

**ЗАХИСТ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН
ВІД БЛУКАЮЧИХ СТРУМІВ У ШАХТАХ,
СПРИЧИНЕНИХ ВИТОКАМИ СТРУМУ З СИЛОВИХ МЕРЕЖ**

В. П. Колосюк, В. М. Чебенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбаська національна академія будівництва та архітектури
вул. Героїв Небесної Сотні, 29, м. Краматорськ, 84333, Україна.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

Розглянуто умови проникнення блукаючих струмів від електричних мереж шахтних електроприймачів у електровибухові мережі. Показано, що джерелом блукаючих струмів можуть бути витoki струмів у силових мережах електропостачання шахтних споживачів. Блукаючі струми здатні спровокувати ініціювання передчасного спрацювання електродетонаторів та несанкційний вибух зарядів вибухових речовин (ВР) при веденні буровибухових робіт (БВР) у шахтних виробках, що як наслідок спричиняє небезпеку травмування гірників. Проаналізовано три можливі варіанти проникнення блукаючих струмів у електровибухові мережі: у разі металевих контактів двох проводів електровибухової мережі з різними корпусами електрообладнання при двофазних витоках струму з силової мережі; у разі замикання на землю обох магістральних провідників електровибухової мережі при двофазних та однофазних витоках на землю. У всіх випадках величина блукаючого струму залежить від стану ізоляції проводів електровибухової магістралі у місцях входу блукаючого струму в електровибухову магістраль. Запропоновано визначення припустимого опору ізоляції електровибухової магістралі, виходячи з умови, щоб величина блукаючого струму не перевищувала величину безпечного струму електродетонатора, регламентованого чинними стандартами.

Ключові слова: блукаючий струм, електровибухова мережа, струм витоку, опір ізоляції.

**ЗАЩИТА ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ
ОТ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ В ШАХТАХ,
ВЫЗВАННЫХ УТЕЧКАМИ ТОКА ИЗ СИЛОВЫХ СЕТЕЙ**

В. П. Колосюк, В. Н. Чебенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
ул. Героев Небесной Сотни, 29, г. Краматорск, 84333, Украина.

E-mail: andrii_vladimirjvich@ukr.net

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Рассмотрены условия проникновения блуждающих токов от электрических сетей шахтных токоприемников в электровзрывные сети. Показано, что источником блуждающих токов могут быть утечки токов в силовых сетях электроснабжения шахтных потребителей. Блуждающие токи способны спровоцировать инициирование несанкционированных взрывов зарядов взрывчатых веществ (ВВ) при ведении буровзрывных работ (БВР) в шахтных выработках и, как следствие, вызывает опасность травмирования горняков. Проанализированы три возможных варианта проникновения блуждающих токов в электровзрывную сеть: в случае металлических контактов двух проводов электровзрывной сети с разными корпусами электрооборудования при двухфазных утечках тока с силовой сети; в случае замыкания обоих проводов электровзрывной сети на землю при двухфазных и однофазных утечках на землю. Во всех случаях величина блуждающего тока зависит от состояния изоляции проводов электровзрывной сети в месте входа блуждающего тока в электровзрывную магистраль. Предложено определять величину сопротивления изоляции электровзрывной сети, исходя из условия, чтобы величина блуждающего тока не превышала величину безопасного тока электродетонатора, регламентированного действующими стандартами.

Ключевые слова: блуждающий ток, электровзрывная сеть, ток утечки, сопротивление изоляции.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На практиці при веденні буровибухових робіт були випадки передчасних вибухів зарядів вибухових речовин від дії блукаючих струмів [1, 2, 3]. Основними видами блукаючих струмів вважаються: тягові блукаючі струми електровозної контактної відкатки, електростатичні заряди на пластмасових полімерних виробках (гнучких вентиляційних трубах, конвеєрних стрічках та ін.), струми витоку з трьохфазних мереж змінного струму, а також грозові розряди блискавок та електромагнітні випромінювання. Небезпека вибуху зарядів вибухових матеріалів (ВМ) виникає тоді, коли блукаючий струм проникає у коло електродетонаторів вибухової мережі, визиваючи їх спрацювання, що ініціює детонацію заряду ВМ.

У роботі [1] приведені такі дані щодо ймовірності спрацювання електродетонаторів від блукаючих струмів: від тягових блукаючих струмів ЕД нормальної чутливості – $P = (0,25—0,28) 10^{-4}$; ЕД пониженої чутливості – $P = (4,6- 7,9) 10^{-14}$; від струмів витоку відповідно нормальної чутливості – $(1,13 - 2,4) 10^{-4}$ та пониженої чутливості – $(1,6 - 33) 10^{-4}$. Непередбачений вибух ВМ – це дуже небезпечне явище, тому що може привести до травмування людей, а в шахтах небезпечних за газом – до вибухів метану та пожежі у гірничих виробках, наслідки яких завжди є катастрофічними. Тому розробка заходів попередження вибухів ВМ від блукаючих струмів, чому присвячена дійсна робота, є важливим актуальним дослідженням.

Мета досліджень – обґрунтування припустимої величини опору ізоляції проводів електровибухових мереж як способу попередження вибухів ВМ блукаючими струмами, що виникають від струмів витоку з силових мереж електропостачання споживачів.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Витоки струму на землю з силової електричної мережі, що живить силові або освітлювальні установки, є одним з видів блукаючих струмів. Причинами стікання струму у землю є замикання струмопровідних частин на корпус електрообладнання безпосередньо або через пошкоджену ізоляцію силових мереж, падіння проводів повітряних ліній на землю, використання землі у якості другого проводу і т.п.

У разі стікання струму в землю з'являються потенціали на заземлювачах електроустановок і на металевих предметах, що контактують з ними, а також на поверхні ґрунту навкруги місця стікання струму у землю. Виникаючі при цьому потенціали окремих точок на поверхні землі можуть представляти небезпеку передчасного ініціювання ЕД, якщо до них торкаються оголені проводи електровибухової мережі. Величина потенціалів від струмів витоку на землю, їх різниця та характер їх змін, а послідовно обумовлена ними небезпека вибуху зарядів ВМ, залежать від багатьох факторів: величини струму витоку, форми, числа та взаємного розташування заземлювачів, питомого опору ґрунту, а також від можливих умов попадання струму у електровибухові мережі, чутливості ЕД до струму та ін.

Величини струму витоку на землю залежать від напруги електричної мережі, характеру її нейтралі і застосованих заходів електробезпеки: способу заземлення чи занулення, рівня опору ізоляції мережі, наявності засобів контролю ізоляції та захисного вимкнення.

Ймовірність проникнення струмів витоку у електровибухові мережі може з'явитись, коли виникають небезпечні різниці потенціалів як у зоні розміщення зарядів ВМ, так і у зоні, де проложені вибухові магістралі. Небезпека передчасного вибуху зарядів виникає, якщо електровибухова мережа має пошкодження ізоляції хоча би у двох точках і існує контакт цих точок з ґрунтом або металоко-нструкціями, різниця потенціалів яких достатня для збудження у мережі хоча би одного з ЕД струму, рівного або більшого мінімально запального.

Заходи щодо попередження передчасного вибуху зарядів ВР від струмів витоку на землю, повинні забезпечувати неможливість проникнення у електровибухову мережу довгострокових струмів, що перевищують 0,05 А, допустимих для приладів перевірки опору вибухових мереж та ЕД. Якщо силова електрична мережа забезпечена апаратурою захисту від витоків, що вимикає мережу при виникненні небезпечного витоку струму на землю і дозволяє лише короткотермінове існування струму витоку на термін вимкнення електричної мережі захистом, то у електровибухову мережу не повинен проникати блукаючий струм більший безпечного, регламентованого для електродетонаторів і рівного 0,18 А [1].

У шахтах силової електромережі є трифазними з ізольованою нейтралю живильного трансформатора. Хоча витоки струму на землю можуть бути трифазними, двофазними і однофазними, найбільш поширеними вважаються однофазні, а найбільш небезпечними – двофазні витоки струмів. Як вид витоку струму може розглядатись замикання двох різних фаз на різні корпуси електрообладнання, які мають окремі заземлювачі R_{31} , R_{32} (рис. 1). У цьому випадку струм

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

витоку, тобто струм замикання, залежить від опору розтіканню струму корпусів (заземлювачів). Якщо не враховувати внутрішній опір джерела живлення і опір фазних проводів, що цілком допустимо, коли сума цих опорів значно менше опору розтікання струму між корпусами по землі, струм витоку можна визначити за формулою

$$I_{КЗ} = U_{Л} / (R_{31} + R_{32}), \quad (1)$$

де $U_{Л}$ – лінійна напруга мережі.

При цьому різниця потенціалів між корпусами буде приблизно рівна лінійній напрузі мережі (рис. 1).

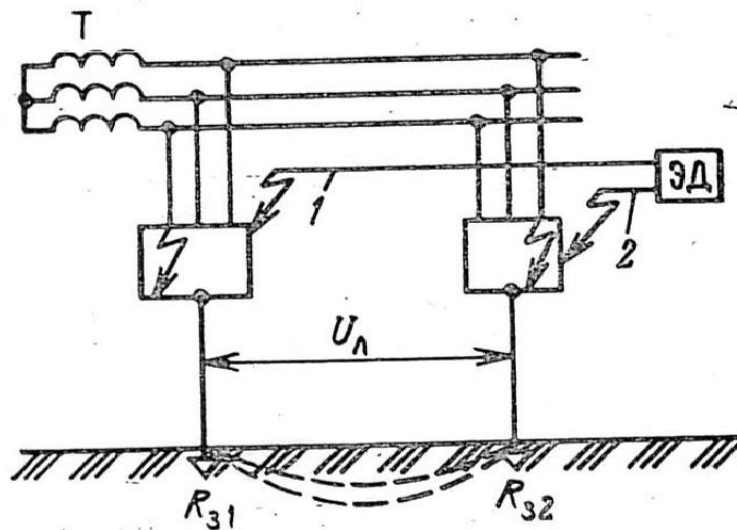


Рисунок 1 – Схема двофазного замикання на корпус і дії на електровибухову магістраль напруги, що виникає між корпусами при металевому контакті провідників електровибухової магістралі з металевими корпусами електрообладнання

Опори R_{31} і R_{32} не повинні перевищувати нормованих Правилами безпеки вугільних шахт [4] опорів заземлення. Якщо прийняти, що ці опори рівні між собою і кожен з них рівний нормованому опору заземлення, тобто $R_{31} = R_{32} = R_{3Н}$, то струм замикання буде рівним

$$I_{К.З} = U_{Л} / (2 R_{3.Н}). \quad (2)$$

Якщо прийняти, що $R_{3.Н} = 2 \text{ Ом}$, то струми замикання визначаються за формулою $I_{К.З} = U_{Л} / 4$.

Розрахунки свідчать, що величини цих струмів сумірні зі струмами загрузки електродвигунів, але менші струмів спрацювання максимального струмового захисту автоматичних вимикачів і магнітних пускачів. Якщо максимально струмовий захист не спрацьовує, то струм замикання на землю буде існувати тривало. За таких умов небезпека передчасного вибуху зарядів ВР існує, якщо є наявним металевий контакт проводів електровибухової мережі з корпусами електрообла-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

днання, коли струм витоків з силової електромережі безпосередньо проникає у один з проводів електровибухової мережі та через електродетонатор і другий провід витікає. Величина струму обмежується тільки опором проводів електровибухової мережі і власним опором електродетонатора:

$$I_{ED} = U_{Л} / (R_1 + R_{ED} + R_2) \quad (3)$$

У роботі [5] приведені дані по параметрам вітчизняних та зарубіжних електродетонаторів. За цими даними найбільший опір (з проводами) мають запобіжні ЕД типів ЕД-КЗ-ПМ і ЕД-КЗ-ПКМ, які застосовуються для вугільних шахт: цей опір знаходиться у межах 1,8–3,6 Ом. Для інших типів ЕД опір значно менший. Тому навіть при опорі 3,6 Ом струм у колі електродетонатора набагато перевищує не тільки величину безпечного струму, а і безвідмовного струму електродетонатора, який для вказаних типів ЕД рівний 1 А. Тому електровибухові мережі необхідно прокладати окремо від силових електромереж та не допускати контакту з корпусами електрообладнання. Крім того, зважаючи на те, що у шахтах застосовується металеве кріплення гірничого масиву, рейки та інші магістралі, що мають контакт з корпусами електрообладнання або металевими оболонками електричних кабелів, необхідно підтримувати у належному стані ізоляцію проводів електровибухової магістралі та не допускати експлуатацію проводів з оголеними дротами.

Роль ізоляції проводів особливо зростає, якщо враховувати, що у разі витоків струму на землю на поверхні землі виникають небезпечні потенціали.

Якщо при однофазному замиканні силової мережі на корпус електрообладнання проводи вибухової мережі торкаються поверхні виробки у двох точках, струм, що буде проникати у електровибухову магістраль (рис. 2) у найгіршому випадку (коли один з проводів торкається землі поблизу заземлювача, а другий – на відстані не менше 20 м від нього), можна визначити за формулами:

$$\begin{aligned} I_{ED} &= U_{ГР} / (R_3 + R_{u1} + R_1 + R_{ED} + R_2 + R_{u2} + R_{P1} + R_{P2}) . \\ I_{ED} &= I_{УТ} R_3 / (R_3 + R_{u1} + R_1 + R_{ED} + R_2 + R_{u2} + R_{P1} + R_{P2}) . \end{aligned} \quad (4)$$

де $U_{ГР}$ – напруга між двома точками землі; R_3 – опір заземлювача відносно землі; R_{u1} , R_{u2} – опори ізоляції проводів вибухової мережі; R_1 , R_2 – опір проводів вибухової мережі; R_{P1} , R_{P2} – опір землі у точках дотику проводів вибухової мережі.

Розрахунки свідчать, що непошкоджена ізоляція проводів електровибухової мережі є достатньою гарантією попередження проникнення блукаючих струмів у вказану мережу. Тому доцільно запровадити контроль опору ізоляції перед проведенням електропідливних робіт. Але зважаючи на існуючу велику імовірність механічного пошкодження ізоляції у шахтних умовах доцільно на термін ведення вибуховопідливних робіт здійснювати вимикання напруги зі всіх силових мереж у зоні ведення таких робіт за виключенням іскробезпечних систем живлення апаратури автоматичного контролю метану, сигналізації та зв'язку [6].

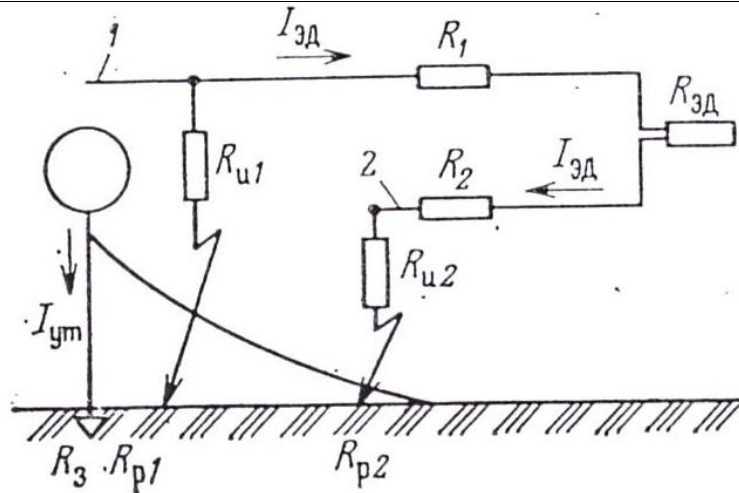


Рисунок 2 – Схема проникнення блукаючого струму у електровибухову мережу у разі однофазного витоку і дії різниці потенціалів землі у точках прикасання проводів

Якщо виник витік струму на землю, то небезпека його проникнення у електровибухову магістраль з'являється у разі несправного заземлення, тобто, коли значення R_3 велике, при пошкодженні ізоляції проводів електровибухової мережі та низькому опорі розтікання у місцях прикасання провідників землі, тому що від цього залежить величина опорів R_1 і R_2 та їх струмообмежувальна дія, а також величина напруги дотику (різниці потенціалів точок прикасання).

Найбільша величина напруги дотику і струму буде, коли один з проводів дотикається землі близько заземлювача, а другий – на відстані 20 м від заземлювача, тому що у цій точці її потенціал практично рівний нулю, а різниця потенціалів між точками торкання проводів максимальна. При цьому особливо сприятливі умови для проникнення блукаючого струму витоку у електровибухову мережу виникають тоді, коли провідник 1 з пошкодженою ізоляцією дотикається до корпусу, а провідник 2 з пошкодженою ізоляцією дотикається до металевого об'єкта, який має низький опір розтіканню струму у землі (див. рис. 2).

У таких умовах $R_{u1} = 0$, $R_{u2} = 0$, $R_{p1} = 0$, $R_2 = 0$, а R_{p2} можна прийняти рівним опору заземлення, тобто 2 Ома. Тоді будемо мати

$$I_{ED} = I_{yT} R_3 / (R_1 + R_{ED} + 2 R_3) . \quad (5)$$

За формулою (5) можна визначити припустиму величину струму витоку, якщо задатися такою умовою:

$$I_{yT} \leq I_6 (R_1 + R_{эд} + 2 R_3) / R_3 . \quad (6)$$

Виражаючи R_1 через параметри магістрального проводу, отримаємо:

$$I_{yT} \leq I_6 (\rho l / s + R_{ED} + 2 R_3) / R_3 . \quad (7)$$

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Для мідних проводів з питомим опором $0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{м} / \text{мм}^2$ діаметром $0,7 \text{ мм}$, довжиною 20 м , при $R_3 = 2 \text{ Ом}$, $I_6 = 50 \text{ мА}$ маємо

$$I_{\text{УТ}} \leq 25 (5 + R_{\text{ЕД}}). \quad (8)$$

Тоді при опорі ЕД $R_{\text{ЕД}}$ рівному $1,8$ і $3,6 \text{ Ом}$ струм витоку $I_{\text{УТ}}$ буде відповідно рівним 170 і 215 мА .

Розрахунки свідчать, що у разі застосування запобіжних ЕД, які допущені для шахт, небезпечних за газом та пилом, допустимий довготерміновий струм витоку рівний 170 мА .

Якщо забезпечити прокладку магістральних проводників на визначеній відстані від електрообладнання і кабелів, коли виключається касання електровибухової мережі з корпусами електрообладнання чи заземлювачами, а також з металевими об'єктами, опори R_{P1} і R_{P2} при касанні оголеними провідниками землі будуть значними, тому опори R_1 , R_2 , $R_{\text{ЕД}}$, R_3 у знаменнику формули (4) можна не враховувати і струм, що проникає у електровибухову мережу, буде визначатися за формулою

$$I_{\text{ЕД}} = I_{\text{УТ}} R_3 / (R_{P1} + R_{P2}). \quad (9)$$

За умови, що $R_{P1} = R_{P2} = 455 \text{ Ом}$, $I_{\text{ЕД}} = I_6$, допустимий струм витоку буде

$$I_{\text{УТ}} \leq I_6 (R_{P1} + R_{P2}) / R_3 \leq 22,75 \text{ мА}. \quad (10)$$

Це свідчить про те, що якщо усунути прикасання провідників електровибухової мережі до корпусів електрообладнання і металевих оболонок, що мають низький опір розтіканню струму у землі, то даже при дуже великих струмах витоку струми, які проникають у електровибухову мережу, не будуть перевищувати безпечного значення.

Якщо відносно не складно попередити прикасання проводів електровибухової мережі до корпусів електрообладнання, то усунути їх прикасання до металевих об'єктів неможливо, тому що у сучасних шахтах застосовується металеве кріплення, виробки часто оборудуються трубопроводами, по землі прокладаються металеві рейки і т.ін. Тому величини R_{P1} і R_{P2} можуть бути сумірними з опором заземлення, коли проводи електровибухової мережі оголеними місцями будуть торкатись указаних металевих об'єктів. При цьому струм, який може проникати у електровибухову мережу буде

$$I_{\text{ЕД}} = I_{\text{УТ}} R_3 / (R_3 + R_3 + R_1 + R_{\text{ЕД}} + R_3), \quad (11)$$

а допустимий струм витоку визначиться залежністю

$$I_{\text{УТ}} \leq I_6 (3 R_3 + R_1 + R_{\text{ЕД}}) / R_3. \quad (12)$$

Або за тих же умов, що і для формули (8):

$$I_{VT} \leq 25 (7 + R_{ED}) . \quad (13)$$

Тоді при опорі електродетонатора R_{ED} , рівного 1,3 і 2,3 Ом, струм витоку складе відповідно 220 і 232 мА.

Таким чином, у разі однофазного витоку струму з електричної мережі на землю найбільш небезпечні умови виникають, якщо провідники електровибухової мережі мають пошкодження ізоляції і ними доторкаються до корпусу електроустановки і металевого об'єкта, що має низький опір розтіканню струму у землі.

У разі двофазного замикання на землю (рис. 3) струм, який може проникати у електровибухову мережу, буде рівним:

$$I_{ED} = U_{Л} / (R_{P1} + R_{i1} + R_1 + R_{ED} + R_2 + R_{i2} + R_{P2}) . \quad (14)$$

Якщо при пошкодженій ізоляції провідники електровибухової мережі прикасаються до землі біля точок замикання і $R_{i1} = 0$, $R_{i2} = 0$ то

$$I_{ED} \approx U_{Л} / (R_{P1} + R_{P2}) . \quad (15)$$

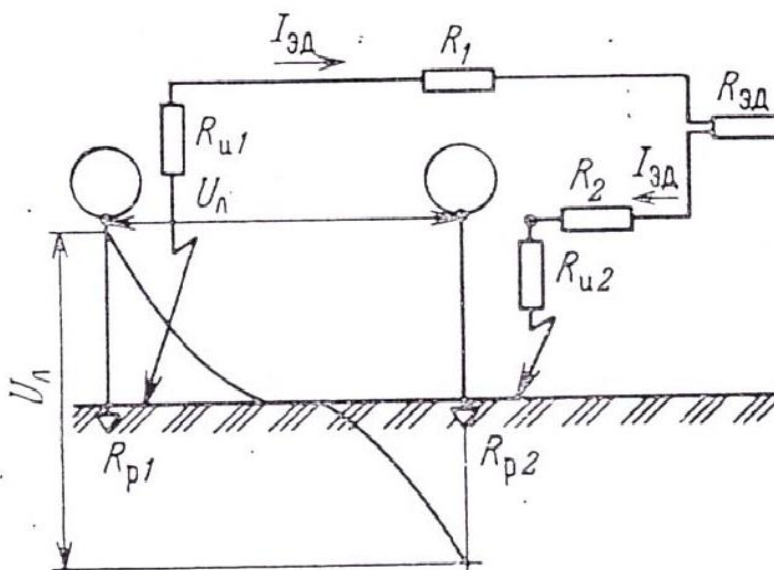


Рисунок 3 – Схема проникнення блукаючого струму у електровибухову мережу у разі двофазного витоку при дії різниці потенціалів на землі

Опір у точках прикасання землі проводами електровибухової магістралі (R_{P1} , R_{P2}) залежить від питомого опору поверхні землі і форми контакту проводу з землею.

Питомий опір ґрунту у шахтах в залежності від вологості коливається від 100 до 7000 Ом·см, а магістральні провідники застосовуються мідні діаметром 0,7 мм.

За таких умов $R_P = 450 - 31850$ Ом [1].

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Величини струму I_{ED} при $R_{P1} = R_{P2} = 455 \text{ Ом}$ у залежності від напруги силової електромережі приведені нижче.

$U_{Л}, \text{ В}$	127	220	380	660	1140	3000	6000
$I_{ED}, \text{ мА}$	140	240	912	725	1252	3296	6593

Ще більші струми I_{ED} будуть у разі прикасання провідників електровибухової мережі до корпусів, на які виникли замикання різних фаз, або до металічних об'єктів, з малим опором розтіканню струму, що знаходяться поблизу корпусів.

Тому при двофазному замиканні виникають найбільш небезпечні умови для передчасного спрацювання ЕД струмами витоку з силової мережі на землю.

До того ж у таких умовах ізоляція електромережі та заземлення не проявляють струмообмежувальної дії, а опір розтіканню струму у місці прикасання провідників електровибухової мережі до землі не може обмежити блукаючий струм у колі ЕД до безпечної величини.

Найбільш ефективною мірою запобігання небезпеці проникнення у електровибухову мережу блукаючих струмів від двофазного замикань на землю силової мережі є підтримання ізоляції електровибухової мережі на належному рівні.

Необхідний опір ізоляції визначається за умови, щоб через ізоляцію проводів електровибухової мережі у цю мережу не проникав блукаючий струм, здатний привести у дію електродетонатор у разі найбільш небезпечного режиму витоку струму з силової електромережі. Як показано вище, таким режимом є двофазний витік струму у разі замикань на різні корпуси електрообладнання, коли припустити, що до цих корпусів торкаються провідники прокладеної електровибухової магістралі. У цьому разі струм витоку проникає у електровибухову мережу через електропровідність ізоляції її провідників у місцях їх дотику до металевих корпусів, на які виникли замикання фаз силової мережі.

За таких умов можливий струм у колі електродетонатора визначається за виразом:

$$I_{ED} = U_{Л} / (R_{I1} + R_{P1} + R_{ED} + R_{P2} + R_{I2}). \quad (16)$$

Як показує аналіз, сумарне значення опорів R_{P1} , R_{P2} , R_{ED} у порівнянні з опорами ізоляції R_{I1} , R_{I2} на два порядки менші, тому з достатньою точністю струм електродетонатора можна визначати за формулою:

$$I_{ED} = U_{Л} / (R_{I1} + R_{I2}). \quad (17)$$

Для захисту від вибухів зарядів ВР необхідно, щоб струм у колі електродетонатора був меншим його безпечного струму $I_{ED} \leq I_{\delta} = I_{\delta} / k$, де k – коефіцієнт запасу, який можна прийняти рівним $k = 1,5$ по аналогії з коефіцієнтом іскробезпечності, який застосовується при визначенні іскробезпечного струму за величиною мінімального запальнувального [6]. З урахуванням цього, приймаючи опір ізоляції проводів 1 і 2 однаковим $R_{u1} = R_{u2} = R_u$, отримаємо формулу для визначення припустимого опору ізоляції проводів електровибухової мережі:

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

$$R_u = K U_{Л} / (2 I_{\epsilon}), \quad \text{або при } \kappa = 1,5, \quad I_{\epsilon} = 0,18 \text{ А} \quad R_{И} = 0,42 U_{Л} \quad (18)$$

У залежності від величини лінійної напруги силової мережі припустимий опір ізоляції проводів електровибухової мережі буде:

$U_{Л}, \text{В}$	127	220	380	660	1140	3000	6000
$R_{И}, \text{Ом}$	25,4	92,4	152,0	277,2	478,8	1260,0	2520,0

З метою уніфікації та зважаючи на те, що у вибоях вугільних шахт можуть розміщуватися передвижні електропідстанції з вищою напругою силових трансформаторів 6000 В [7] доцільно прийняти як загальне припустиме значення опору ізоляції проводів електровибухової мережі величину 3000 Ом або 3 кОм.

Отримані результати разом з загальними результатами безпеки БВР, які викладені у роботах [8, 9, 10], забезпечують подальше підвищення безпеки робіт у шахтах.

ВИСНОВКИ. 1. Доведено, що витoki струму з силових мереж електропостачання гірничих машин і устаткування у разі замикання фаз на корпус можуть бути достатньої величини як джерела ініціювання спрацювання електродетонаторів при веденні електропідливних робіт у шахтах.

2. Ризик небезпеки передчасного вибуху ВМ від блукаючих струмів витoku залежить від виду замикань на корпус(землю), особливостей устрою та взаємного розташування силової та електровибухової мереж, а також стану ізоляції провідників електровибухової мереже як каналу проникнення у цю мережу блукаючих струмів.

3. Для захисту зарядів вибухових речовин від блукаючих струмів витoku з силових мереж при веденні підливних робіт у шахтах необхідно застосовувати комплекс заходів та засобів: 1) Прокладку електровибухової мережі здійснювати відокремлено від силової мережі, передбачивши у паспортах БВР деталізацію методів відокремлення; 2) На термін ведення електропідливних робіт доцільно вимикати напругу з силових мереж у зоні прокладки електровибухової мережі не тільки у режимі струсного підливання за вимогами Правил безпеки у вугільних шахтах, але і у звичайному режимі за паспортом БВР, передбачивши за рахунок схеми електропостачання безперервність іскробезпечного живлення систем автоматичного контролю мотану, сигналізації, зв'язку та управління відповідно до чинного керівництва з АКМ, а також деталізацію порядку та особливостей вимкнення і відновлення включення напруги; 3) У паспортах БВР як доповнення до інших заходів безпеки необхідно конкретизувати передбачений контроль опору ізоляції провідників електропідливної мережі перед веденням електропідливних робіт, який повинен бути не менше 3 кОм., а у разі механічного пошкодження ізоляції – забезпечення відновлення її у місцях пошкодження липкою ізоляційною стрічкою; 4) У системі управління охороною праці (СУОП) та у паспорті БВР необхідно передбачити узгодження паспортів головним енергетиком або відповідальним працівником енергомеханічної служби підприємства (шахти).

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

ЛІТЕРАТУРА

1. Граєвский М. М., Ермошин В. Ф., Залеский П. С. Защита зарядов взрывчатых веществ от преждевременных взрывов блуждающими токами. М: Недра, 1987. 381 с.
2. Колосюк В. П. Электроснабжение шахтных контактных электровозов: Справочное пособ. М.: Недра, 1992. 250 с.
3. Озерной М. И., Петров Ю. С. Исследование воздействия блуждающих токов на электровзрывные цепи и обоснование безопасных параметров электродетонаторов. *Горный журнал*, 1972, № 6. С. 137–146.
4. НПАОП 10.0 – 1. 01 – 10. Правила безпеки у вугільних шахтах. К.: Держгірпромнагляд України, 2010. 432 с.
5. Способи ініціювання зарядів вибухових речовин: Навчальний посібник. В. В. Соколов, А. В. Чернай, В. М. Чебенко, О. В. Скобенко. Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. 88 с.
6. Ткачук С. П., Колосюк В. П., Ихно С. А. Взрывопожаробезопасность горного оборудования. К.: «Основа», 2000. 695 с.
7. Предупреждение взрывов метана и зарядов взрывчатых веществ от статического электричества в шахтах, опасных по газу. В. П. Колосюк, В. Н. Чебенко, В. В. Артамонов, А. В. Колосюк. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2018. Вип. 2(22). С. 82–93.
8. Колосюк В. П., Чебенко В. М., Колосюк А. В. Засоби вибухобезпечності систем сигналізації, зв'язку та управління для шахт, небезпечних за газом. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2017. Вип. 2(20). С. 101–109.
9. Развитие мер безопасности при сотрясательном взрывании в шахтах. В. П. Колосюк, В. Н. Чебенко, А. А. Мурашко, А. В. Колосюк. *Журнал Уголь Украины*, 2016, № 11-12. С. 33–39.
10. Колосюк В. П., Чебенко В. Н., Колосюк А. В. Безопасность взрывных работ в шахтах, опасных по газу. *Журнал Уголь Украины*, 2018, № 10-11. С. 29–34.

PROTECTION OF EXPLOSIVES SUBSTANCES CHARGES FROM STRAY CURRENTS IN MINES STRAY CURRENT

V. Kolosyuk, V. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: bgd@kdu.edu.ua

A. Kolosyuk

Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture

vul. Heroyiv Nebesnoyi Sotni, 14, г. Kramatorsk, 84333, Ukraine.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

Purpose. Substantiation of the allowable value of insulation resistance of electric wire networks as a way of preventing explosions of VM with wandering currents arising from leakage currents from power supply networks of consumers. **Methodology.** We have applied the experimental and mathematical simulation. We have correlated the simulated result with the experimental data and made proposals for decisions. **Results.** In order to protect the charges of explosives from the wandering currents of leakage from power networks in conducting subterranean operations in mines, it is necessary to apply a set of measures and means. 1) The laying of the electric power supply network is to be carried out separately from the power grid, providing details of the methods of separation in the passport of the BVI. 2) For the period of conducting electric work it is expedient to switch off the voltage from the power grids in the area of the lining of the electrical supply network, not only in the mode of sharp blasting in accordance with the requirements of the Safety Rules in coal mines, but also in the usual mode on the certificate of the BVP, providing for the scheme of electricity supply continuity sparking -power supply of motor control systems, signaling, communication and control in accordance with the current manual with AKM, as well as decommissioning of the order and features of switching off and recovery including on-frequency voltages away. 3) In addition to other security measures, it is necessary to specify in the BVR passports, in addition to other security measures, the control of isolation resistance of the conductors of the electro-explosive network prior to conducting the electrical work, which must be at least 3 kOm, and in case of mechanical damage to the insulation, to ensure that it is restored in places damaged by sticky insulating tape. 4) In the system of occupational safety management (SUUP) and in the BVR passport, it is necessary to pre-arrange the approval of the passports by the chief power engineer or the responsible officer of the energy-mechanic service of the enterprise (mines). **Originality.** It has been proved for the first time that the leakage of current from the power grids of electric power supply of mining machines and equipment in the event of phase closure on the housing may be sufficiently large as a source of initiation of the operation of electrodetonators when conducting electrodes in mines. **Practical value.** The obtained results, together with the general results of the safety-of-vehicle propulsion systems, which are described in the earliest works, ensure further improvement of the safety of work in the mines.. References 10, tables 0, figures 3.

Key words: wandering current, electrostatic network, leakage current, insulation resistance.

REFERENCES

1. Graevskiy, M., Yermoshyn, V., Zalesskiy, P. (1987), *Zaschita zaryadov vzryivchatyih veschestv ot prezhdvremennyih vzryivov bluzhda-yuschimi tokami*, [Protection of explosive charges against premature explosions with stray currents], Nedra, Moscow, Russia.
2. Kolosyuk, V. (1992), *Elektrosnabzhenie shahtnyih kontaktnyih elektrovozov: Spravochnoe posobiye*, [Power supply of mine contact electric locomotives: Reference manual] Nedra, Moscow, Russia.

3. Ozernoy, M., Petrov, Yu. (1972), “Investigation of the influence of stray currents on electric blasting circuits and the justification of the safe parameters of electric detonators”, *Gorniy zhurnal*, no. 6, pp. 137-146.

4. NPAOP 10.0 - 1. 01 - 10. Safety rules in coal mines. К .: Derzhgir-Promnadzor Ukraine, 2010. 432 p.

5. Sobolev, V., Chernay, A., Chebenko, V., Skobenko, O. (2013), *Sposobi pidrivannya zaryadiv vibuhovih rechovin. Navchalnyy posibnik.*, [Ways of blasting charges of explosives. Tutorial.] Lizunov Pres, Dnipro, Ukraine.

6. Tkachuk, S., Kolosyuk, V., Ykhno, S. (2000), *Vzryivopozharobezopasnost gornogo oborudovaniya*, [Fire and explosion safety equipment] Kyiv, Ukraine.

7. Kolosyuk, V., Chebenko, V., Kolosyuk, A., Artamonov, V., (2018), “Prevention of methane explosions and charges of explosives because of static electric in mines, hazardous by gas”, *Suchasni resursoenergozberigauchi technologii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 22, pp. 82–93.

8. Kolosyuk, V., Chebenko, V., Kolosyuk, A. (2017), “Means of explosion safety of systems of signaling, communication, and management for mines, dangerous on gas”, *Suchasni resursoenergozberigauchi technologii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 20, pp. 101–109.

9. Kolosyuk, V., Chebenko, V., Murashko, A. Kolosyuk, A., (2016), “The development of safety measures in shocking blasting in mines”, *Ugol Ukrainyi*, no. 11-12, pp. 33–39.

10. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A., Chebenko, V., (2018), “Safety of blasting operations in gas hazardous mines”, *Ugol Ukrainyi*, no. 10-11, pp. 29–34.

Стаття надійшла 27.05.2019.