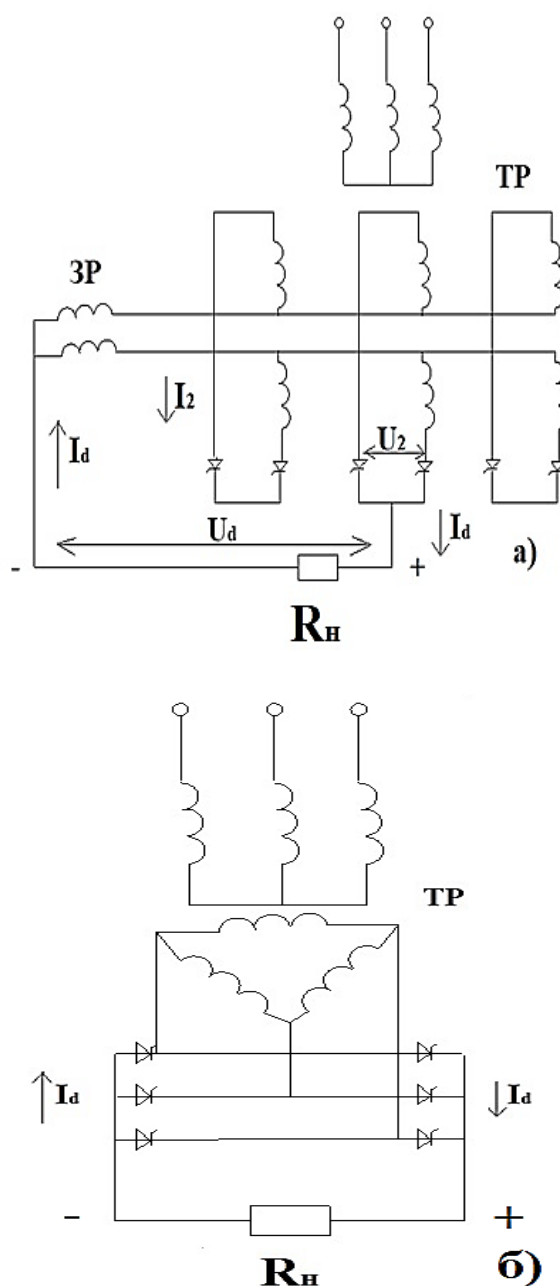


Рис. 2.1 а, б Схеми з'єднання трансформаторів «дві зворотні зірки з зрівнювальними реакторами» і «трифазна мостова»

Таким чином, для живлення шахтних тягових перетворювачів найбільш доцільними є схеми: «дві зворотні зірки з зрівнювальним реактором» і трифазна мостова схема, оскільки вони забезпечують вимоги до якості випрямленої напруги при відносно менших у порівнянні з іншими схемами типових потужностях живлячих трансформаторів.

Таблиця 2.1

Параметри перетворювача	Схеми	
	Дві зворотні зірки зі зрівнювальним реактором	Трьохфазна мостова схема
Випрямлена напруга холостого ходу U_{d0} , В	310 (з баластним опором)	310
Випрямлена напруга при номінальному навантаженні U_d , В	294	292
Випрямлений струм (розрахунковий) I_d , А	500	555
Номінальний струм установки I_{dH} , А	500	500
Середній струм вентиля I_v при $I_{dH}=500$ А	83,5	167
Зворотна напруга на вентиль U_{zv} , В	750	325
Тип вентиля	ВК2-200; $I_{cp}=200$ А $U_{zv}=1000$ В	ВК2-200; $I_{cp}=200$ А $U_{zv}=600$ В
Коефіцієнт запасу вентиля по U_{zv}	1,34	1,85
Тип силового трансформатору	ТМРУ – 420 / 10	ТМШ – 180 / 6
ККД трансформатору при 100% навантаженні	96,25	97,3
Кратність т. к. з. на боці постійного струму $i_{dH} = \frac{I_{KЗ}}{I_{dH}}$	22,2	17
Вартість, руб	760	390
Загальний коефіцієнт потужності: при активному навантаженні при індуктивному навантаженні	0,942	0,932
	0,94	0,93
	95,29	96,33

У таблиці 2.1 приведені основні параметри, що гарантують дві порівняльні схеми. Як слідує з цієї таблиці, трифазна мостова схема володіє рядом переваг.

Таким чином, для напівпровідникових перетворювальних установок шахтної електровозної відкатки найбільш раціональною схемою випрямлення є трифазна мостова схема випрямлення.

Розділ 3. Вибір обладнання та засобів захисту шахтового регульованого тиристорами перетворювача

3.1. Вибір засобів захисту шахтового регульованого тиристорами перетворювача

Напівпровідникові вентиля мають відносно низьку перевантажувальну здатність по струму, що є наслідком високої щільності струму у електронно – дірковому переході і його малої теплоємності. Перевантажувальна здатність вентилів залежить від втрат потужності у них, що виникають безпосередньо при протіканні прямого струму.

Струми, що перевищують номінальний струм вентиля, можуть проходити через нього у результаті:

- а) нерівномірний розподіл загального струму між окремими вентилями, що працюють паралельно;
- б) внутрішніх коротких замикань;
- в) зовнішніх коротких замикань або недопущення струмових перевантажень перетворювача.

Вибір захисту визначається конкретними умовами роботи тягового перетворювача і характером його навантаження. Специфіка шахтного тягового навантаження полягає у різних змінах струму по часу. (кратність

перепаду навантаження $\frac{P_{max}}{P_{min}} > 3,5$).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Кафтан ВВ				Розділ 3	Літ.	Лист	Листів
Перевірив	Касаткіна І.В.						23	14
Реценз.								
Н. Контр.	Касаткіна І.В.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-22ск		

Ще більше ускладнюють роботу вентилів, часті недопустимі перевантаження і короткі замикання у контактній мережі, що викликають іноді 15 відключень за зміну.

Застосування до специфікації перетворювачів шахтної електровозної відкатки слід передбачати три види засобів захисту кремнієвих вентилів по струму:

- 1) від нерівномірного розподілу загального струму між паралельно працюючими вентилями;
- 2) від внутрішніх коротких замикань;
- 3) від зовнішніх коротких замикань і неприпустимих перевантажень.

Захист від внутрішніх коротких замикань здійснюється швидкодіючими плавкими запобіжниками.

Захист від зовнішніх коротких замикань і недопустимих перевантажень здійснюється струмовим захистом з імпульсом на спрацьовування практично з моменту виникнення струму небезпечної величини.

Принцип роботи захисту по швидкості зростання струму полягає у наступному.

У початковий момент короткого замикання на шинах перетворювальної установки з реактором у ланцюгу постійного струму при $t=0$ уся напруга установки прикладена до реактору:

$$U_p = U_R - U_B \approx U_R$$

де U_p – напруга на реакторі; U_R – напруга на навантаженні; U_B – напруга на затискачах перетворювальної установки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга на реакторі U_p пропорційна швидкості наростання аварійного струму:

$$U_p = L_p \cdot \frac{di}{dt}$$

По мірі зростання струму напруга U_p експоненціально спадає:

$$U_p = U_{\text{в}} e^{-\frac{t}{\tau}},$$

де $\tau = \frac{L_p}{R}$ – стала часу ланцюга короткого замикання, сек.

При наявності реактора стала часу ланцюга більше, унаслідок чого при коротких замиканнях спад напруги на реакторі відбувається значно повільніше, ніж при вмиканні перетворювача на нормальне навантаження.

Викладений принцип покладений у основу схеми захисту тягових перетворювачів з регулюванням захисту по швидкості наростання струму.

Захист від аварійних струмів у безконтактному виконанні (див. креслення) налаштовується за допомогою потенціометру R_{28} і конденсатором C_{14} , на значення величини напруги, що знімається з резистору R , відповідає граничному для вентилів перетворювача струму.

Захист діє на відкриття допоміжного тиристора ВУ – 21 у ланцюзі електронного ключу і викликає припинення подачі керованих імпульсів на силові тиристори шляхом запирання тиристора ВУ – 19 допоміжного мосту.

Одночасно захистом виконується відключення контактора K у ланцюзі випрямного струму силового мосту.

Оскільки повний час спрацювання контактору не менше 100 мсек, а повний час запирання тиристорів знаходиться в межах 7 мсек, то контактор виконує розрив ланцюга випрямленого струму у без струмову паузу.

Для точного запирання силових тиристорів і перемикання зворотних напруг обмотка реактора Р у зворотному напрямку шпунтується вентилем ДЗ7.

Застосування захисту по швидкості наростання струму дозволило значно збільшити струм обмеження і швидкодію захисту.

Розроблений струмовий захист шахтних напівпровідникових перетворювальних установок з використанням струм обмежувальних реакторів знаходить усе більш ширше застосування у вітчизняній, а також і у зарубіжній практиці, де її застосування рекомендується для особливо важких умов роботи напівпровідникових вентилів при частих неприпустимих по струму перевантажень і коротких замикань.

У якості конкретних прикладів застосування захисту розробленого типу можливо виконати захист напівпровідникових перетворювачів мотор – вагонних секцій залізничному транспорті, захисту ряду тиристорних перетворювачів та інші.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Розрахунок надійності роботи АТП на тиристорах

№ п/п	Найменування елементів	Кількість	λ_{max}	λ_{min}
1	Трансформатори і котушку індуктивності	14	0,04	0,06
2	Напівпровідникові елементи	63	0,001	0,01
3	Конденсатори	13	0,0012	0,002
4	Опори	47	0,003	0,006
5	Реле	11	0,01	0,03
6	Електродвигун	1	0,03	0,07
7	Лампи розжарювання	7	0,03	0,04

1. Час роботи у рік:

Згідно даних інституту «Кривбаспроект» час роботи тягової підстанції у рік складає 7000 годин.

2. Надійність роботи підстанції:

$$P_{max}(t) = \prod_{i=1}^n P_{maxi(t)} = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t \cdot 10^{-3}} = e^{-t \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^n \lambda_{imax}};$$

$$P_{max}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} (14 \cdot 0,04 + 63 \cdot 0,001 + 13 \cdot 0,0012 + 47 \cdot 0,003 + 11 \cdot 0,01 + 0,03 + 7 \cdot 0,03)};$$

$$P_{max}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} = e^{-7 \cdot 1,1} = e^{-7,7} = 0,00045283.$$

$$P_{min}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} (14 \cdot 0,06 + 63 \cdot 0,01 + 13 \cdot 0,002 + 47 \cdot 0,006 + 11 \cdot 0,03 + 0,07 + 7 \cdot 0,04)};$$

$$P_{min}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} \cdot 2,424} = e^{-7 \cdot 2,424} = e^{-16,968} = 0,000000042745462.$$

Табл. 3.1 Дані для побудови графіків $P_{max} = f(t)$ і $P_{min} = f(t)$

P_{max}	P_{min}	t
1	1	0
0,33287	0,088567	1000
0,110803	0,007844	2000
0,036883	0,00069472	3000
0,0122773	0,000061529	4000
0,0040868	0,000000054134	5000
0,00136037	0,000000048263832	6000
0,00045283	0,00000004274545462	7000

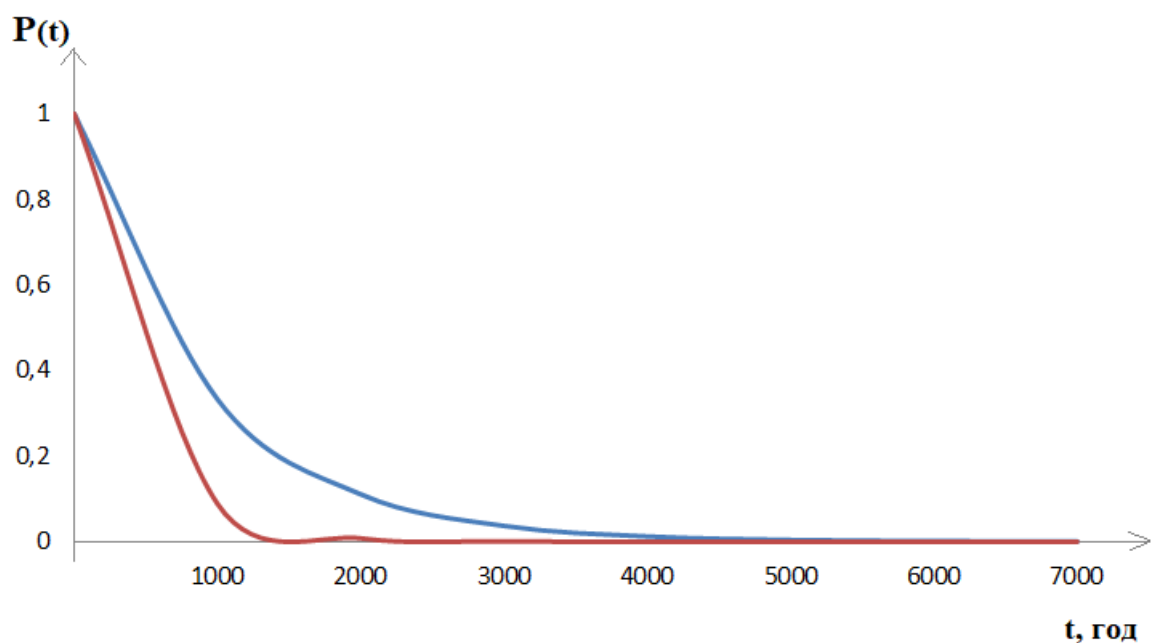


Рис. 3.1 Графічні залежності $P_{max} = f(t)$ та $P_{min} = f(t)$ згідно даних з табл. 2

де: — P_{max} - максимальне значення потужності для забезпечення надійності роботи АТП на тиристорах; — P_{min} - мінімальне значення потужності для забезпечення надійності роботи АТП на тиристорах.

3.3. Розрахунок електричного освітлення для приміщення АТП

Визначимо кількість і потужність світильників для освітлення одношляхового штреку з електровозною відкаткою.

$L=2000$ м – довжина штреку

$H=3,2$ м – висота штреку

$N_1=0,3$ м – висота підвіски світильника від покрівлі до центру освітлення нитки.

$E_{\min}=3$ лк (згідно існуючих ПБЛ)

Умова: шахта безпечна по гасу і пилюці. Згідно правил безпеки допустима відстань між світильниками 5 – 12 м.

Приймаємо $a=5$ м. Приймаємо світильники піку РН – 100 з лампою розжарювання 100 Вт, при $U=127$ В.

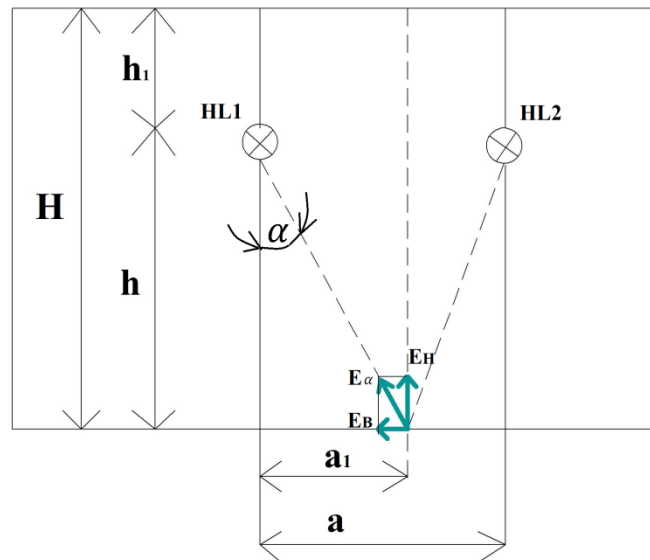


Рис. 3.2 Схема освітлення приміщення АТП

Висота підвіски над нічною виробітки:

$$h = H - h_1 = 3,2 - 0,3 = 2,9 \text{ м.}$$

Освітленість, що створює один світильник на штретці розраховується за формулою:

$$E_2 = \frac{C \cdot I_x \cdot \log^3 \alpha}{k \cdot \eta^2}, \text{ де } k = 1,5 - \text{ коефіцієнт, що враховує старіння лампи, забруднення освітлювальної арматури.}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_1}{n} = \frac{3}{2,9} = 1,04$$

$$\alpha = \arctg(1,04) = 46^{\circ}6'; \cos \alpha = 0,69$$

За таблицею світлорозподіл світильника РН – 100 визначаємо силу світла у поперечній площині:

$$J_{\alpha} = 64_{\text{лв}} \text{ (при } P = 100 \text{ Вт, } U = 127 \text{ В, } \alpha = 69^{\circ})$$

Згідно ДСТ 2239 – 54 світловий потік лампи з P=100 Вт при U=127 В складає: F=1320 лм (табл. №6).

Тоді:

$$C = \frac{F}{1000} = \frac{1320}{1000} = 1,32$$

C – відношення світлового потоку прийнятої лампи до світлового потоку умовної лампи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_2 = \frac{1,32 \cdot 64 \cdot 0,337}{1,5 \cdot 8,41} = 2,23 \text{ лк}$$

Загальна освітленість створена двома світильниками на штреках:

$$n = \frac{L}{\alpha} = \frac{2000}{5} = 400$$

Загальна споживана потужність:

$$P_{\text{звг}} = P_n \cdot n = 100 \cdot 400 = 40000 \text{ Вт}$$

K=1,5 – коефіцієнт запасу.

$$Z = \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{ср}}} = 0,8$$

– коефіцієнт, що залежить від світлорозподілу світильників і їх розміщення.

$$F = \frac{1,5 \cdot 50 \cdot 33}{0,34 \cdot 0,8} = 9750 \text{ лм}$$

Світловий потік лампи на 200 Вт при U=127 В рівний:

$$F_0 = 3200 \text{ лм (табл. №6)}$$

Необхідна кількість світильників:

$$n = \frac{F}{F_0} = \frac{9750}{3200} = 3,49$$

Відстань між світильниками:

$$\alpha = \frac{A}{\Pi} = \frac{10,2}{4} = 2,5 \text{ м}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Біля входу у підстанцію на висоті 2,5 м α_a формула з написом «Дільнична підстанція». Лампи розжарювання потужністю 25 Вт, U=127 В.

Потужність на освітлення камери:

$$P = P_{\text{л}} \cdot \Pi$$

Аналогічно провидимо розрахунок освітлення решти камер результати розрахунку зводимо до табл. №3.2

Таблиця 3.2

№з/п	Найменування камер	A, м	B, м	H, м	h, м	Тип світильника	E _{мін} лм	P _л Вт	Π, шт	U, В	Споживана потужність кВт
1	Камус ЦПП _г 75м	43	4,2	4	2,2	РН - 100	50	100	21	127	2,1
2	Камера очікування	10	3	3	2	РН - 100	50	100	3	127	0,3
3	Мед. пункт	7	4	3	2	РН - 200	75	200	3	127	0,6
4	Рем. майстерня	15	7	4	2,2	РН - 200	50	200	9	127	1,8
5	Гараж	70	8	4	2,2	РН - 200	50	200	35	127	7
6	Склад ВВ	90	6	3	2	РН - 200	30	200	30	127	6
7	Камера доп. устан.	30	6	4	2,2	РН - 200	30	200	15	127	3
8	Камера підст. дворової	8	2,6	4	2,2	РН - 200	50	200	3	127	0,6
	Всього	-	-	-	-	-			104		23,8

3.4. Розрахунок електричних навантажень і визначення кількості освітлювальних трансформаторів

У підземних виробітках використовуються освітлювальні трансформатори ТСШ і ТОР.

Виберемо трансформатор для освітлення відкотного штреку.

Розрахункова потужність трансформатору:

$$S_{н.тр.} = \frac{\sum P_n \cdot n}{1000 \cdot \eta_{мережі} \cdot \cos\varphi} = \frac{40 \cdot 400}{1000 \cdot 0,95 \cdot 1} = 17 \text{ кВА}$$

Приймаємо трансформатори ТСШ – 4 і визначаємо їх кількість.

Визначаємо скільки ламп може забезпечити один трансформатор з урахуванням втрат:

$$П_1 = \frac{S_{тр} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{мережі}}{P_n} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,95}{100} = 38,5$$

Кількість трансформаторів дорівнює:

$$m = \frac{П}{П_1} = \frac{400}{38} = 11 \text{ шт}$$

Приймаємо: ТСШ – 4 – 11 штук.

Аналогічно виконується розрахунок і визначення кількості трансформаторів і для залишених наземних виробіток. Для освітлення підземних підстанцій, приймаємо трансформатори ТОР – 1,5.

3.5. Розрахунок освітлювальної мережі

Ціллю розрахунку освітлювальної мережі є вибір кабелю. Кабель вибирається по нагріву і перевіряється по втратам напруги.

Допустима втрата напруги в освітлювальній мережі 8% від U_n [ПУЕ]:

$$I_p \leq I_{\text{доп}}$$

Трансформатор ТСШ – 4 може жити 38 ламп. Відстань між лампами 5 м.

Розрахункова довжина кабелю з урахуванням 10% на провисання:

$$L_p = n \cdot a \cdot k = 38 \cdot 5 \cdot 1,1 = 209 \text{ м}$$

Довжина кабелю на одну сторону трансформатора:

$$L_1 = \frac{L_p}{2} = \frac{209}{2} = 104,5 \text{ м}$$

Кількість ламп на одну сторону трансформатора:

$$n_1 = \frac{n}{2} = \frac{38}{2} = 19 \text{ ламп}$$

Визначаємо розрахунковий струм навантаження:

$$I_p = \frac{P_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{\text{сн}}} = \frac{100 \cdot 19}{\sqrt{3} \cdot 127 \cdot 1,0 \cdot 1,0} = 8,1 \text{ А}$$

Перетин жили кабелю при рівно розподіленому навантаженню:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\Sigma}^2 \cdot l \cdot \cos \varphi_{\text{пр}}}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{доп}}}, \text{ де } \cos \varphi = 1$$

— коефіцієнт потужності освітлювального навантаження для ламп розжарювання; $\gamma = 54,3$ – питома провідність для міді; $\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$.

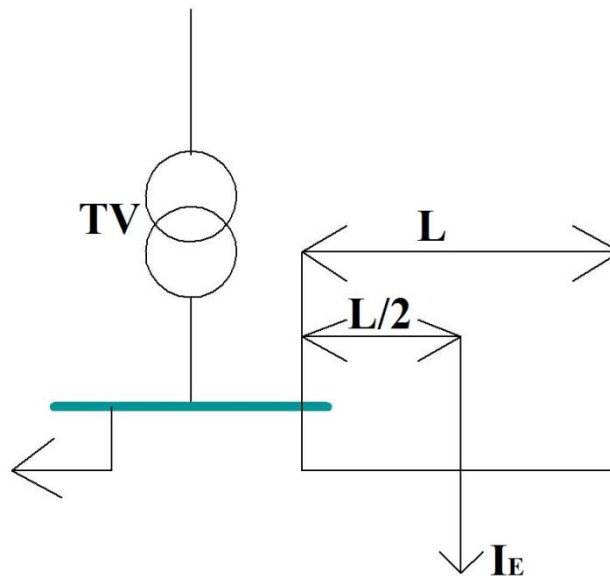


Рис. 3.3 Схема розподілу

Допустима втрата напруги в кабелі:

$$\Delta U = 0,05 \cdot 127 = 6,35 \text{ В}$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 8,6 \cdot \frac{66}{2}}{54,3 \cdot 6,35} = 1,4 \text{ мм}^2$$

Приймаємо кабель ГРШС 3х2,5+1х1,5, $I_{\text{доп}} = 15 \text{ А}$.

Перевіримо кабель на втрату напруги:

$$\Delta U_{\text{гр}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{н}} \cdot l_{\text{гр}} \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} = 10 \text{ В}$$

що не відповідає вимогам.

$$\Delta U_p < \Delta U_{\text{доп}} = 6,35$$

Приймаємо кабель перетином 4мм² і повторюємо розрахунок, цей кабель задовольняє умовам.

Приймаємо кабель ГРШС 3х4+1х2,5.

Таблиця №3.3 Встановлена потужність підземного освітлення

№ /п	Найменування споживачів	Розмір виробіток	Відстань між світильниками	Кількість світильників	Потужність		Примітка
					одиниця, Вт	загальна, кВт	
1	Орти	3000	5	600	60	36	-
2	Штреки	2000	5	400	100	40	-
3	Проміжний горизонт	2750	5	550	100	55	-
4	Загально рудничні гірничі виробітки (кваршлаг, рудоводи)	4000	5	800	100	80	-
	Всього	-	-	1950	-	171	-

Висновки

Бакалаврська дипломна робота присвячена економічно доцільному вибору електричних параметрів та захистів напруги живлення для підземних тягових підстанцій залізорудних шахт, а також оптимальності освітлення приміщення АТП з урахуванням відповідних Держстандартів прийнятих на території України.

Об'єкт дослідження – підземна тягова підстанція залізорудної шахти.

Мета роботи – виконати розрахунок норм освітлення та вибрати оптимальні і раціональні параметри для живлення тягової підстанції у залізорудній шахті.

Практичне значення полягає у застосуванні струмового захисту у шахтних напівпровідникових перетворювальних установках з використанням струмообмежувальних реакторів при неприпустимих струмових перевантаженнях і наявності коротких замикань у них.

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи складається з: анотації, вступу, семи розділів, висновків, літератури.

У вступі зазначено основні характеристики комбінату, структура, перелік шахт з наявним у них електротехнічним обладнанням.

У першому розділі розглядається методи і засоби, що необхідні для сталого і надійного електропостачання рудникової електровозної відкатки.

У другому розділі проводиться вибір оптимальних параметрів і розроблення раціональної схеми випрямлення для шахтного тягового перетворювача.

У третьому розділі наведено методику вибору засобів захисту шахтового регульованого тиристорами перетворювача, розраховано

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійність роботи АТП на тиристорах, наведено методику та проведено розрахунок електричного освітлення для приміщення АТП згідно Держстандартів України, виконано розрахунок електричних навантажень і визначена кількість освітлювальних трансформаторів, проведено розрахунок освітлювальної мережі.

У висновках приведено аналіз проведеної роботи та отримані відповідні очікувані результати.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (2017).
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
2. Хоменко І.В., Стасюк І.В. (2019), «Енергетична безпека України», Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка, Харків, вип. 37, с.64 – 66.
3. Халатов А.А. (2016), «Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи», Вісник Національної академії наук України, №6, с. 53 – 61.
4. Сінчук І.О. (2019), «Методологічні засади оцінювання електроенергоефективності залізрудних підприємств»: монографія, Кременчук: ПП Щербатих О.В., 284 с.
5. Енергозбереження на підприємствах гірничовидобувної промисловості. Проблеми, шляхи реалізації: монографія / І.О. Сінчук, Е.С. Гузов, Д.О. Кальмус, під ред. доктора техн. наук, проф. О.М. Сінчука. Кривий Ріг – Кременчук: ПП Щербатих О.В. 2016. 342 с.
6. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В, Енергозбереження: навч. посібн.: 2 – ге видання, Дніпро: Національний гірничий університет. 2008. 166 с.
7. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їх перспективи в Україні / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. // Технічна електродинаміка. 2012. №5. с. 52 – 67.
8. Сучасний ринок електричної енергії. Підручник. Курс лекцій / І.О. Сінчук, Т.М. Берідзе, В.О. Федтов, М.Л. Барановська, Л.В. Сменова, А.В. Пироженко: за редакцією доктора технічних наук, професора О.М. Сінчука. Кременчук: ЧП Щербатих О.В. 2021. 332 с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

9. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під ред. А.К. Шидловського. Київ: Українські енциклопедичні знання. 2007. 560 с.
10. Денисюк С.П. Аналіз та оптимізація енергопроцесів у розосереджених електроенергетичних системах. Технічна електродинаміка. №4. 2016. <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.062>
11. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Використання динамічної тарифікації для оптимізації техніко – економічних показників Microgrid на локальних ринках електроенергії. Технічна електродинаміка. №3. 2022. <https://doi.org/10.15407/techned2022.03.037>
12. Жаркин А.Ф., Денисюк С.П., Попов В.А. Системы электроснабжения с источниками распределенной генерации. Київ: Наукова думка. 2017. 230 с.
13. Стогній Б.С. Интеллектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Денисюк // Технічна електродинаміка. 2010. №6. с. 44 – 51.
14. Simoes M.G. Renewable energy systems: Design and Analysis with Induction Generators / M.G. Simoes, F.A. Farret. Boca Raton, London, New York, Washington D.C.: CRC Press LLC, 2000. 358 p.
15. Larminie J. Fuel Cell Systems Explained / J. Larminie, A.Dicks. Chichester, England: John Wiley and Sons, 2000. 402 p.
16. Sensitivity analysis of the modeling parameters used in simulation of proton exchange membrane fuel cells / J. Correa, F. Farret, M. Simoes, V. Popov // IEEE Transactions on energy conversion. 2005. Vol. 20, N1. p. 211 – 218.
17. Padvo C.E. Survey of the economics of Hydrogen Technologies / C.E. Padvo, V. Putschev // National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, NREL/TP – 570 – 1079. 1998. 175 p.
18. Silva E.P. Introducao a tecnologia e economia do hidrogenio / E.P. Silva. Campinas, Brasil: Editora da UNICAMP, 1991. 204 p.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-04	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Zhu Y. Optimal distribution power flow for systems with distributed energy resources / Y. Zhu, K. Tomsovic // Electrical Power and Energy Systems. 2007. Vol. 29. p. 260 – 267.

20. Harrison G.P. Optimal power flow evaluation of distribution network capacity for the connection of distributed generation / G.P. Harrison, A.R. Wallace // IEEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution. 2005. Vol. 152, N.1. p. 115 – 122.

21. Allocation of losses in distribution systems with embedded generation / J. Mutale, G. Strbac, S. Curcic, N. Jenkins // IEEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution. 2000. Vol.147, N1. p. 7 -14.

22. Mendes Quezada V.H. Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation / V.H. Mendez Quezada, J.R. Abbad, T.G. San Roman // IEEE Transactions on Power Systems. 2006. Vol.21, N2. p. 533 – 540.

23. Сінчук І.О. Методологічні засади очікування електроенергоефективності залізрудних підприємств: монографія / І.О. Сінчук. Кременчук: ПП Щербатих О.В. 2019. 284 с.

24. Brief commentaries on the problem of power consumption management at iron ore underground mines. Multi – authored monograph / [I.O. Sinchuk, S.M. Boiko, M.L. Baranovska та ін.]. Warszawa: iScience Sp. z. o. o., 2019. 103 p.

25. Peng J.C. Contributions of individual generators to complex power losses and flows. Part 2. Algorithm and simulations / Peng J.C., H. Jiang // IEEE Proceeding on Generation, Transmission, Distribution. 2002. Vol. 149, N2. p. 186 – 190.

26. Bayoumi E.H. Power electronics in smart grid power transmission systems a review / E.H. Bayoumi // Int J. Industrial Electronics and Drives. 2015. Vol. 2, #2. p. 98 – 115.