

тивности применения конвейерных поездов в конкретных условиях карьеров и рудников.

Библиографический список

1. Украинский горно-металлургический комплекс // Фінансово-економічний тижневик «Україна Бізнес Ревю». – 2012. – № 31. – С. 4-5.
2. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И. Разработка руд на больших глубинах. – М.: Недра, 1982. – 325 с.
3. Уткина С. И. Экономика горного предприятия. – М.: Издательство МГУ, 2009. – 262 с.
4. Тартаковский Б. Н. и др. Конвейерные поезда в горной промышленности. – К.: Наукова думка, 1974. – 200 с.
5. Конвейерные поезда конструкции ИГТМ АН УССР. Обзор ЦНИЭИуголь / Б. Н. Тартаковский и др. – М.: ЦНИЭИуголь, 1980. – 49 с.

6. Конвейерный поезд. http://eslovar.com.ua/geologicheskaya_entsiklopediya/page/konveyerniy_poezd.8308/.

7. Коновалов В. С. Организация, механизация и экономика заводского транспорта. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

8. Михайлов В. А. Малиновский Ю. А., Трусий В. Т., Ронжес Ю. Н., Методика расчета ходовых сопротивлений конвейерных поездов для различных режимов работы. Деп. УкрНИИНТИ, № 346, Ук-85, Киев, 1985.

9. Малиновский Ю. А., Ронжес Ю. Н., Трусий В. Т. Обоснование и выбор параметров ходовой части конвейерного поезда. V Всесоюзная научно-техническая конференция по карьерному транспорту, Свердловский политехнический институт, Свердловск, 1984. – С. 15.

Поступила 23.06.2015



УДК 621.316.1

Виробництво

Шкрабець Ф. П. /д. т. н./, Остапчук О. В. /к. т. н./
ДВНЗ «Національний гірничий університет»

Підвищення використання електричної енергії при видобутку корисних копалин на глибоких горизонтах

Виконано оцінку технічної можливості застосування класу напруги 35 кВ в умовах глибоких енергоємних шахт. Проведено аналіз можливого до застосування електрообладнання, яке може використовуватись для зазначених умов. Іл. 5. Бібліогр.: 6 найм.

Ключові слова: система електропостачання, якість електричної енергії, напруга, кабелі зі зшитого поліетилену, сухі трансформатори, розподільча установка

The evaluation of the technical possibility of applying 35 kV voltage class in energy-intensive deep mines is made. The analysis of electrical equipment potential use is shown, which can be used for these conditions.

Keywords: electrical power system, quality of electrical energy, voltage, cross-linked polyethylene (XLPE) cables, dry transformers, distribution facility

Постановка проблеми

Розвиток видобутку корисних копалин на вітчизняних гірничих підприємствах супроводжується значним поглибленням шахт, що призводить до суттєвого зростання електричних навантажень підземних споживачів. Так, потужність підземних споживачів на ряді шахт перевищує 10 МВт, а глибина залягання пластів, що розробляються, перевищила 1000 метрів. Якщо врахувати і розподіл електроенергії в підземних

виробках, то стають очевидними наростаючі проблеми забезпечення якості електроенергії та зростання втрат електроенергії в системах електропостачання глибоких шахт напругою 6 кВ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питання щодо зміни підходів при проектуванні систем електропостачання глибоких енергоємних шахт, неодноразово підкреслювалося у роботах [1, 2]. Зокрема в роботі [2] зазначається, що вибір рівня напруги живлення необхідно

обирати з урахуванням технологічного процесу на гірничому підприємстві, умов видобутку корисних копалин, технічного оснащення тощо. Крім того, необхідно розробити технічні заходи щодо переведення високовольтних мереж з 6 на 10 кВ. У ряді наукових праць [3, 4], пропонується проблему підтримки якості електричної енергії вирішити за рахунок підвищення напруги на дільничних підстанціях. Вказані шляхи для вирішення поставленої проблеми ефективні при комплексному підході до проектування та розробки систем електропостачання шахт, але сьогодні кожне підприємство повинно вирішувати свої проблеми наодинці. Тому досить складно виконати перехід на більш високий клас напруги без значних матеріальних можливостей. Одним з альтернативних варіантів є використання напруги 35 кВ в підземній системі електропостачання, при такому підході існуюча система залишається без змін, а для потреб споживачів електричної енергії глибоких горизонтів будується окрема підстанція 35/6 кВ в підземній виробці.

Мета роботи

Оцінка технічної можливості реалізації в умовах рудних і вугільних шахт варіанта вводу напруги 35 кВ на глибокі горизонти.

Результати досліджень

З урахуванням перспектив розвитку галузі, підвищення ефективності електропостачання глибоких шахт може бути досягнуто за рахунок переведення на більш високий клас напруги як

мінімум живлячих (стовбурних) шахтних мереж. Зазначений захід передбачає встановлення безпосередньо в шахті підстанції з первинною напругою 35 кВ, що в свою чергу вимагає вирішення комплексу питань пов'язаних з технічною реалізацією та забезпеченням безпеки експлуатації високовольтних електроустановок в умовах шахт. Цей варіант обумовлений рівнем очікуваних, за рахунок розвитку шахти, електричних навантажень, глибиною розташування електроприймачів (з урахуванням відстані від джерела до стовбура на поверхні і від стовбура до камери підстанції під землею) і зосередженням основних за потужністю і відповідальністю електроприймачів (підйомні машини сліпого стовбура, приводу водовідливних установок) в районі стовбура. Крім того, такий варіант передбачає подальшу перспективу розвитку шахти і виключає вплив (і зв'язок в нормальному режимі експлуатації) існуючої системи підземного електропостачання шахти. Розподіл електроенергії по горизонтах 1000 м і далі передбачається здійснювати з використанням напруги 6 кВ, що є доцільним з погляду забезпечення (при необхідності) резервування живлення електроприймачів сусідніх горизонтів.

Принципову схему живлення підземних трансформаторів 35/6 кВ пропонується реалізувати за схемою блоку лінія-трансформатор (рис. 1), що дозволить виключити необхідність встановлення на підземній підстанції як мінімум трьох (ввідних і секційних) розподільних

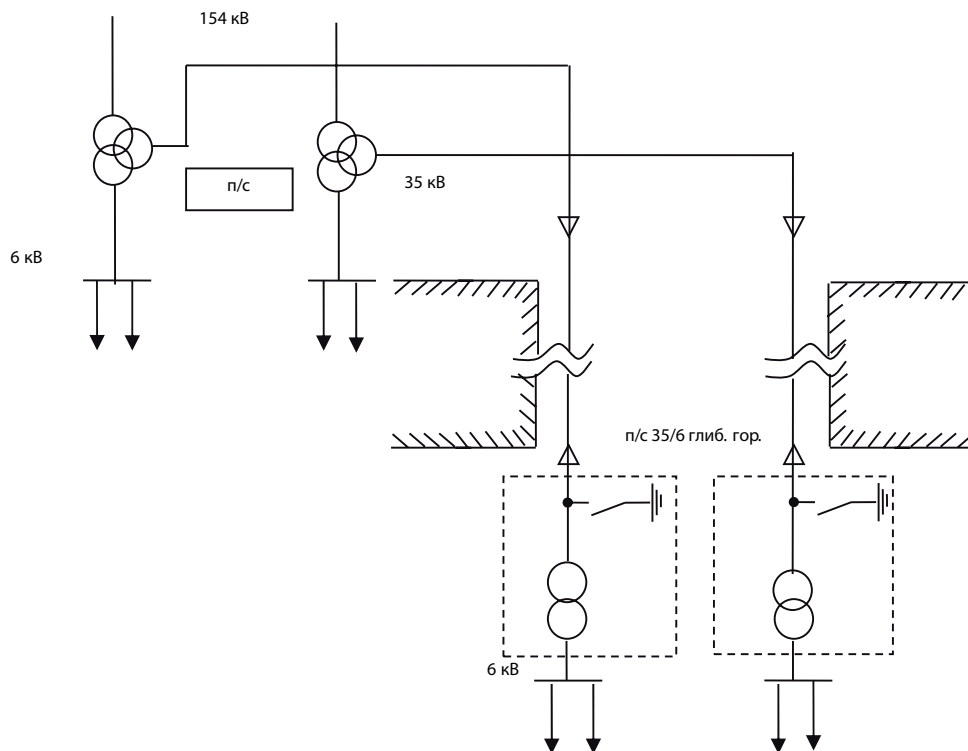


Рис. 1. Принципова схема живлення підземних трансформаторів 35/6 кВ за схемою блок лінія-трансформатор

установок напругою 35 кВ у рудничному виконанні. Останнє буде сприяти як зниженню капітальних витрат, так і підвищенню надійності системи хоча б за рахунок зменшення елементів системи. Застосування сухих трансформаторів у виконанні IP54, що мають в комплекті заземлюючі ножі, дозволяє виконати одну з основних вимог галузевих Правил безпеки також без встановлення розподільної комірки.

Одним з важливих питань забезпечення безпеки та експлуатаційної надійності системи електропостачання є обмеження внутрішніх перенапруг. Проблема ускладнюється тим, що шахтна мережа напругою 35 кВ гальванічно пов'язана з розгалуженою мережею 35 кВ поверхні, виконаної, в основному, у вигляді повітряних ЛЕП і працює з повністю ізольованим від землі режимом нейтралі. До недоліків мереж з ізолюваною нейтраллю можна віднести нестабільність напруги нейтралі, сприятливі умови для виникнення дугових замикань, ферорезонансні явища, підвищені напруги дотику і кроку при дугових замиканнях на землю, підвищені кратності внутрішніх перенапруг тощо. Зазначені явища призводять до появи багатомісних замикань на землю і до зниження рівня надійності та електробезпеки.

Природно, що для усунення помилкових спрацьовувань пристроїв захисту від замикань на землю, викликаних вказаними коливаннями, необхідно виключити або різко скоротити тривалість перехідних процесів. Одним з ефективних методів усунення коливання є зменшення добротності коливального контуру, що досягається зменшенням значення активного опору ізоляції мережі щодо землі, який ввімкнений паралельно реактивним опором ізоляції.

Для технічної реалізації схеми електропостачання зображеної на рис. 1 потрібно виконати аналіз наступного обладнання: силові високоевольтні кабелі які не підтримують горіння,

пожегобезпечні трансформатори, розподільні пристрої з ступенем захисту не нижче IP 54 номінальною напругою 35 кВ.

Силові високоевольтні кабелі. В даний час при розвитку електричних мереж рівень споживання електроенергії і щільність навантаження постійно підвищується, все більш широко використовуються силові кабелі високої напруги 6-500 кВ. Серед виконань кабельних ліній високої напруги 6-500 кВ все більшу поширеність набувають ЛЕП, виконані кабелями з ізоляцією із зшитого поліетилену.

До основних переваг кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену відносяться:

- підвищена навантажувальна здатність, обумовлена більш високою припустимою температурою ізоляції в робочому режимі;
- висока термічна стабільність при протіканні струмів короткого замикання;
- мала вага і менший зовнішній діаметр, що полегшує прокладку кабелів, особливо на складних ділянках кабельних трас;
- менший допустимий радіус вигину кабелів;
- можливість прокладки на трасах з необмеженою різницею рівнів;
- проста технологія монтажу муфт та ремонту кабелю.

Конструкція одножильного кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену марки ПвЕгаП наведено на рис. 2.

Висока робоча напруга жили кабелю призводить до необхідності використання металевого екрана. Його основним призначенням є забезпечення рівномірності електричного поля, що впливає на головну ізоляцію кабелю (ізоляцію «жила-екран»), що досягається тільки у разі заземлення екрана. Екрани кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену виконані з добре провідного матеріалу (з міді); їх заземлення більш ніж в одній точці веде, якщо не прийняті спеціальні заходи, до появи в екранах, як у нормально-



Рис. 2. Конструкція одножильного кабелю марки ПвЕгаП:

1 - струмопровідна жила; 2 - внутрішній екструдований напівпровідний шар; 3 - екструдована ізоляція із зшитого поліетилену; 4 - зовнішній екструдований напівпровідний шар; 5 - шар з напівпровідного полотна або водонабухаючої стрічки; 6 - мідний екран; 7 - пластикова стрічка; 8 - алюмополімерна стрічка; 9 - зовнішня оболонка екструдована з поліетилену високої щільності

му симетричному режимі, так і при коротких замиканнях, значних струмів, порівнянних зі струмом жили кабелю. Використання однофазних кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену в електричних мережах згідно [5] вимагає заземлення їх екранів з двох сторін. Однак це призводить до появи великих струмів в екранах кабелю, порівнянних зі струмом жили. Останнє зумовлює погіршення теплового режиму та зменшення пропускної здатності лінії.

Струморозподіл у кабельній лінії з ізоляцією із зшитого поліетилену. Розглянемо нормальний режим роботи трифазної групи кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену при заземленні екранів на початку і в кінці ділянки ЛЕП (рис. 3).

У нормальному режимі струм, що проходить у лінії - $I_{ж}$, буде повертатися назад у джерело двома способами:

- по землі - струм I_3 ;
- по екрану - струм I_e .

Перший закон Кірхгофа для даного випадку записується у вигляді

$$I_e + I_3 = I_{ж} \quad (1)$$

У зв'язку з тим, що опір екранів однофазних кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену на порядок менше опору заземлення, струм, що проходить по землі, буде незначним, тобто буде виконуватися умова

$$I_e \approx -I_{ж} \quad (2)$$

Але разом з цим на струм і напругу в екрані кожної фази буде впливати не тільки струм жили цієї фази, але і струми жил і екранів сусідніх фаз. Падіння напруги на екрані набуде вигляду

$$\Delta U_{EA} = I_{EA} \cdot Z_E + I_{JA} \cdot Z_{Ж-E} + I_{JB} \cdot Z_K + I_{JC} \cdot Z_K \quad (3)$$

де ΔU_{EA} - падіння напруги на екрані кабелю фази «А», В; I_{EA} - струм, що протікає у екрані кабелю фази «А», А; Z_E - повний опір екрану кабелю, Ом; I_{JA}, I_{JB}, I_{JC} - струми, що протікають у фазах трифазної кабельної групи, А; $Z_{Ж-E}$ - повний взаємний опір «жила-екран» ка-

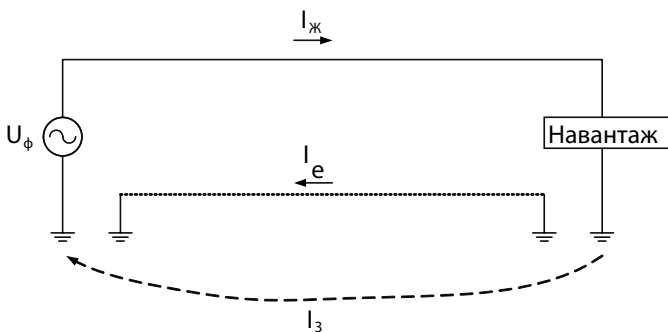


Рис. 3. Розподіл струмів в одному із кабелів трифазної групи

белю, Ом; Z_K - повний опір, що наводиться на екран сусідніми кабелями, Ом.

З рівняння (3) слідує, що $\Delta U_{EA} = 0$ за умов

$$Z_{Ж-E} = Z_K \quad (4)$$

Це можливо лише при однаковій відстані між жилами і екраном, що виключено з-за наявності зовнішньої ізоляції кабелю. Іншими словами, дії струмів фаз не можуть повністю бути скомпенсовані в екрані через різну відстань до нього. Тому істотні струми і напруги в екранах притаманні всім типовим трифазним групам однофазних кабелів напругою 35 кВ. Небезпечних струмів і напруг в екранах не було б у тому випадку, якщо замість трифазної групи однофазних кабелів застосовувався б трифазний кабель, що має три жили в одній загальній оболонці. На території України та закордоном налагоджено виробництво силових кабелів класу напруг 6-35 кВ у трифазному виконанні. Всі кабелі по конструкції, технічним характеристикам і експлуатаційним властивостям відповідають міжнародному стандарту МЕК 60502-2, а також сертифіковані в системах сертифікації ГОСТ і в галузі пожежної безпеки.

Сухі трансформатори. Трансформатори сухі RESIBLOC, що виготовляються фірмою АВВ, мають виняткову механічну міцність, стійкість до механічних і термічних дій, до зусиль, що виникають при короткому замиканні. Обмотки трансформатора являють собою монолітні блоки, герметизовані епоксидною смолою.

Загальні технічні дані трансформаторів RESIBLOC:

- потужність до 63 МВА;
- первинна напруга до 52 кВ;
- вторинна напруга до 36 кВ;
- клас нагрівостійкості ізоляції обмотки ВН/НН: F/F.

Трансформатори з виконанням захисту класу IP 54 виготовляються як з повітряним, так і повітряно-водяним охолодження (AFWF) (рис. 4).



Рис. 4. Трансформатор з повітряно-водяним охолодженням IP 54 виконаний для потреб гірничої промисловості

Трансформатори RESIBLOC виробляються для нестандартного застосування, у тому числі для гірничої промисловості.

Згідно тимчасових вимог [6], необхідне застосування високовольтних комірок напругою 35 кВ та ступенем захисту не нижче IP 54. Тому необхідно провести аналіз існуючих пристроїв розподілення енергії напругою 35 кВ.

КРУ 35 кВ. Комплектна розподільча установка в елегазовій ізоляції (моноблок) серії «FLUSARC» («ФЛУСАРК») призначена для прийому і розподілу електричної енергії трифазного змінного струму з номінальною напругою 36 кВ. «FLUSARC» виконує функції приєднання до 5 ліній за допомогою комбінації вимикача навантаження з плавкими запобіжниками (FLUSARC-F) або силового вакуумного вимикача з релейним захистом (FLUSARC-CB). Конструктивно складається з одного до п'яти функціональних блоків. Блокування на приводних механізмах та блокування між заземлювачами і дверцятами відсіку плавких запобіжників здійснюються вручну (рис. 5).

Комплектуючі для вакуумного вимикача FLUSARC CB можуть бути встановлені в будь-який час (навіть після монтажу моноблока на об'єкті) на раму, розташовану в передній частині. Для зовнішньої установки «FLUSARC» на лицьову панель монтується кожух і встановлюються ущільнення відсіку кабельних приєднань (ступінь захисту всього моноблока збільшується до IP54).

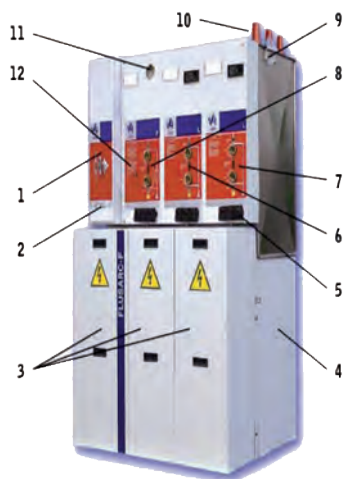


Рис. 5. Основні елементи FLUSARC-F:

- 1 – двері відсіку плавких запобіжників;
- 2 – заводська табличка з параметрами; 3 – кришка відсіку кабельних приєднань; 4 – сталевий підіум;
- 5 – індикатор наявності напруги на кабелі;
- 6, 7 – блокування «Заземлювач-Вимикач навантаження»; 8 – блокування заземлювача функції F; 9 – підйомний гак; 10 – прохідні ізолятори; 11 – манометр; 12 – блокування відсіку плавких запобіжників

Висновки

Застосування напруги 35 кВ в підземних системах електропостачання глибоких шахт технічно можливе. Проте виникають проблеми з виконанням вимог галузевих правил, щодо використання розподільчих пристроїв в підземній виробці. Технічно це досить складне завдання (використання елегазу у якості ізоляції, необхідний ступінь захисту для електрообладнання тощо), тому більш доцільним є використання принципової схеми живлення підземних трансформаторів 35/6 кВ за схемою «блок ліній-трансформатор», що дозволить виключити необхідність встановлення на підземній підстанції як мінімум трьох (ввідних і секційних) розподільних пристроїв напругою 35 кВ у рудничному виконанні. У якості трансформаторів потрібно застосовувати трансформатори, виготовлені для потреб гірничої промисловості, які мають необхідний ступінь захисту від навколишнього середовища та захисні пристрої для відповідної безпеки обслуговування.

Бібліографічний список

1. Перспективы повышения номинальных напряжений электрической сети в системе электроснабжения угольных шахт / Г. Г. Пивняк, Ю. Т. Разумный, А. В. Рухлов // Энергосбережение, Донецк. – 2008. – № 3. – С. 9-11.
2. Шишкин Н. Ф., Антонов В. Ф. Основные направления электрификации современных шахт. – М.: Наука, 1981. – 116 с.
3. Угольная промышленность за рубежом / В. Е. Зайденварг, Н. И. Гаркавенко, В. С. Афендиков и др. – М.: Горная промышленность, 1993. – 389 с.: ил. 34.
4. Беляк В. Л. Повышение эффективности систем подземного электроснабжения высокопроизводительных угольных шахт в связи с технологическим и энергомеханическим перевооружением отрасли: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.09.03 / В. Л. Беляк; [Московский горный университет]. М., 2010. – 23 с.
5. Правила влаштування електроустановок. вид. 3-тє, перероб. і доп. – К., 2010. – 736 с.
6. Временные нормативы по безопасности применения напряжения 35 кВ для систем электроснабжения подземных электроприемников ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» / МакНИИ, Запорожский ЖРК, НГУ, 2012. – 55 с.

Поступила 23.06.2015