

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"



ОСТАПЧУК Олександр Володимирович

УДК 621.316.9: 621.616.13

СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ПІДЗЕМНИХ СПОЖИВАЧІВ ГЛИБОКИХ І
ЕНЕРГОЄМНИХ РУДНИХ ТА ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Спеціальність 05.09.03 – "Електротехнічні комплекси та системи"

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі відновлюваних джерел енергії Державного вищого навчального закладу "Національний гірничий університет" (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України

Науковий

консультант: доктор технічних наук, професор
Шкрабець Федір Павлович,
Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет" (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри відновлюваних джерел енергії

Офіційні

опоненти: доктор технічних наук, професор
Розен Віктор Петрович
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського" Міністерства освіти і науки України, в.о. завідувача кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами

доктор технічних наук, професор
Дзюбан Віталій Серафимович,
Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри електричних машин та апаратів

доктор технічних наук, професор
Маліновський Антон Антонович,
Національний університет "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України, в. о. завідувача кафедри електроенергетики та систем управління

Захист відбудеться "14" грудня 2017 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному ВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19. корпус 1, ауд. 60.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного ВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005 м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розісланий "13" листопада 2017 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 08.080.07,
д. т. н., професор



В.І. Голінько

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Стан та актуальність питання. Високий ступінь механізації та електрифікації сучасних вугільних та рудних шахт пов'язаний зі збільшенням рівня електричних навантажень, що значно перевищують темпи зростання об'єму видобутку корисних копалин підземним способом. Це обумовлено як виробничо-організаційними факторами (тенденція до інтенсифікації гірничих робіт, укрупнення та об'єднання шахт, збільшення добового навантаження на лаву тощо), так і суттєвим ускладненням гірничо-технологічних умов у зв'язку з переходом на відпрацювання більш глибоких горизонтів. Такі умови призводять до зменшення надійності та економічності підземних систем електропостачання через збільшення загальної довжини розподільних мереж, нерівномірності графіків навантаження тощо. Підвищуються вимоги до систем електропостачання шахт, економічні показники яких залежать від виробничої потужності найбільших приймачів електричної енергії, значень електричних навантажень, рівнів споживання основними групами споживачів (очисні роботи, транспорт, підйом, водовідлив тощо), розподілення навантажень між споживачами поверхні та підземними установками, а також від гірничо-геологічних особливостей родовища. У той же час, кількісне зростання енергооснащеності та показників енерговикористання формує нові вимоги до систем електропостачання, які, як правило, не можуть бути успішно реалізовані при існуючому рівні розвитку електрообладнання та систем живлення.

Основними споживачами електричної енергії при цьому є стаціонарні та пересувні установки значної електричної потужності. Загальна потужність приймачів електричної енергії сучасних шахт сягає 10-12 МВт. Більшість споживачів шахти відносяться до споживачів першої категорії за надійністю та безперебійністю електропостачання, тому потребує певних конструктивних рішень при побудові підземних систем електропостачання.

Загальна структура підземної системи електропостачання підприємств з видобутку корисних копалин характеризується наступними факторами: значною відстанню джерела живлення від центра електричних навантажень та їх територіальним розподілом; погіршенням гірничо-геологічних умов, що потребують більш значних витрат на їх видобуток; тенденцією до збільшення одиначної потужності видобувних та переробних комплексів; постійним переміщенням фронту гірничих робіт. Технологічні процеси видобутку та переробки сировини на гірничих підприємствах з підземним видобутком корисних копалин, характеризуються значними витратами електричної енергії. Енергетична скла-

дова в загальному обсязі виробничих витрат вказаних підприємств перебуває на рівні 30 % та вище.

Перехід на більш глибокі горизонти потребує вирішення низки питань з організації технології гірничого виробництва, запровадження нових заходів і засобів з механізації та автоматизації виробничих процесів, надійного забезпечення споживачів електричною енергією з відповідними показниками якості, підвищення рівня безпеки праці. Зазначених показників можна досягти за рахунок аналізу факторів, які впливають на функціонування підземної системи електропостачання, що дозволяє у повному обсязі і на тривалий термін вирішити питання ефективного функціонування сучасних шахт, з урахуванням їх подальшої перспективи. Отже, підвищення ефективності функціонування систем електропостачання глибоких та енергоємних шахт за рахунок встановлення закономірностей забезпечення нормованого рівня напруги споживачам глибоких горизонтів з визначенням оптимального класу напруги та розробкою методів і засобів безпеки обслуговування таких систем є актуальною *науковою проблемою*.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась у відповідності з пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки "Енергетика та енергоефективність" (Закон України від 11.07.2001 № 2623-III, редакція станом на 16.01.2016), Державною програмою енергонезалежності (указ Президента України №5/2015 Про стратегію сталого розвитку "Україна-2020" від 12.01.2015 р.) а також держбюджетними та господарчими темами "Дослідження режимів та розробка енергоефективного електрообладнання підприємств гірничо-металургійного комплексу" (№ держреєстрації 0108U000557), "Наукове обґрунтування і розробка концепції переводу живлення підземних споживачів глибоких енергоємних шахт на напругу 20-35 кВ" (№ держреєстрації 0109U002813), "Покращення показників енергоефективності та якості систем електропостачання та електроприводу технологічних установок енергоємних виробництв" (№ держреєстрації 0110U000530), "Исследование уровней рабочих напряжений питающих шахтных сетей в системе электроснабжения ЗАО "Запорожский ЖРК" и обоснование решений по их оптимизации" (№ держреєстрації 0108U004738), "Повышение надежности распределительных сетей напряжением 6 кВ Запорожского железорудного комбината на основе ограничения внутренних перенапряжений" (№ держреєстрації 0106U012166) де автор був виконавцем та відповідальним виконавцем.

Мета та завдання досліджень. Метою дослідження є поліпшення показників якості електричної енергії та надійності систем електропостачання глибо-

ких та енергоємних шахт на основі використання класу напруги 35 кВ для підземних ліній живлення.

Для досягнення мети дисертаційної роботи поставлені наступні завдання досліджень:

- аналіз ступеню розподілу, рівнів і динаміки електричних навантажень вугільних і рудних шахт в процесі їх розвитку;
- пошук шляхів забезпечення нормованого рівня напруги споживачам глибоких горизонтів;
- обґрунтування умов використання оптимального класу напруги 35 кВ в системі електропостачання підземних споживачів;
- розробка структури та схемних рішень щодо реалізації підземної системи електропостачання напругою 35 кВ з урахуванням вимог надійності, якості електричної енергії та безпеки обслуговування;
- обґрунтування необхідності застосування та вимог до системи безперервного контролю ізоляції і захисту від витоків в високовольтній підземній мережі;
- розробка методів і засобів мінімізації аварійних струмів, потенціалів і перенапруг в шахтній мережі з напругою 35 кВ;
- оцінка ефективності реалізації системи електропостачання глибоких енергоємних шахт з використанням класу напруги 35 кВ.

Об'єктом дослідження є процес передавання електричної енергії споживачам глибоких горизонтів енергоємних шахт.

Предметом дослідження є методи забезпечення показників якості, надійності та безпеки систем електропостачання підземних споживачів глибоких та енергоємних шахт.

Методи досліджень. Для вирішення наукової проблеми в дисертаційній роботі використовується комплекс наукових методів, що включає: аналіз науково-технічної літератури та інших інформаційних джерел – при формулюванні наукової проблеми; аналітично-розрахункові методи – для оцінки характеру та рівня споживання електричної енергії в умовах сучасних глибоких та енергоємних шахт; розрахунково-експериментальні методи – для встановлення механізмів роботи пристроїв контролю параметрів ізоляції та захисту від уражень; наукове узагальнення – при визначенні стану розвитку систем електропостачання сучасних вугільних та рудничних шахт; інженерний і конструкторський пошуки – при розробці технічних рішень, спрямованих на підвищення швидкодії пристроїв захисту; елементи теорії ймовірності та математичної статистики – при описі процесів роботи підземних споживачів електричної енергії; методи

моніторингу – для оцінки ефективності функціонування пристрою контролю ізоляції в режимі реального часу; експоненціальна апроксимація – при визначенні характеру залежності величин; елементи нелінійної алгебри – при моделюванні стаціонарних процесів; регресійний аналіз – при аналізі динаміки розвитку гірничих підприємств; теорія електричних кіл – для побудови схем заміщення електричних мереж; математичне моделювання при описі процесів у електричних мережах; метод градієнта – для розв’язання оптимізаційних задач.

Основні наукові положення та їх новизна:

- технічна доцільність застосування відповідного класу напруги в системі підземного електропостачання глибоких енергоємних шахт визначається параболічною залежністю повної потужності навантаження та довжини ліній і обернено пропорційна припустимому значенню відхилення напруги для забезпечення відповідних показників якості, надійності та економічності такої системи;
- розміщення межі переходу напруги живлення 35 кВ на рівень розподільної напруги 6 кВ в системі підземного електропостачання для глибоких та енергоємних шахт визначається через просторову координату центра електричних навантажень підземних споживачів та враховує заданий рівень відхилення напруги і оптимальне значення загальної вартості високовольтної кабельної підземної мережі.

Наукові результати досліджень:

1. Визначені граничні значення пропускної здатності високовольтних кабельних мереж різних класів напруги підземної системи електропостачання, які на відміну від відомих, враховують залежність від нормованого рівня втрат, параметрів кабельної мережі та коефіцієнта потужності споживачів.

2. Встановлено залежність використання класу робочої напруги високовольтних живильних кабелів від споживаної потужності, параметрів кабельної мережі та заданого рівня втрат напруги, що дозволяє суттєво поліпшити показники якості напруги, надійності та економічності системи за рахунок струмового розвантаження найбільш критичної ланки шахтної мережі, якою є стовбурні кабелі.

3. Розроблено математичну модель визначення межі застосування класу напруги 35 кВ на робочому горизонті для живлення споживачів глибоких горизонтів, яка на відміну від відомих, дозволяє визначити оптимальне місце розташування трансформаторної підстанції 35/6 кВ з урахуванням об’єму споживання електричної енергії та вартісних показників підземної кабельної мережі з

подальшим розподіленням електроенергії напругою 6 кВ за класичними схемами.

4. Запропоновано новий спосіб мінімізації негативних наслідків пошкодження ізоляції високовольтної частини електричної мережі, відмінність якого полягає в автоматичному пошуку пошкодженої фази за допомогою контрольних сигналів підвищеної частоти та її шунтуванні.

5. Для умов підземної мережі напругою 35 кВ розроблено математичну модель визначення залежності напруги дотику людини, що враховує зміну параметрів підземних ліній живлення та обґрунтовано відповідний ступінь швидкодії пристроїв захисту від ураження в таких системах.

6. Розроблено алгоритм функціонування системи моніторингу та захисту, що на відміну від відомих, дозволяє підвищити рівень безпеки ліній живлення 35 кВ та мінімізувати негативні наслідки при однофазних ушкодженнях в підземній високовольтній системі електропостачання.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, запропонованих у роботі, підтверджується: коректністю припущень і визначення початкових умов, прийнятих в математичних моделях, їх відповідністю завданням моделювання та умовам фактичних режимів роботи підземних електричних мереж; результатами експериментальних досліджень рівня споживання електричної енергії в умовах реальних шахт; результатами зіставлення теоретичних і експериментальних досліджень; позитивним досвідом впровадження результатів роботи.

Практичне значення результатів роботи полягає в наступному:

1. Розроблена методика визначення раціонального розміщення підземних підстанцій 35/6 кВ з урахуванням просторової координати за фактичним розподілом електричного навантаження між робочими горизонтами.

2. Запропоновані схемні рішення з конструктивного виконання підземної шахтної мережі і підстанції 35/6 кВ та розроблені рекомендації щодо їх захисту від несиметричних ушкоджень.

3. Виконане технічне обґрунтування вимог щодо конструктивного виконання системи шунтування пошкодженої фази в умовах використання напруги 35 кВ.

4. Розроблено функціональну схему системи моніторингу та захисту від уражень струмами витоку на землю і мінімізації негативних наслідків аварійних однофазних ушкоджень в мережах підземного високовольтного електропостачання.

5. Обґрунтовано структуру і розроблено нормативні документи щодо рівня безпечного застосування напруги 35 кВ для систем електропостачання підземних електроприймачів, які включають загальні вимоги та положення, а також нормативи і вимоги безпеки при проектуванні, монтажі, експлуатації і обслуговуванні таких систем.

Рівень впровадження результатів досліджень.

Наукові положення, висновки і результати роботи у вигляді технічних рекомендацій та схемних рішень використані при розробці «Тимчасових нормативів безпеки застосування напруги 35 кВ для системи електропостачання підземних електроприймачів ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»», а також в проектній документації «Науково-проектний центр (НПЦ) ДТЕК» (м. Дніпро) та її реалізації в умовах ПрАТ «Запорізький ЗРК» (м. Дніпрорудне).

Особистий внесок автора полягає у формуванні мети і основних завдань дослідження, обробці та аналізі інформації щодо рівня та динаміки споживання електричної енергії в умовах сучасних гірничих підприємств, аналізу факторів, що впливають на показники якості електричної енергії у підземних споживачів електричної енергії, визначення основних шляхів забезпечення необхідного рівня напруги живлення підземних споживачів в умовах глибоких шахт; встановленні залежності пропускну здатності кабельних мереж для різних класів напруги; встановленні залежності технічно доцільного класу напруги за значенням нормованих електричних втрат та параметрів мережі; обґрунтуванні умов щодо застосування класу напруги в підземних системах електропостачання глибоких шахт; розробці методики визначення оптимального місця розташування знижувальної підстанції 35/6 кВ; розробці технічних рішень щодо виконання систем електропостачання глибоких та енергоємних вугільних і рудних шахт, як на етапі будівництва так і реконструкції; розробці основних вимог щодо безпечного застосування напруги 35 кВ в системах підземного електропостачання; розробці алгоритму функціонування системи моніторингу та захисту від уражень в підземній високовольтній мережі напругою 35 кВ; визначенню факторів щодо ефективного функціонування системи релейного захисту та мінімізації аварійних струмів і перенапруг; запровадженні технічних рішень для функціонування підземної системи електропостачання напругою 35 кВ.

Апробація основних результатів дисертаційної роботи.

Основні матеріали і результати, одержані в дисертаційній роботі, доповідались і були схвалені на науково-технічних конференціях: 8-й щорічній міжнародній промисловій конференції "Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціалу в сучасних умовах" (смт. Славське, 2008 р.); III,

V та VI Міжнародній науково-практичній конференції "Енергозбереження на залізничному транспорті" (смт. Воловець, 2012, 2014, 2015 рр.); VI Міжнародній науково-практичній конференції "Електрифікація залізничного транспорту" (м. Місхор, 2012 р.); Першій всеукраїнській конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь: наука та інновації» (м. Дніпропетровськ, 2013 р.); XV ювілейній міжнародній науково-практичній конференції «Відновлювана енергетика XXI століття» (м. Київ, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2014 р.); I Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих учених «Актуальні питання енергоефективності гірничо-металургійного виробництва» (м. Кривий Ріг, 2016 р.); Міжнародній конференції «Форум гірників – 2016» (м. Дніпро, 2016 р.).

Публікації. Основні положення і результати роботи відображено в 34 друкованих наукових працях, з них: 2 монографії; 1 – публікація у закордонному виданні; 22 – статті у фахових виданнях (з них 4 у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus, Index Copernicus, РИНЦ), 8 – матеріали наукових конференцій, 1 – інші праці.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, списку літературних джерел, що містить 147 найменувань, на 18 сторінках, 4 додатків, повний обсяг дисертації 325 – сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито стан проблеми та обґрунтовано актуальність досліджень з обраної теми, сформульовано наукову проблему, мету і завдання досліджень, викладено загальну характеристику дисертації.

У першому розділі проаналізовано стан проблеми, що полягає у підвищенні ефективності енергозабезпечення підземних споживачів глибоких та енергоємних шахт, визначенні рівня та характеру електричних навантажень в умовах діючих гірничих підприємств України, охарактеризовано режими роботи основного електрообладнання та їх зміну в процесі збільшення загальної потужності і глибини розробки корисних копалин.

Сучасний стан систем електропостачання машин та комплексів з видобутку та переробки корисних копалин характеризується наступними факторами: значною відстанню джерела живлення від центра електричних навантажень та їх територіальним розподілом; погіршенням гірничо-геологічних умов, що потребують більших витрат на їх видобуток; тенденцією до збільшення одиничної

потужності видобувних та переробних комплексів; постійним переміщенням фронту гірничих робіт. Технологічні процеси видобутку та переробки сировини на гірничих підприємствах з підземними видобутком корисних копалин, характеризуються значними витрати електричної енергії. Енергетична складова в загальному об'ємі виробничих витрат вказаних підприємств сягає 30 % та вище.

Значний внесок у вирішення питань забезпечення надійного та ефективного функціонування підземних систем електропостачання гірничих підприємств внесли вчені Бацежев Ю.Г., Волотковський С.А., Груба В.І., Дзюбан В.С., Заїка В.Т, Кириленко О.В., Колосюк В.П., Коптіков В.П., Лейбов Р.М., Маліновський А.А., Меньшов Б.Г., Озерной М.І., Півняк Г.Г., Праховнік А.В., Разумний Ю.Т., Розен В.П., Серов В.І., Сінчук О.М., Траубе Є.С., Цапенко Е.Ф., Шкрабець Ф.П., Щуцький В.І., Ягудаєв Б.М. та інші. Провідна роль у розробці і вдосконаленні структур підземних систем електропостачання належить колективам: МакНДІ, ІЕД НАН України, «ДПІ «Кривбаспроект», «Дніпродіпрошахт», НДІБТГ, ДонНТУ, Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» тощо.

Аналіз стану проблеми підвищення ефективності енергозабезпечення підземних споживачів глибоких та енергоємних шахт дозволив сформулювати наступні висновки:

1. Розвиток шахт, пов'язаний з розробкою глибоких горизонтів та з різким збільшенням електричних навантажень, потребує реконструкції системи електропостачання для забезпечення відповідних показників якості електроенергії та урахування очікуваного рівня зростання навантажень. При цьому можливі наступні варіанти:

– підтримання рівня робочої напруги технічними засобами (лінійні регулятори, засоби поперечної та поздовжньої компенсації);

– переведення високовольтної системи внутрішнього підземного електропостачання шахти на напругу 10 кВ;

- живлення нових глибоких горизонтів шахт напругою 35 кВ (глибокий ввід напруги 35 кВ);

2. Значну роль в забезпеченні надійної та безперебійної роботи шахт відіграють системи електропостачання, їх надійність, безпека, економічна ефективність. Залежать ці показники від багатьох чинників, але в основному – від напруги живлячих і розподільних мереж та параметрів окремих елементів цих мереж, вибір яких залежить від очікуваних навантажень;

3. У даний час для підземних високовольтних розподільних мереж застосовується напруга 6 кВ. Зі зростанням потужності шахт, що будуються, і особ-

ливо із збільшенням загальної потужності електродвигунів на прохідницьких і добувних ділянках ускладнюється підземна високовольтна кабельна мережа (збільшується площа перерізу жил кабелів, прокладаються паралельні лінії тощо), що викликає збільшення загальних капіталовкладень та втрат електроенергії. З позиції підвищення загальної надійності системи електропостачання, необхідно, навпаки, прагнути до зменшення числа ліній живлення та розподілення;

4. Низка нормативно-правових документів, які регламентують виробництво, передачу, розподіл і споживання електроенергії, а також організацію роботи електроустановок в умовах гірничих підприємств з підземним способом видобутку корисних копалин, мають суттєві недоліки, деякі з них значно застаріли та не відповідають сучасним характеристикам обладнання, що виготовляється підприємствами для гірничої галузі (зокрема закордонними). Ситуація ускладнюється тим, що номенклатура обладнання, яке використовується на відповідних підприємствах закордоном, досить різноманітна і потребує визначення доцільності використання в системі електропостачання з напругою відповідного класу.

У другому розділі виконано дослідження факторів, що впливають на надійність та безпеку підземних систем електропостачання глибоких і енергоємних шахт.

Технологічний процес видобутку корисних копалин з переходом на глибокі (понад 1000 м.) горизонти, зазнає значних змін. В таких умовах основними вимогами до систем електропостачання є: надійність, мінімальні інвестиційні терміни, зменшення втрат електроенергії та напруги на всіх ланках системи електропостачання, раціональне використання електрообладнання. Найбільший вплив на ефективність роботи підземних споживачів чинять відхилення та коливання напруги. Відхилення напруги на шинах шахтних підстанцій в нормальному режимі сягає 10 %, а в окремих випадках 15% і більше від номінального. Граничні значення рівнів і коливань напруги, в першу чергу, забезпечуються підтримкою стабільності напруги на шинах джерела живлення, що входить в обов'язок енергопостачальної організації. Усі заходи, що спрямовані на зниження негативного впливу зміни напруги, можна умовно розділити на три групи:

- 1) заходи, що спрямовані на зміну роботи пристроїв генерації;
- 2) заходи, що дозволяють регулювати параметри напруги при зміні режиму роботи споживачів;
- 3) заходи, які спрямовані на зниження рівня втрат напруги, за рахунок

підвищення пропускної здатності мережі.

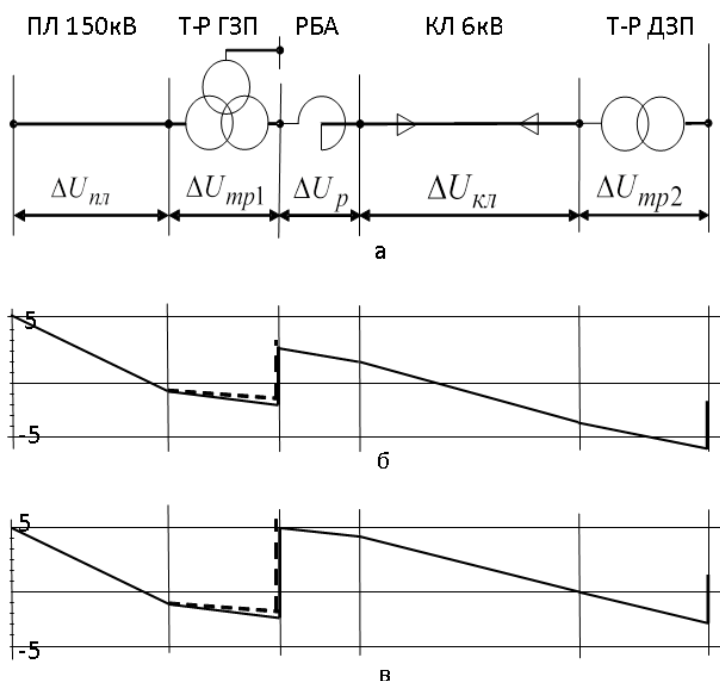


Рисунок 1 – Епюра розподілення втрат напруги в елементах мережі гірничого підприємства: а – схема заміщення послідовно увімкнених ланок електричної мережі; б – без використання засобів контролю напруги; в – з використанням засобів контролю напруги (РПН на трансформаторах ГЗП).

Найбільшого розповсюдження в умовах вугільних та рудних шахт отримали друга та третя група. До другої групи заходів відноситься централізоване регулювання напруги трансформаторів ГЗП шахти, яке забезпечується застосуванням пристроїв регулювання під навантаженням (РПН), з робочим діапазоном до 15-20%. Ефективність регулювання в такому випадку, характеризується не тільки обмеженням рівня відхилень напруги в припустимих межах, але й витратою електроенергії. Отже необхідно пам'ятати, що відхилення напруги на шинах ГЗП впливає на

показники якості електричної енергії великої кількості різноманітних приймачів, які розташовані як на поверхні, так і в підземних виробках. Ці електроприймачі можуть відрізнитись за припустимими значеннями відхилення напруги у залежності від режиму роботи та їх індивідуальних характеристик. Ефективність реалізації такого методу визначається аналізом параметрів мережі окремого об'єкта, а саме ступенем зміни напруги споживачів відповідного горизонту. Так для усієї послідовності увімкнених елементів, що зображені за допомогою схеми заміщення (рис. 1 а), рівень спадання напруги буде мати вигляд (рис. 1 б), де суцільною лінією позначений рівень напруги на обмотці 6 кВ трансформатора ГЗП (для живлення підземних споживачів), а пунктирною лінією – рівень напруги для обмотки 35 кВ (для розподільних підстанцій). При використанні трансформатора з пристроєм РПН, (діаграма рис. 1 в), існує небезпека перевищення верхньої межі напруги 35 кВ та пошкодження близько розташованих елементів, що підключені до нього.

Найбільш ефективними заходами *третьої групи* є вдосконалення параметрів ліній підземної системи живлення та розподілення за рахунок поздовжньої

компенсації реактивних параметрів лінії та використання класу більш високої напруги для розподільної мережі.

В умовах використання поздовжньо-ємнісної компенсації (ПЄК) для підземних стовбурних мереж окремого горизонту, опір ємності конденсаторів компенсує (частково чи повністю) або навіть перекомпенсує індуктивний опір лінії, внаслідок чого в ній зменшується втрата напруги. Схему заміщення мережі з навантаженням в кінці лінії та з послідовним увімкненням конденсаторів зображено на рис. 2а; векторні діаграми напруги без конденсаторів і з конденсаторами зображено на рис. 2 б і 2 в. Поздовжня складова величини спадання напруги для випадку без конденсатора (рис. 2б), визначається вектором $\underline{U}_{2\phi}$ (точка 1)

$$\Delta U_{\phi} = I(r_l \cos \varphi + x_l \sin \varphi). \quad (1)$$

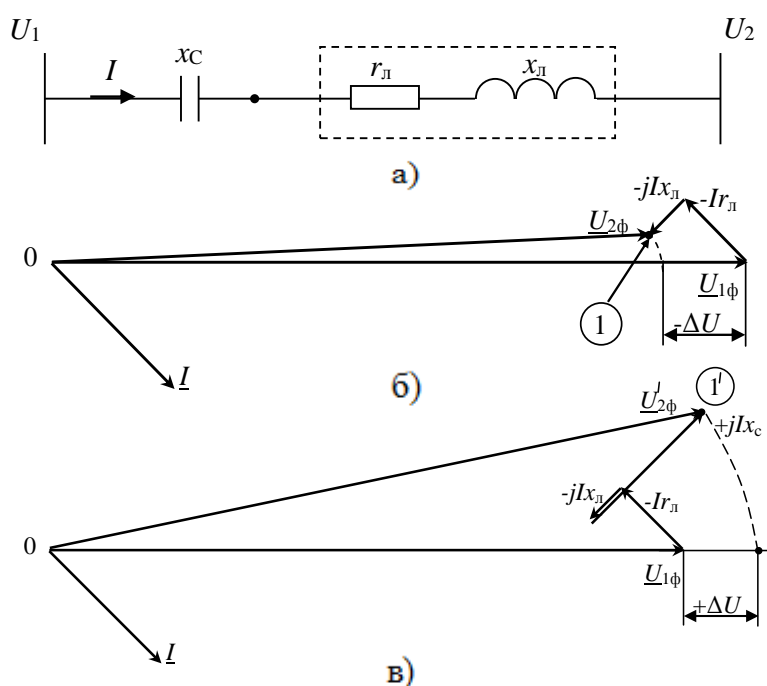


Рисунок 2 – Схема заміщення мережі з увімкненням конденсаторів (а); векторні діаграми напруги без конденсаторів (б) і з конденсаторами (в).

напруги в лінії має значення, близьке до нуля. В цьому випадку поздовжня складова спадання напруги

$$\Delta U''_{\phi} = I[r_l \cos \varphi + (x_l - x_c) \sin \varphi] = 0, \quad (2)$$

Якщо в лінію включити послідовно конденсатори з реактивним опором x_c (рис. 2.в) то сумарне спадання напруги на реактивному опорі лінії між джерелом живлення і споживачами матиме значення $I(x_l - x_c)$.

На рис. 2в, наведений випадок, коли $x_c > x_l$, який відповідає перекомпенсації індуктивного опору лінії; при цьому напруга біля приймача буде дорівнювати вектору $\underline{U}'_{2\phi}$.

Можна визначити таке значення опору x_c , при якому $U_{1\phi} \approx U_{2\phi}$, тобто втрата на-

якщо $r_l \cos \varphi = (x_c - x_l) \sin \varphi$, тоді

$$x_c = x_l + r_l \operatorname{ctg} \varphi. \quad (3)$$

Реактивний опір конденсаторів в цьому випадку компенсує не тільки індуктивний опір лінії, але й, деякою мірою, спадання напруги на активному опорі. Очевидно, що при подальшому збільшенні x_c можна досягти більшого значення напруги на кінці лінії, чим на її початку, що забезпечить компенсацію спадання напруги. Якщо знехтувати поперечною складовою втрати напруги, а також врахувати відомі співвідношення для розрахунку потужності приймачів і потужності конденсаторів, то очікувана розрахункова процентна величина зниження втрат напруги визначиться виразом

$$\Delta U_p = \frac{P \cdot x_0 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \phi}{10 \cdot U_n^2} \lambda, \% \quad (4)$$

де P – розрахункова активна потужність, що передається лінією, кВт; x_0 – індуктивний опір 1 км лінії на фазу, Ом/км; l – довжина лінії, км; U_n – номінальна лінійна напруга, кВ; $\operatorname{tg} \phi$ – тангенс кута зсуву фаз між напругою і струмом в лінії; $\lambda = x_l / x_c$ – ступінь компенсації.

Враховуючи існуючі обмеження щодо максимальної площі перерізу жил кабелів з робочою напругою 6 кВ (для стаціонарних розподільних пунктів – 240 мм², для пересувних розподільних підстанцій – 95 мм²), передавання потужності на рівні 5 МВА з забезпеченням існуючих вимог до показників якості електроенергії є досить складним завданням. Зазначені обставини призводять до застосування ненадійного та небезпечного в експлуатації багаторазового секціонування підземних підстанцій. Приклади реалізації схем живлення наведені на рис. 3. При використанні трьох ствольних кабелів можливі різноманітні варіанти схем живлення ЦПП, які суттєво відрізняються кількістю використовуваних ввідних та секційних КРП. При проектуванні систем живлення ЦПП, у тому числі для глибоких шахт, необхідно виконувати вимогу щодо рівномірного навантаження ліній живлення з роздільною роботою секцій шин. Тобто за умови виходу з ладу одного з кабелів, повинна забезпечуватись робота шахти без зниження продуктивності. В умовах глибоких шахт, при передаванні електричної енергії на значну відстань (довжина окремих ліній досягає 5 км), значно зрос-

тають втрати напруги та знижується якість електричної енергії, тому необхідно виконати заходи з підвищення пропускну здатності мережі. Порівняльний аналіз варіантів організації електропостачання при використанні різних класів високовольтної мережі виконується з урахуванням якісних показників, що не мають вартісної оцінки.

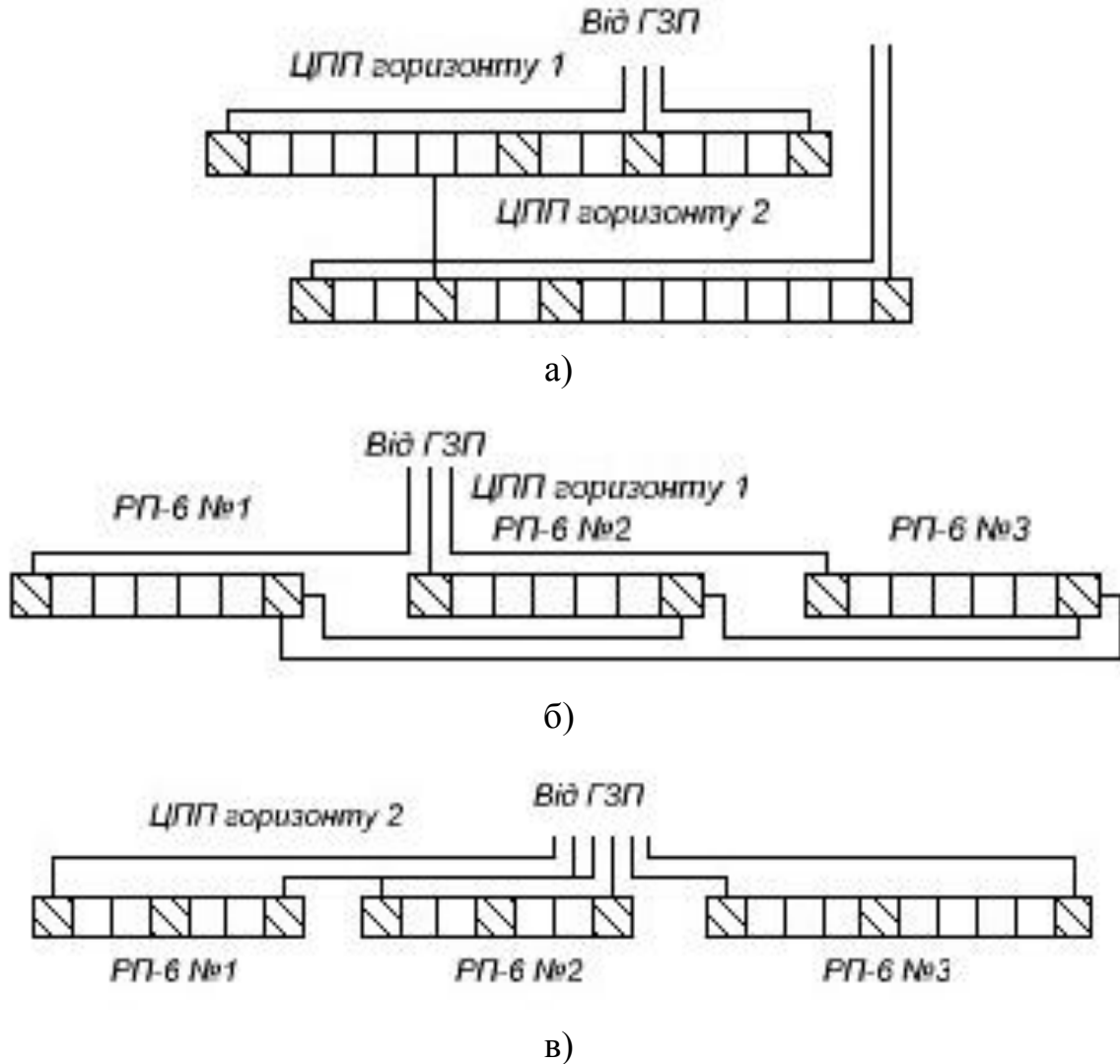


Рисунок 3 а – Схема живлення при використанні трьох кабелів з площею перерізу жил 95 мм^2 ; б – Схема живлення при використанні трьох кабелів площею перерізу жил 185 мм^2 ; в – Схема живлення при використанні шести кабелів площею перерізу жил 150 мм^2 .

Якісні показники варіанту є кращими, якщо:

- при роботі в електромережі виникають менші коливання напруги;
- зменшуються загальні втрати напруги;
- спрощується монтаж і експлуатація мереж підземної системи електропостачання;
- спрощується реконструкція мережі у разі потреби (при необхідності збільшення виробничої потужності).

При проведенні досліджень, необхідно вибрати шахту з усередненими показниками продуктивності, глибиною виробок корисних копалин, водоприливом тощо. При цьому необхідно враховувати, що за напругу живильної мережі доцільно використовувати клас напруги відповідного стандартного ряду: 6, 10 та 35(110) кВ. Основним показником пропускної спроможності кабельних ліній є значення переданої повної потужності при заданому рівні втрат напруги та номінальній напрузі. Втрата напруги у лінії визначається за виразом

$$\Delta U = \sqrt{3}I(R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi), \text{ В} \quad (5)$$

I – розрахунковий струм у лінії, А; φ – кут зсуву фаз між струмом і напругою; R та X – активний та індуктивний опір жил кабелю, Ом.

Конструкція кабелю зумовлює особливе значення для його поверхневого ефекту близькості, додаткових втрат потужності та інших явищ, характерних для передачі змінного струму.

Тоді повна потужність S

$$S = \frac{\Delta u U_n^2}{(R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)} \cdot 10^{-2}, \text{ МВА} \quad (6)$$

За наведеними формулам виконано розрахунок пропускної здатності реальних ствольових кабелів для однієї з шахт ПрАТ «Запорізький ЗРК», з використанням робочої напруги 6 кВ, що отримала розповсюдження у переважній більшості вітчизняних гірничих підприємств (рис. 4). Перспективи зміни показників пропускної спроможності мереж для умов використання напруги 10 кВ (яка дозволена нормативними документами), зображені на рисунку 5.

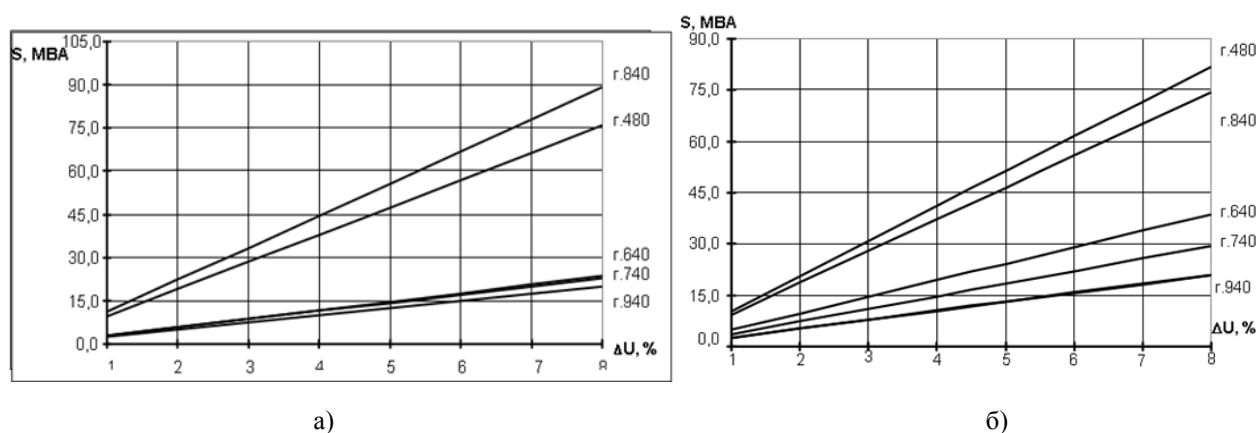


Рисунок 4 – Пропускна здатність кабелів робочих горизонтів Запорізького ЗРК з напругою мережі 6 кВ: а, б – секція 1 та 2 підстанції підземних споживачів

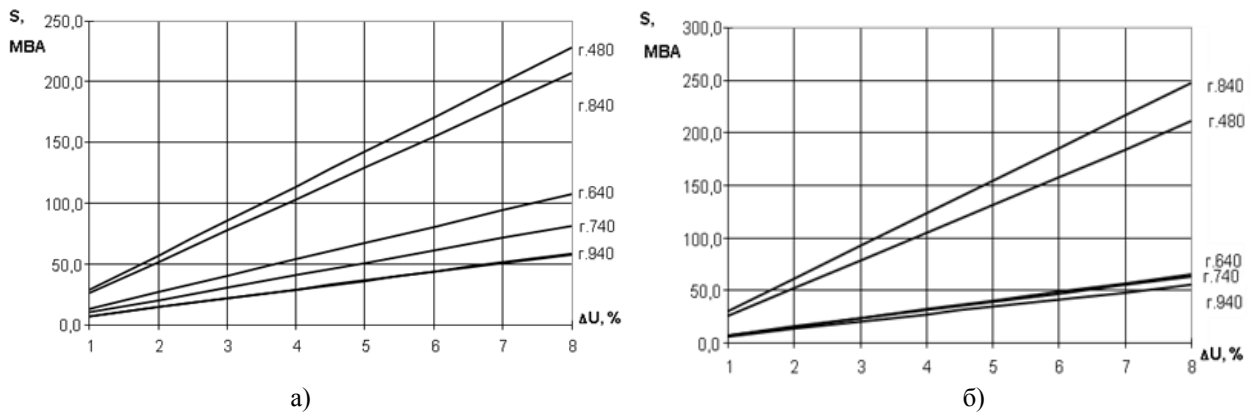


Рисунок 5 – Пропускна здатність кабелів робочих горизонтів Запорізького ЗРК з напругою мережі 10 кВ: а, б – секція 1 та 2 підстанції підземних споживачів

Виконана оцінка пропускнуої здатності кабелів, що забезпечують відповідні значення робочих навантажень з використанням номінальної напруги 35 кВ. На жаль, у даний час, відсутні будь-які вимоги щодо конструкції кабелів в умовах підземної мережі електропостачання, тому була використана найбільш розповсюджена конструкція одножильних кабелів зі зшитого поліетилену (ПвП) з розміщенням струмопровідних жил у площині. Для прокладених кабелів індуктивний опір на одиницю довжини, залежить від відстані між жилами (кабелями). Отже, для відповідного металу жил при промисловій частоті 50 Гц, індуктивний опір такої лінії на одиницю довжини визначається за формулою

$$x_0 = \omega \left(4,61g \frac{2D_{cep}}{d} + 0,5\mu \right) 10^{-4} = 0,1441g \frac{2D_{cep}}{d} + 0,016, \quad (7)$$

де $D_{cep} = \sqrt[3]{D_{1-2}D_{2-3}D_{1-3}}$ – середня геометрична відстань між осями струмопровідних жил однофазних кабелів; $D_{1-2}D_{2-3}D_{1-3}$ – фактичні відстані між кабелями 1, 2, 3; d – фактичний зовнішній діаметр провідника кабелю зі зшитого поліетилену.

Пропускна здатність кабельної лінії напругою 35 кВ, що призначена для живлення робочого горизонту глибиною 1000 м. (рис. 6). З наведених рис. 4-6, можна зробити висновок, що для робочого горизонту, який розташований на глибині понад 1000 метрів, при існуючих рівнях електричних навантажень, використання напруги 6 кВ (і навіть 10 кВ) не є досить ефективним заходом, оскільки більше половини допустимої втрати напруги припадає на ствольні кабелі. Крім того передбачається багатокілометрова передача електроенергії кабелями

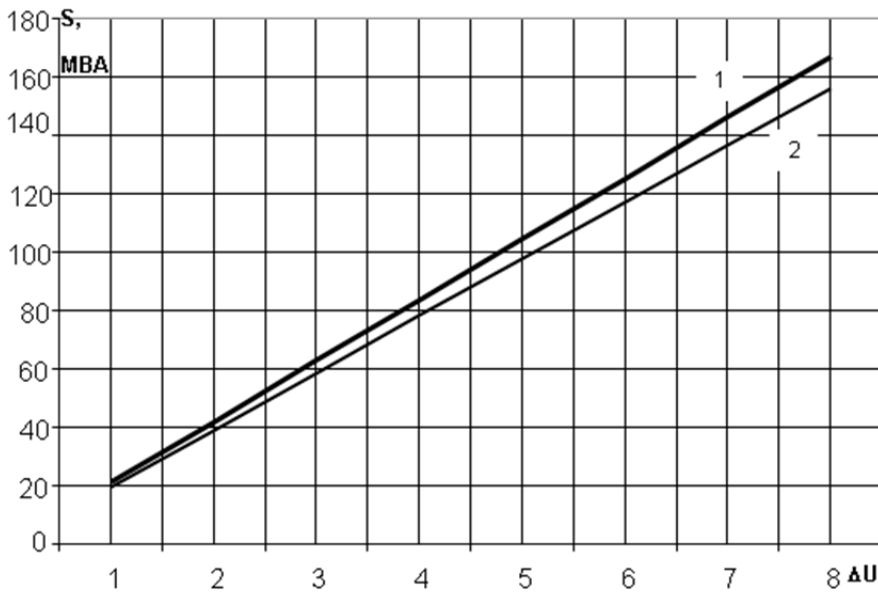


Рисунок 6 – Пропускна здатність кабелів напругою 35 кВ при різних відстанях струмопровідних жил: 1 – відстань між кабелями 1, 2, 3 ($D_{1-2}D_{2-3}D_{1-3}$ - 100, 100, 200 мм); 2 – відстань між кабелями 1, 2, 3 ($D_{1-2}D_{2-3}D_{1-3}$ - 200, 200, 400 мм)

розподільних мереж з жилами обмеженого перерізу (до 240 мм²), при значній кількості паралельних ліній.

Ефективність переведення живильних ліній на підвищену номінальну напругу можна пояснити, тією обставиною, що при однакових навантаженнях, коефіцієнті потужності, матеріалі і площі перетину струмопровідних жил при підвищенні напруги лінії з U_{H1} до U_{H2} відношення втрат напруги

а відношення втрат потужності

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{U_{H1}}{U_{H2}}, \quad (8)$$

а відношення втрат потужності

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{U_{H1}}{U_{H2}} \right)^2, \quad (9)$$

де ΔU_1 , ΔP_1 — втрати напруги і потужності при номінальній напрузі U_{H1} ; ΔU_2 , ΔP_2 — втрати напруги і потужності при номінальній напрузі U_{H2} .

Розрахункові значення співвідношень втрат напруги і потужності в шахтних кабельних мережах при незмінних параметрах системи наведені в таблиці. Таблиця – Розрахункові значення співвідношень втрат напруги і потужності в шахтних кабельних мережах при незмінних параметрах системи

U_{H1} , кВ	U_{H2} , кВ	$\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$, %	$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}$, %
6	10	60	36
	35	17	3

З даних, що наведені в таблиці можна зробити висновок, що при переведенні ліній напругою 6 кВ на більш високий клас напруги, а саме 10 або 35 кВ, її втрати зменшуються відповідно на 40 і 83 %, а втрати потужності — на 64 і 97 %.

З урахуванням встановлених обмежень, доцільне значення напруги в залежності від параметрів мережі та припустимого рівня втрат визначається за формулою

$$U = \sqrt{\frac{100S(R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)}{\Delta u}}, \quad (10)$$

S – розрахункова потужність ліній, МВА; φ – кут зсуву фаз між струмом і напругою; R та X – активний та індуктивний опір жил кабелю, Ом; Δu – заданий рівень відхилення напруги, у.о.

За допомогою отриманого виразу можна проаналізувати припустимий рівень напруги з обмеженням за припустимим відхиленням (до 5 %). Під час розрахунку застосувались параметри реальних глибоких та енергоємних шахт з робочим навантаженням $S=2..10$ МВА та глибині розроблюваного горизонту 1000 м (рис. 7).

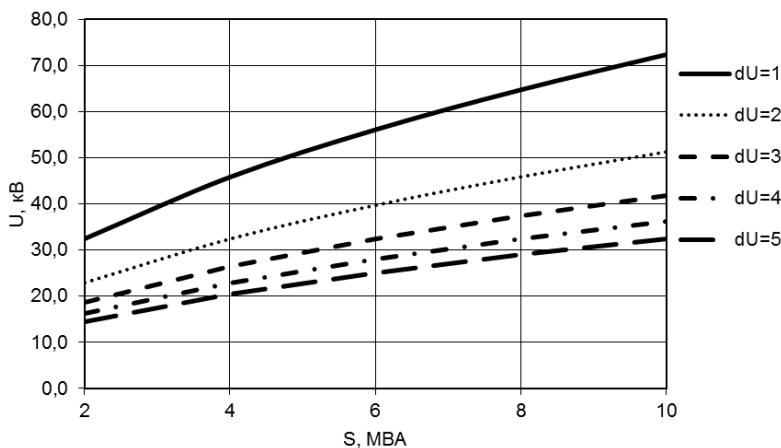


Рисунок 7 – Раціональні класи напруги в умовах глибоких шахт з обмеженням за припустимим відхиленням напруги у споживачів

При виконанні аналізу були використанні найкращі умови експлуатації підземних мереж, а саме: коефіцієнт потужності на рівні 0,95; 4 кабельних лінії з максимальним можливим перерізом жил кабелів – 240 мм². З наведеного графіку можна зробити висновок, що за встановленими критеріями, рівні нормованої напруги

знаходяться далеко від значень напруги для ліній живлення підземної системи електропостачання, а саме 6 та 10 кВ, що використовується сьогодні. Орієнтуючись на значення очікуваних навантажень глибоких шахт, найбільш перспективним є застосування в таких умовах класу напруги 35 кВ.

В третьому розділі обґрунтовані вимоги до системи внутрішнього електропостачання шахт при використанні напруги 35 кВ для підземних високовольт-

тних мереж. Вимогами передбачено пошук оптимального місця розміщення підстанції з урахуванням режимів роботи розміщеного обладнання. Особливістю систем електропостачання підземних споживачів є періодична (постійна) зміна їх параметрів через рухомий характер місця проведення гірничих робіт, пов'язаних з технологією видобутку.

Для визначення мінімальних витрат необхідно розв'язати оптимізаційну задачу з кількома змінними, де критерієм оптимальності буде мінімальна вартість високовольтної розподільної мережі (кабельних ліній напругою 6 та 35 кВ), тис. грн/рік

$$C_0 = C_6 + C_{35} \rightarrow \min, \quad (11)$$

де C_6 та C_{35} – вартість кабельної мережі відповідного класу, тис. грн./рік

В загальному випадку, вартість побудови та експлуатації розподільної мережі складається з наступних показників

$$C_0 = K_{II} + B, \quad (12)$$

де K_{II} – капіталовкладення, тис. грн./рік; B – витрати за період експлуатації, тис. грн./рік.

Перша складова враховує витрати, що спрямованні на закупівлю та розміщення кабельних ліній, друга складова – об'єм та вартість електричних втрат у цих елементах.

Капітальні витрати для спорудження кабельних ліній, тис. грн./рік

$$K_{II} = \left[(E_H + P_a) \sum_1^n K_{0i} L_i \right], \quad (13)$$

де E_H – норма дисконту, що дорівнює базовій процентній ставці НБУ, тис. грн./рік; P_a – відрахування на амортизацію, тис. грн./рік; L – довжина ліній, м; K_{0i} – капітальні витрати на спорудження 1 км кабельної лінії відповідної напруги, тис. грн./рік.

Друга складова виразу 12, а саме вартість втрат електричної енергії в кабельних лініях, грн./рік

$$B = \frac{S^2 L}{U^2 G k F} \tau C \cdot 10^{-3}, \quad (14)$$

де S – розрахункове навантаження, кВА; U – робоча напруга, кВ; L – довжина ліній, м; F – переріз жили кабелю, мм²; G – питома провідність жили кабелю, м/Ом*мм²; k – кількість струмопровідних жил; C – вартість електроенергії за класами напруги, грн./кВт*год.; τ – річний час максимальних втрат, год./рік.

Для типових графіків навантаження час максимальних втрат

$$\tau = \left(0,124 + T^{-4}\right)^2 \cdot 8760, \quad (15)$$

де T – час використання максимального навантаження; 8760 – кількість годин за рік.

Тоді вираз для визначення вартості високовольтної розподільної мережі з урахуванням формул (12-14), матиме вигляд

$$C_0 = (E_H + P_a) \cdot \left(\sum_1^n K_{0i1} k_1 L_i + \sum_1^n K_{0i2} k_2 L_i \right) + \frac{S^2 \tau}{G} \cdot \left(\frac{L_6}{U_6^2 k_1 F_1} C_{K6} + \frac{L_{35}}{U_{35}^2 k_2 F_2} C_{K35} \right) \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

Обмеженнями враховуються вимоги нормативних документів щодо виконання кабельних мереж (тип, переріз кабелю тощо) та забезпечення необхідних показників якості у споживача (відхилення напруги).

Для розв'язання вказаної оптимізаційної задачі автором запропоновано використовувати метод нелінійного програмування, що часто використовується для завдань такого типу, а саме – метод пов'язаних напрямів (градієнтів). Перевагою цього методу є та обставина, що пошук екстремуму припиняється, якщо для всіх компонентів вектору градієнта $grad F(X^k)$ виконується умова

$$\left| \frac{\partial F(X^k)}{\partial x_j} \right| \leq \delta, \quad j = \overline{1, n}, \quad (17)$$

де δ – наперед задане число, що характеризує точність визначення мінімуму.

Після визначення місця розміщення підземної підстанції необхідно розробити ефективну схему розміщення електрообладнання. Основними чинниками, що визначають побудову і характеристики схем підземного електропостачання є:

- глибина шахти, число горизонтів, які розробляються, багатоводність та розміри шахтного поля;
- виробнича потужність підприємства в цілому, а також електрична потужність та розташування встановлених під землею приймачів електричної енергії (стаціонарних і пересувних);
- тип і енергоємність підземного транспорту;
- величина напруги для живлення приймачів електричної енергії на добувних і підготовчих ділянках;
- значення напруги на шинах ГЗП.

Щодо конструктивного рішення, то особливістю розробленої схеми, є виконання підземної мережі напругою 35 кВ, за схемою «блок лінія – трансформатор» (рис. 8), що дозволить виключити необхідність установки на підземній підстанції двох ввідних розподільних комірок напругою 35 кВ в рудниковому

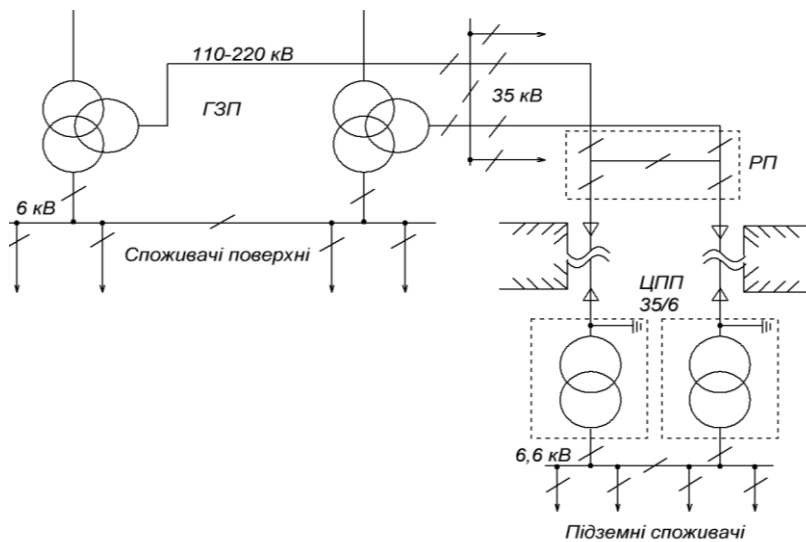


Рисунок 8 – Принципова схема живлення підземних трансформаторів 35/6 кВ за схемою «блок лінія – трансформатор» (вибухозахищеному) виконанні. Остання обставина сприятиме як зниженню капітальних витрат, так і підвищенню надійності системи хоча б за рахунок зменшення елементів системи. Подальше використання класу напруги 6 кВ, буде сприяти забезпеченню (при необхідності) резервування живлення електроприймачів сусідніх горизонтів. При значній відстані додаткового ствола від шин підстанцій можливе використання окремого розподільного пункту (РП), що встановлений безпосередньо біля ствола. Крім того необхідно сформулювати вимоги безпечного використання електрообладнання, до якого відносяться: ствольні кабелі живлення, трансформатори підземної підстанції, розподільні пристрої. З

урахування зазначених обставин автором було розроблено «Тимчасові нормативи з безпеки застосування напруги 35 кВ для систем електропостачання підземних електроприймачів ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»».

У четвертому розділі проаналізовано технічний рівень існуючого захисного обладнання, що використовується для захисту обслуговуючого персоналу в висковольтній мережі напругою 6 кВ. Зазначено, що умови захисту значно погіршаться при збільшенні рівня напруги до 35 кВ, тому запропоновано обмежити впровадження класу напруги 35 кВ на рівні ліній живлення з запровадженням системи моніторингу та захисту від уражень. В наведеній системі виконано синтез способу контролю ізоляції, що використовує накладення на мережу оперативних сигналів непромислової частоти

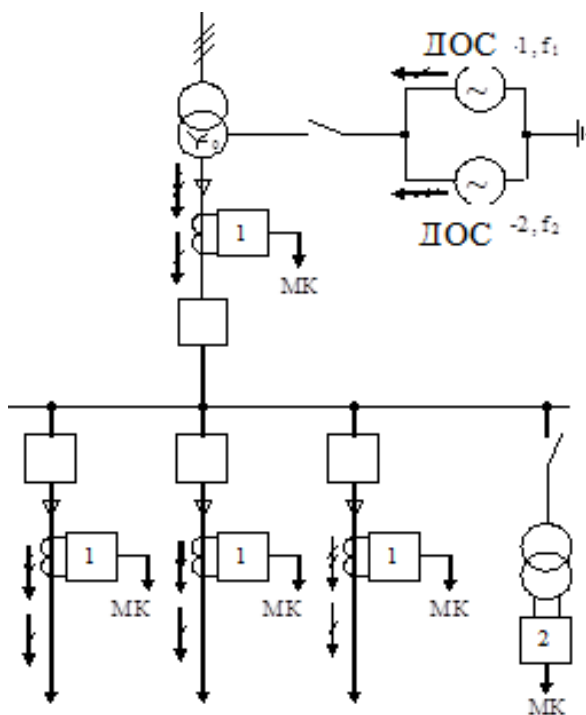


Рисунок 9 – Схемна реалізація методу безперервного контролю параметрів ізоляції розподільної мережі: 1 – пристрій виділення та обробки оперативних струмів; 2 – пристрій виділення та обробки оперативної напруги

зі способом захисного шунтування (рис. 9). Для ефективного функціонування система повинна мати один канал напруги і кілька (за кількістю контролюваних приєднань) каналів струму. На вхід каналу напруги надходять оперативні сигнали U_{f1} і U_{f2} з датчика напруги. На входи струмових каналів надходять сигнали від відповідних датчиків струму, що встановленні на контрольованих приєднаннях.

Значення активного опору ізоляції відносно землі трьох фаз всієї мережі або відповідно контрольованої ділянки (i -го приєднання) з урахуванням коефіцієнтів трансформації вимірювальних трансформаторів струму k_A та трансформатора напруги k_V , в заданих точках мережі, визначаються за виразом

$$R_i = \frac{U_1 U_2}{k_V k_{Ai}} \sqrt{\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{U_2^2 I_{\omega_1}^2 \omega_2^2 - U_1^2 I_{\omega_2}^2 \omega_1^2}}, \quad (18)$$

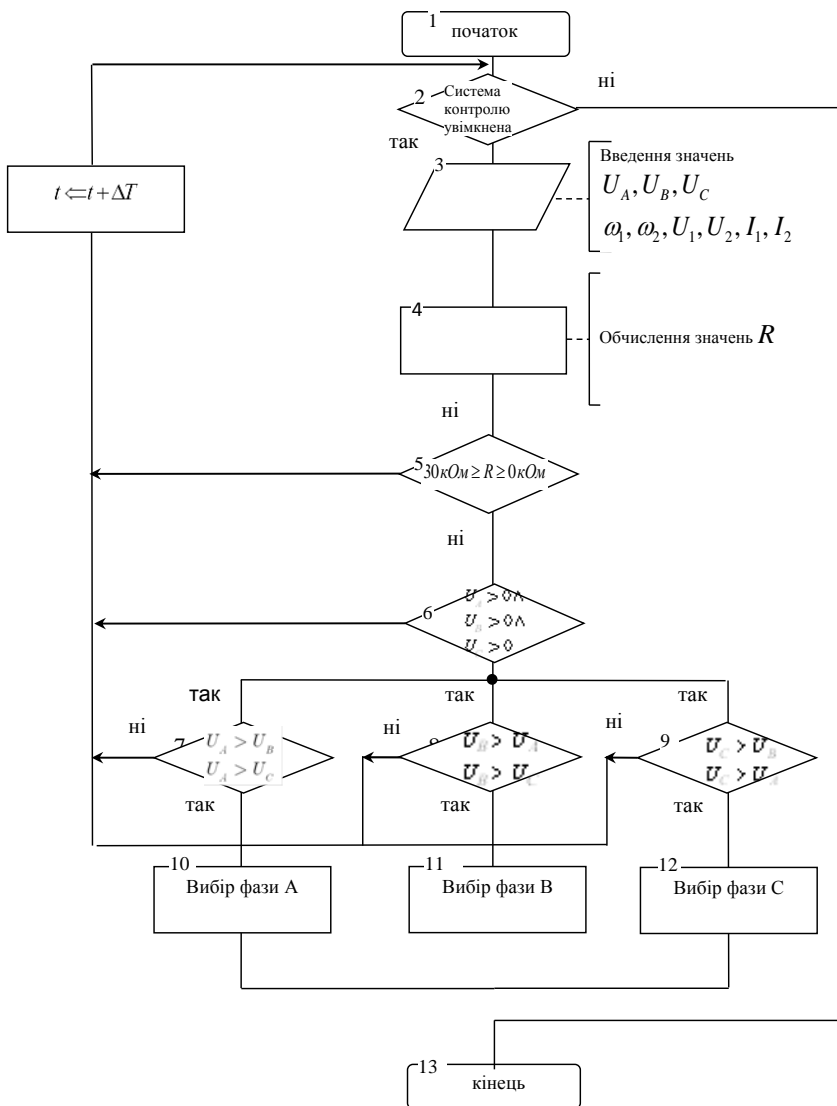


Рисунок 11 – Алгоритм роботи системи моніторингу та захисту від уражень

За рахунок постійного контролю сигналів оперативної напруги, спосіб захисту функціонує в режимі реального часу. В результаті проведеного синтезу способу контролю ізоляції розроблено алгоритм роботи системи моніторингу та захисту від уражень (рис. 10). Під дією накладеного оперативного сигналу, у фазах контрольованої лінії створюються струми, що мають однакову амплітуду та фазу. рівня ізоляції до вказаних значень) у фазі, буде змінено значення струму і подається

керуючий імпульс на відповідний виконавчий орган. Відповідно спочатку система виконує контроль оперативного сигналу за напругою. При позитивному результаті виконується почергове порівняння кожної з фаз з іншими та у випадку перевищення отриманого значення, подача команди на відповідний виконавчий блок. Необхідна швидкодія пристрою забезпечується використанням короткозамикачів (час спрацювання – 0,0015 с проти 0,1 с – у найбільш швидкодіючих вакуумних вимикачів), що дозволяє знизити негативний вплив електричного поля на організм людини.

Необхідна швидкодія пристрою забезпечується використанням короткозамикачів (час спрацювання – 0,0015 с, проти 0,1 с – у найбільш швидкодіючих вакуумних вимикачів), що дозволяє знизити негативний вплив електричного поля на організм людини.

Апаратну частину систему моніторингу та захисту від уражень доцільно проектувати на цифровій елементній базі. У якості первинних датчиків, доцільно використовувати штатні трансформатори струму, які встановлені у високовольтній комірці. Отриманий сигнал виділяється за допомогою фільтра низької частоти (ФНЧ), елемент гальванічної розв'язки (ЕГР), дозволяє підвищити рівень безпеки пристрою та знизити вплив різних завад, наступні операції включають в себе потрапляння сигналів на мультиплексор (МПЛ) та за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) перетворюються в цифрові імпульси, обробку відповідних значень виконує обчислювальний блок (ОБ) де реалізується заданий алгоритм, після виконання обчислювальних операцій, відбувається зворотне перетворення сигналу в аналоговий вигляд за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) та подачу на виконавчий орган (ВО).

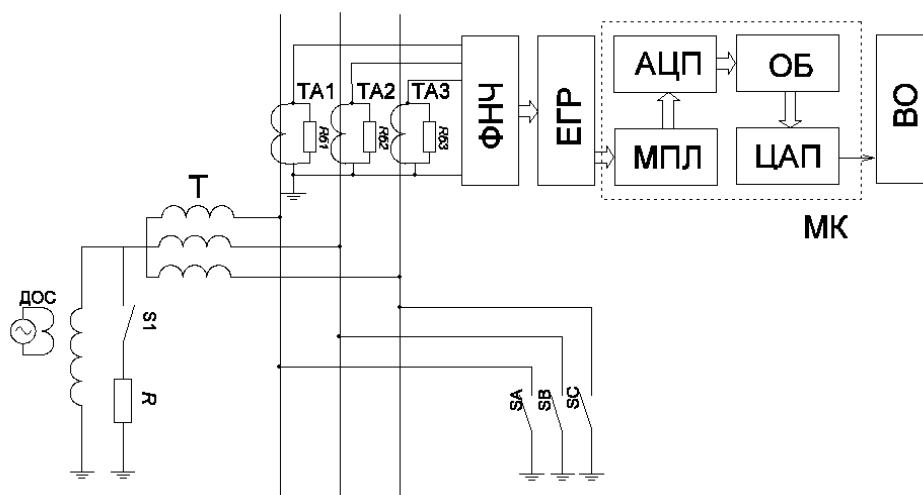


Рисунок 12 – Схема реалізація підключення пристрою визначення пошкодженої фази: ДОС – джерело оперативних сигналів, ТА1..ТА3 – трансформатори струму, SA, SB, SC – полюси короткозамикача у фазах, ФНЧ – фільтр низької частоти, ЕГР – елемент гальванічної розв'язки, МПЛ – мультиплексор, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ОБ – обчислювальний блок, ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач, ВО – виконавчий орган, МК – мікроконтролер.

Як відмічено на рис. 12, блоки МПЛ, АЦП, ОБ та ЦАП можуть бути реалізовані на базі мікроконтролера МК.

У п'ятому розділі визначено чинники, що необхідні для забезпечення відповідного рівня селективності системи захисту в підземній системі електропостачання з частковим застосуванням класу напруги 35 кВ. Виконано обґрунтування необхідності встановлення пристроїв захисту від замикань на землю на лініях, що живлять ЦПП, на відхідних лініях ЦПП і РПП-6. Розроблені розрахункові методики, що дозволяють оцінити перспективність застосування відповідного класу напруги в умовах конкретного підприємства. Для визначення

економічної ефективності застосування певного класу напруги в системі електропостачання (якщо відома загальна потужність споживачів електричної енергії та довжина кабелів), виконується розрахунок вартісних показників елементів системи (кабелів, електродвигунів, трансформаторів тощо) всієї системи в цілому при декількох вибраних рівнях напруги (існуючого і планованого). Отримані результати такої оцінки, наведені на рис. 13.

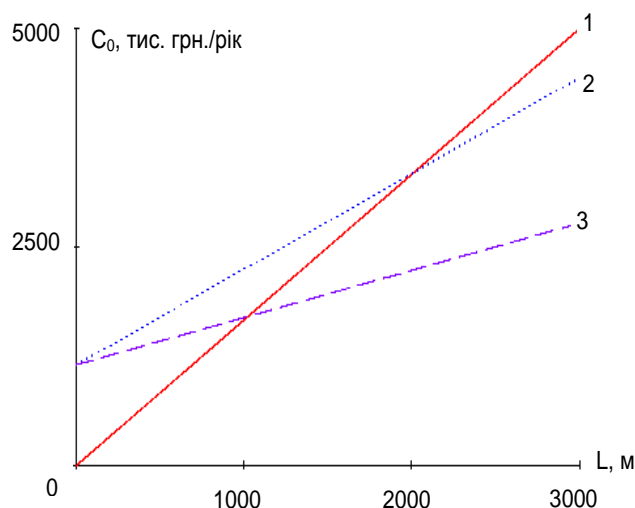


Рисунок 13 – Вартість побудови та експлуатації системи електропостачання при відповідному класі робочої напруги: 1 – клас напруги 6 кВ; 2 – клас напруги 10 кВ; 3 – клас напруги 35 кВ.

Одержані результати вказують на перспективність використання класу напруги 35 кВ в умовах глибоких та енергоємних шахт, що призводить до зниження втрат, зменшення перетину та кількості стовбурних кабелів тощо. Тому варіант з використанням глибокого вводу напруги 35 кВ, для відповідних умов підземного електропостачання, має економічний ефект, а доцільність використання класу напруги 10 кВ зовсім сумнівна. Розроблені рекомендації прийняті до розгляду та використані при проектуванні гірничих підприємств ТОВ «НПЦ ДТЕК».

Розроблені рекомендації прийняті до розгляду та використані при проектуванні гірничих підприємств ТОВ «НПЦ ДТЕК».

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова проблема, що полягає у підвищенні ефективності функціонування систем електропостачання глибоких та енергоємних шахт за рахунок встановлення закономірностей забезпечення нормованого рівня напруги споживачам глибоких горизонтів з визначенням оптимального класу напруги та розробкою методів і засобів з безпеки обслуговування таких систем.

Основні висновки та результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Виконано аналіз існуючого рівня електричного навантаження та глибини виробок низки гірничих підприємств України. Встановлено, що вже зараз потужність підземних споживачів декількох шахт складає 12 МВт, а глибина

залягання пластів, що розробляються, перевищила 1000 метрів. Відповідно до вимог нормативно-правових документів, які регламентують виробництво, передачу, розподіл і споживання електроенергії, а також організацію роботи електроустановок в умовах гірничих підприємств з підземним способом видобутку корисних копалин домінуючим класом напруги для підземних високовольтних мереж є 6 кВ. Зроблено висновок щодо неможливості забезпечення штатними засобами регулювання напруги необхідного рівня якості електричної енергії у підземних споживачів глибоких горизонтів.

2. Визначено та систематизовано заходи, які можна рекомендувати для забезпечення необхідного рівня робочої напруги споживачів електричної енергії глибоких горизонтів. Виходячи з умов функціонування електрообладнання глибоких шахт запропоновано систему поздовжньої компенсації при розробці одного робочого горизонту.

3. Виконано аналіз пропускної здатності існуючих кабельних мереж на прикладі одного з гірничих підприємств, визначено її параметри в залежності класу напруги, виду системи розподілення електричної енергії, розміщення кабельних ліній у стовбурі, поперечним перерізом тощо. Охарактеризовано заходи щодо підвищення пропускної здатності та виконана оцінка їх ефективності, що дозволяє визначити ступінь їх використання. Визначено, що при переведенні ліній напругою 6 кВ на більш високий клас напруги, а саме 10 або 35 кВ, її втрати зменшуються відповідно на 40 і 83 %, а втрати потужності — на 64 і 97 %.

4. На основі встановленої залежності класу робочої напруги ліній живлення від рівня навантажень, параметрів мережі та заданого рівня відхилень напруги, обґрунтована доцільність часткового застосування напруги 35 кВ в системі підземного електропостачання з рахуванням умов експлуатації і технічних можливостей реалізації.

5. Для умов глибоких та енергоємних шахт виконане наукове обґрунтування доцільності перенесення межі розподілу навантажень з поверхні у підземні виробки, за рахунок глибокого вводу напруги 35 кВ в систему підземного електропостачання з розміщенням трансформаторної підстанції 35/6 кВ на одному з робочих горизонтів.

6. Розроблені принципи використання класу напруги 35 кВ для підземних ліній живлення з подальшим розподіленням напругою 6 кВ дозволяють суттєво зменшити струмове навантаження найбільш критичної ланки шахтної мережі, забезпечуючи підвищення надійності через зменшення кількості паралельно підключених стовбурних кабелів, нормований рівень напруги у споживачів та

поліпшення економічних показників при експлуатації системи підземного електропостачання, за рахунок зниження електричних втрат і використання електричної енергії першого класу. Розроблено методику визначення оптимального місця розміщення підземної підстанції з урахуванням просторової координати, нерівномірності завантаження робочих горизонтів, технології видобутку корисних копалин тощо.

7. Враховуючи особливості функціонування підземних систем електропостачання глибоких та енергоємних шахт, розроблені принципи оцінки їх надійності, вимоги до електрообладнання та схемні рішення з конструктивного виконання та розміщення підземної підстанції 35/6 кВ з вимогами до її електрообладнання та відповідними рекомендаціями до виконання захисту від несиметричних ушкоджень.

8. Розроблено вимоги щодо техніки безпеки і безпечної експлуатації мереж та електрообладнання підземних мереж напругою 35 кВ. За участю автора спільно з Державним Макіївським науково-дослідним інститутом з безпеки робіт у гірничій промисловості (МакНДІ), ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат» і Національним гірничим університетом впроваджено «Тимчасові нормативи з безпеки застосування напруги 35 кВ для систем електропостачання підземних електроприймачів ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»».

9. Проаналізовано фактори та пристрої, що впливають на рівень безпеки обслуговування підземних високовольтних мереж. Встановлено, що для безпечного використання напруги 35 кВ в умовах глибоких вугільних та рудних шахт є запровадження системи моніторингу стану ізоляції та захисту від уражень. Для цілей автоматичного і селективного контролю параметрів ізоляції запроваджено метод безперервного вимірювання значень складових опору ізоляції мережі відносно землі під робочою напругою, що ґрунтується на використанні накладених на мережу оперативних струмів високої частоти, що відрізняються від промислової. Для реальних параметрів розподільних і живлять мереж гірничих підприємств дотик людини до однієї з фаз мережі напругою 6-35 кВ, навіть без урахування перехідного процесу, завжди є смертельно небезпечним, тому необхідно з контролем параметрів ізоляції забезпечувати захисне закорочування пошкодженої фази.

10. Ефективність функціонування захисного закорочування, забезпечується правильністю вибору пошкодженої фази та апаратної реалізації пристрою. Основним показником ефективності функціонування пристрою є його надійність та швидкодія (на рівні 0,005 с.), саме від них залежність безпека людини, що потрапила під дію електричного струму. Вибір типу мікроконтролера

та вимоги до його апаратної частини в загальному випадку є наступними: контроль значень параметрів ізоляції, як усієї мережі так і окремих приєднань; контроль ємності усієї гальванічно зв'язаної мережі; контроль індуктивності дугогасного пристрою; вибір пошкодженої фази контрольованого приєднання.

11. Розроблені алгоритми визначення активного опору ізоляції та вибору пошкодженої фази. Реалізація сучасної системи моніторингу та захисту в системі підземного електропостачання забезпечується на сучасній елементній базі з використанням мікроконтролера Tiva™ TM4C123GH6PM та його периферійних пристроїв.

12. Обґрунтовано принципи та структуру системи мінімізації негативних наслідків струму однофазного замикання на землю для шахтних мереж напругою 6 – 35 кВ за рахунок наукового обґрунтування та схемних рішень дії системи релейного захисту і ефективного функціонування режиму заземлення нейтралі. Для забезпечення відповідного рівня селективності системи захисту з частковим застосуванням класу напруги 35 кВ є необхідним встановлення пристроїв захисту від замикань на землю на лініях, що живлять ЦПП, на відхідних лініях ЦПП і РПП-6. Якщо ліній живлення, дві і більше, для забезпечення селективної дії захистів необхідно встановлювати поздовжній диференційний захист, що реагує на струм нульової послідовності.

13. Розроблені розрахункові методики, що дозволяють оцінити перспективність застосування відповідного класу напруги в умовах конкретного підприємства. Одержані результати вказують на перспективність використання класу напруги 35 кВ в умовах глибоких та енергоємних шахт, що призводить до зниження втрат, зменшення перетину та кількості стовбурних кабелів тощо. Відповідно варіант з використанням глибокого вводу напруги 35 кВ, для відповідних умов підземного електропостачання, має економічний ефект, а доцільність використання класу напруги 10 кВ сумнівна.

14. Для застосування класу напруги 35 кВ в умовах підземних мереж виконаний аналіз існуючих промислових зразків основних елементів підземної системи електропостачання, а саме силових кабелів, трансформаторів та розподільних комірок у відповідному виконанні, сформульовано правила використання електрообладнання у відповідних умовах, що дозволяє зробити висновок про можливість застосування розглянутого способу зміни архітектури мережі уже сьогодні. Розроблені рекомендації прийняті до розгляду та використані при проектуванні гірничих підприємств ТОВ «НПЦ ДТЕК».

Наукові положення та результати опубліковано в наступних роботах:

Монографії

1. Екологічна та економічна складові використання геотехнічних систем України: моногр. [Текст] / під заг. ред. Г.Г. Півняка – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011 – 223 с.

2. Шкрабець, Ф.П. Електропостачання глибоких і енергоємних рудних та вугільних шахт: моногр. [Текст]/ Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук – Мін-во освіти та науки України; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2014.-160 с.

Публікації у закордонних виданнях:

3. Shkrabets F. Implementation of the insulation resistance control method for high-voltage grids of coal mines [Текст] /F. Shkrabets, O. Ostapchuk//Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems: Taylor & Francis Group, London, 2015 P. 59-65.

Публікації у фахових виданнях:

4. Остапчук, А.В. Реализация устройства выбора фазы в системе автоматической компенсации тока замыкания на землю [Текст] /А.В. Остапчук //Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. - техн. зб. – 2006.– №76. – С. 37 – 41.

5. Ципленков, Д.В. Вопросы повышения надежности и электробезопасности карьерных сетей [Текст]/ Д.В. Ципленков, О.І. Ковальов, О.В. Остапчук //Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. - техн. зб. – 2007.– №79. – С. 40 – 44.

6. Шкрабець, Ф.П. Метод настройки дугогасящего реактора для компенсации емкостной составляющей тока однофазного замыкания на землю [Текст]/Ф.П. Шкрабець, А.В. Остапчук //Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 14 (127), 2007. – С. 297-302.

7. Остапчук, О.В. Вплив активної складової при компенсації струму замикання на землю [Текст]/О.В.Остапчук//Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. - техн. зб. – 2008.– №81. – С. 16 – 19.

8. Остапчук, О.В. Метод визначення параметрів ізоляції для системи автоматичної компенсації в умовах розподільних мереж кар'єрів [Текст]/О.В. Остапчук //Збірник наукових праць НГУ №31, 2008. – С. 75 – 81.

9. Шкрабець, Ф.П. Глибокий ввод напруги 35 кВ для живлення потребителів глибоких горизонтів шахти ЗАО «Запорожский ЖРК» [Текст]/ Ф.П. Шкрабець, Ю.Н. Безручко, А.В. Остапчук//Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. - техн. зб. – 2010.– №84. – С. 69 – 76.

10. Шкрабец, Ф.П. Автоматическая компенсация составляющих тока однофазного замыкания в карьерных сетях напряжением 6 кВ [Текст] /Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук, А.В.Акулов// Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. Тр. УкрНИИВЭ – Донецк : ООО «АИР», 2011. – С. 193-201.

11. Шкрабец, Ф.П. Автоматичне захисне заземлення пошкодженої фази в розподільних мережах напругою 6-35 кВ гірничих підприємств [Текст] /Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук, Є.П. Місяць //Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. Зб. -2012. –Вип.88. –С.38-41.

12. Шкрабец, Ф.П. Обеспечение перевода подземного электроснабжения энергоемких шахт на напряжение 35 кВ [Текст] /Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук, Є.П. Місяць, А.В. Акулов //Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація» – Вип. 25, ч.ІІ. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С.58-64.

13. Шкрабець, Ф.П. Основні проблеми розвитку систем електропостачання глибоких рудних і вугільних шахт [Текст]/Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук// Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. Зб. -2013. –Вип.90. –С.130-137.

14. Шкрабець, Ф.П. Застосування напруги 35 кВ для систем електропостачання підземних електроприймачів глибоких енергоємних шахт [Текст] /Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук// Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 1. – С. 83-90 (**Наукометрична база Scopus**).

15. Остапчук А.В. Оценка показателей устойчивости подземной системы электроснабжения глубоких шахт [Текст] /А.В.Остапчук// Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. Тр. УкрНИИВЭ – Донецк: ООО «АИР», 2013. – С. 203-212.

16. Остапчук, О.В. Технічні вимоги до системи електропостачання підземних споживачів напругою 35 кВ [Текст] /О.В. Остапчук// Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. Зб. -2013. –Вип.91. –С.9-12.

17. Остапчук, О.В. Технічні аспекти виконання систем електропостачання глибоких енергоємних шахт [Текст] /О.В. Остапчук//Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-електромеханічна». Випуск 1 (27), 2014. – С. 162-176. (**Наукометрична база РИНЦ**).

18. Шкрабець, Ф.П. Підтримка рівня робочої напруги за рахунок системи поздовжньої компенсації [Текст]/Ф.П. Шкрабець, Ю.В. Куваєв, О.В. Остапчук

//Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. -2014. –Вип.93. –С.25-32.

19. Шкрабец Ф.П. Оценка состояния повреждаемости в электроустановках напряжением выше 1000 В горных предприятий [Текст] /Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук, М.С. Кириченко //Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 92. – С.25-31.

20. Shcrabets F. Modern development principles of protection and diagnostics in mining facilities mains and distribution grids [Текст]/ F. Shcrabets, O. Ostaruchuk // Гірнича електромеханіка та автоматика: наук. - техн. зб. – 2014. – Вип.92. – С.40-48.

21. Шкрабець, Ф.П. Техніко-економічна оцінка оптимального рівня напруги для електроживлення робочих горизонтів глибоких шахт [Текст]/, А.В. Кожевников, А.В. Акулов, О.В. Остапчук //Електротехніка та електроенергетика: науковий журнал – 2015. – №1. – С.50-54 (**Наукометрична база Index Copernicus**).

22. Шкрабець Ф.П. Підвищення використання електричної енергії при видобутку корисних копалин на глибоких горизонтах [Текст]/ Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук //Металлургическая и горнорудная промышленность: наук.-техн. і вироб. журнал - 2015. –№4(295). –С.110-115 (**Наукометрична база Scopus**).

23. Остапчук, О.В. Технічна реалізація методу захисного шунтування в системі електропостачання глибоких шахт [Текст] /О.В. Остапчук//Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. -2016. –Вип.93. –С.25-32.

24. Бондаренко, Є.А. Модель дослідження станів системи електробезпеки від дії електромагнітного поля ліній електропередачі 330-750 кВ [Текст]/ Є.А. Бондаренко, В.М. Кутін, О.В. Остапчук//Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка. Технічні науки. Випуск 175 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНУТС 2016. – С.40-43.

25. Остапчук О.В. Вдосконалення схемних рішень систем електропостачання глибоких шахт [Текст] /О.В. Остапчук//Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. -2017. –Вип.97. –С.20-27.

Матеріали конференцій:

26. Метод избирательной защиты от утечек и непрерывного контроля параметров изоляции шахтных распределительных сетей напряжением 6 кВ [Текст] /Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук //Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях (п. Славское, 11-15 февра-

ля 2008 г.): Матеріали восьмої щорічної міжнародної промислової конференції. К., 2008. – С. 76-77.

27. Проблеми реалізації заходів енергозбереження у гірничодобувній галузі [Текст] /Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук// Материалы III Международной научно-практической конференции "Энергосбережение на железнодорожном транспорте" (г. Воловец, 30 мая-02 июня 2012 г.) – Д.: ДНУЖТ. – 2012. - С.76-77

28. Способ автоматического контроля изоляции в сетях напряжением 35 кВ тяговых подстанций железнодорожного транспорта [Текст] /Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук//Материалы VI Международной научно-практической конференции «Электрификация железнодорожного транспорта» (г. Мисхор, 25-28 сентября 2012 г.) – Д.: ДНУЖТ. – 2012. – С.50-51.

29. Особливості функціонування пристроїв релейного захисту на підстанціях в системах з розподіленою генерацією [Текст]/ Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук //Матеріали XV ювілейної міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття» (м. Київ, 16-17 вересня, 2014 р.) – С. 104-106.

30. Удосконалення роботи релейного захисту при приєднанні відновлювальних джерел енергії до тягових підстанцій генерацією [Текст]/Ф.П. Шкрабець, О.В.Остапчук, В.Г. Сиченко, Ю.М. Полянська //Материалы V Международной научно-практической конференции "Энергосбережение на железнодорожном транспорте" (г. Воловец, 11-13 июня 2014 г.) – Д.: ДНУЖТ. – 2014. – С.162-163.

31. Особливості застосування «Smart Grid» в системах з розподільною генерацією [Електронний ресурс] /О.В. Остапчук, К.В. Харсун //Матеріали першої всеукраїнської конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь: наука та інновації» – 3-4 грудня 2013 р., Дніпропетровськ – Д.: НГУ. – 2015. – С. 137-138.

32. Підвищення енергоефективності мереж живлення глибоких та енергоємних шахт [Текст] /Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук//Материалы VI Международной научно-практической конференции "Энергосбережение на железнодорожном транспорте" (г. Воловец, 10-13 июня 2015 г.) – Д.: ДНУЖТ. – 2015. - С.123-124.

33. Обґрунтування умов безпеки експлуатації ліній живлення напругою 35 кВ глибоких шахт [Текст]/Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук, А.В. Акулов //Форум гірників – 2016: Матеріали міжнародної конференції, (м. Дніпро, 5-8 жовтня 2016 р.) – Д.: Національний гірничий університет, 2016. – Т.2. – С.255-260.

Інші праці

34. Временные нормативы по безопасности применения напряжения 35 кВ для систем электроснабжения подземных электроприемников ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» [Текст] / МакНИИ, Запорожский ЖРК, НГУ. – 2012. 55 с.

Основні положення й результати дисертаційної роботи автором отримані самостійно. Особистий внесок дисертанта в роботах, опублікованих в співавторстві полягає: [1, 2, 9, 12-14] – запровадженні наукових основ щодо організації систем електропостачання глибоких та енергоємних шахт; [3, 20, 26] – обґрунтуванні параметрів методу контролю ізоляції високовольтних мереж глибоких та енергоємних шахт; [5] – аналізі показників надійності кар'єрних мереж; [6] – обґрунтуванні способу налаштування пристрою компенсації ємнісної складової струму при замиканні на землю; [10] – розробці системи автоматичної компенсації ємнісної складової струму при замиканні на землю; [11] – обґрунтуванні роботи пристрою вибору фази при замиканні на землю; [18] – розрахунку параметрів системи повздовжньої компенсації в умовах глибоких шахт; [19] – визначення рівня пошкоджуваності електрообладнання в мережах напругою вище 1000 В гірничих підприємств; [21] – визначенні складових, що впливають на значення капітальних та експлуатаційних втрат в системах підземного електропостачання; [22] – визначенні параметрів, які чинять вплив на ефективність роботи системи підземного електропостачання; [24] – визначенні факторів безпеки електромагнітного поля високовольтних ЛЕП; [27] – визначенні факторів, що чинять вплив на рівень втрат електричної енергії в умовах глибоких і енергоємних шахт; [28-31] – запровадженні схемних рішень щодо функціонування пристроїв контролю ізоляції та захисту; [32-34] – обґрунтуванні вимог безпеки при обслуговуванні мереж 35 кВ в системі підземного електропостачання.

АНОТАЦІЯ

Остапчук О.В. Системи живлення підземних споживачів глибоких і енергоємних рудних та вугільних шахт. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», МОН України, Дніпро, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми, що полягає у підвищенні ефективності функціонування систем електропостачання

глибоких та енергоємних шахт за рахунок встановлення закономірностей забезпечення нормованого рівня напруги споживачам глибоких горизонтів з визначенням оптимального класу напруги і розробкою методів та засобів з безпеки обслуговування таких систем.

В результаті проведених досліджень встановлено залежність використання класу робочої напруги високовольтних живильних кабелів від споживаної потужності, параметрів кабельної мережі та заданого рівня втрат напруги. Теоретично обґрунтовано рівень застосування класу напруги 35 кВ для живлення споживачів глибоких горизонтів, розроблено методи і заходи, які направлені на забезпечення відповідного рівня безпеки обслуговування. Наукові положення, висновки і результати роботи використані при розробці «Тимчасових нормативів безпеки застосування напруги 35 кВ для систем електропостачання підземних електроприймачів ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»», а також в проектній документації «Науково-проектний центр (НПЦ) ДТЕК» (м. Дніпро).

Ключові слова: підземна система електропостачання, центр електричних навантажень, клас напруги, контроль ізоляції, системи захисту.

АННОТАЦІЯ

Остапчук А.В. Системы питания подземных потребителей глубоких и энергоёмких рудных и угольных шахт. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы. - Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», МОН Украины, Днепро, 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной научной проблемы, которая заключается в повышении эффективности функционирования систем электропитания глубоких и энергоёмких шахт за счет установления зависимости относительно обеспечения нормированного уровня напряжения потребителям глубоких горизонтов, с определением оптимального класса напряжения, а также разработкой методов и средств безопасного обслуживания таких систем.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Определены предельные значения пропускной способности высоковольтных кабельных сетей различных классов напряжения подземной системы электропитания в зависимости от нормированного уровня потерь, параметров кабельной сети и коэффициента мощности потребителей.

2. Установлена зависимость использования класса рабочего напряжения высоковольтных питающих кабелей от потребляемой мощности, параметров кабельной сети и заданного уровня потерь напряжения, которая позволяет улучшить показатели качества напряжения, надежности и экономичности системы электроснабжения наиболее критического звена шахтной сети, каким являются ствольные кабели.

3. Разработана математическая модель определения границы применения класса напряжения 35 кВ для питания потребителей глубоких горизонтов, с определением оптимального места расположения трансформаторной подстанции и дальнейшим распределением электроэнергии по классическим схемам.

4. Предложен новый способ минимизации негативных последствий повреждений изоляции высоковольтной части электрической сети, отличительной особенностью которого является поиск в автоматическом режиме поврежденной фазы с помощью контрольных сигналов повышенной частоты и ее шунтировании.

5. Для условий подземной сети напряжением 35 кВ разработана математическая модель определения зависимости напряжения прикосновения человека при изменении параметров линий питания и обоснованно соответствующую степень быстродействия устройств защиты от поражения.

6. Разработан алгоритм и функциональная схема функционирования системы мониторинга и защит от поражений токами утечки на землю для минимизации негативных последствий аварийных однофазных повреждений в сетях подземного высоковольтного электроснабжения.

7. Выполнено техническое обоснование требований по конструктивному выполнению системы шунтирования поврежденной фазы в условиях использования напряжения 35 кВ, предложены технические решения по конструктивному исполнению шахтной сети с подземной подстанцией 35/6 кВ и разработаны рекомендации по работе защиты от несимметричных повреждений.

8. Обосновано структуру и разработаны нормативные документы по уровню безопасного применения напряжения 35 кВ для систем электроснабжения подземных электроприемников, которые включают нормативы и требования безопасности при проектировании, монтаже, эксплуатации и обслуживании таких систем.

Научные положения, выводы и результаты работы в виде технических рекомендаций и схемных решений использованы при разработке «Временных нормативов безопасности применения напряжения 35 кВ для систем электроснабжения подземных электроприемников ЗАО «Запорожский железорудный

комбинат»»), а также в проектной документации «Научно-проектный центр (НПЦ) ДТЭК» (г. Днепро).

Ключевые слова: подземная система электроснабжения, центр электрических нагрузок, класс напряжения, контроль изоляции, систем защиты.

ABSTRACT

Ostapchuk O. Power Supply Systems for Underground Consumers of Deep-level and Power-intensive Ore and Coal Mines. - On the rights for a manuscript.

Thesis for a doctor degree in Technical Science, speciality 05.09.03 - Electrotechnical complexes and systems. - State higher educational institution "National mining university ", Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2017.

The thesis is devoted to solving of an urgent scientific problem, which is concerned with efficiency improvement of power supply systems for deep-level and energy-intensive mines as based on specification of regularities for maintaining of the standard level for consumers of deep horizons involving optimum voltage determining and development of new methods and means of safety of such means maintenance.

As a result of the studies carried out the dependence of use of service voltage rating of high-voltage power control cables from import power, cabling parameters and set level of voltage losses was shown. The level of 35 kV voltage rate use is theoretically substantiated for power supply of deep horizons consumers, the methods and measures for ensuring the proper level of maintenance safety were developed. Scientific concepts, conclusions, and results are used for the development of *Tentative Safety Standards for Use 35 kV Voltage in Power Supply Systems of Underground Current-using Equipment in Zaporizkyi Iron-ore Plant PJSC* and in design documents *DTEK Scientific and Project Centre LLC*.

Keywords: underground power supply system, electrical cell, voltage rating, insulation testing, safety systems.

ОСТАПЧУК Олександр Володимирович

СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ПІДЗЕМНИХ СПОЖИВАЧІВ ГЛИБОКИХ
І ЕНЕРГОЄМНИХ РУДНИХ ТА ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

(Автореферат)

Підписано до друку 1.11.2017. Формат 60x90/16. Папір офсет.
Друк плоский. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,9
Обл. –вид. арк. 1,9, Тираж 100 пр. Зам. №547

Віддруковано в «Поліграфцентрі» ФОП Кучугурний Ю.М.
свідоцтво про державну реєстрацію №2 224 000 0000 073863
м. Дніпро, вул. Воскресенська, 11, 49000
тел. (056) 735-50-08