

14. Saaty, T.L. (1996). The analytic network process. Arlington, United State: RWS Publications, Expert Choice, Inc.
15. Kuan, M.J., & Chen, Y.M. (2014). A hybrid MCDM framework combined with DEMATEL-based ANP to evaluate enterprise technological innovation capabilities assessment. Decision Science Letters, 3(4), 491-502. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2014.6.003>
16. Гільперт В.В. Навчання ризик-менеджменту як інструмент для вдосконалення СУОП // В.В. Гільперт // Охорона праці. - 2019. - № 8. – С. 14-16.
17. Коноваленко Ю. Джерела та фактори транспортного ризику при здійсненні вантажних перевезень автомобільним транспортом / Ю. Коноваленко // Галицький економічний вісник. 2013. №2 (41). С. 1020.

Рукопис подано до редакції 02.04.2023

УДК 621.316.925

А.В. ПИРОЖЕНКО, канд. техн. наук, доц., Е.О. МОДЛО, канд. пед. наук, доц.  
Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій  
Ю.В. ШЕРСТНЬОВ, аспірант  
Криворізький національний університет

### МІНІМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ КОРПУСУ КАР'ЄРНОГО ЕКСКАВАТОРА ПРИ ПОЗАШТАТНОМУ ТОРКАННІ ЙОГО КОВШЕМ КОНТАКТНОГО ДРОТУ

**Мета.** У статті розглянуто стан, необхідність та пропонуємо авторське рішення щодо способу зменшення електричного потенціалу корпусу екскаватора, котрий грузить видобуту гірничу масу в думпкарі при торканні його ковшем контактної дроту кар'єрної тягової електромережі з напругою живлення 10 кВ змінного струму.

**Методи дослідження.** В основі способу зменшення потенціалу запропоновано пристрій багаторазової дії з безконтактним тиристорним ключем.

**Наукова новизна.** Для захисту тиристорного ключа, з метою збільшення його стійкості від можливих амплітудних імпульсів перенапруги, запропоновано структурне включення в схему пристрою конденсатора, ємкість якого вибирається за умови, що за час включення тиристора напруга на ньому не повинна перевищувати максимально допустимий рівень за умови пробою тиристора, тобто повинна бути менше імпульса перенапруги.

**Практична значимість.** З метою недопущення негативного впливу конденсатора на процес відключення живлення при контактній і ковш екскаватора-контактна мережа запропоновано метод вибору відповідного рівня ємкості, що, в свою чергу, дозволяє визначити мінімально необхідне його значення, котре не буде впливати на швидкодію пристрою. Згідно необхідності дотримання відповідних пунктів правил безпеки в якості критерія відповідності взято той факт, що пристрій повинен витримувати струм короткого замикання, котрий потенційно може протікати через корпус екскаватора під час несанкціонованого торкання його ковшем контактної дроту на протязі часу спрацювання на відключення вимикача фідера тягової підстанції котра живить дану ділянку тягової мережі. Для цього, а також з метою запобігання виходу з ладу силових комутуючих тиристорів відповідного ключа від струмів коротких замикань, пропонується паралельне включення двох тиристорів в кожному його плечі з максимально допустимим значенням середнього струму не менше 1 кА.

**Результати.** Пропонуємо схемотехнічне рішення дозволяє пристрою захисту забезпечити необхідний рівень швидкодії – до  $30 \cdot 10^{-6}$  с., що відповідає нормам електробезпеки.

**Ключові слова:** електробезпека, екскаватор, тягова електрична мережа, пристрій, захист, кар'єр.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На відкритих гірничих роботах (кар'єри, рудники) України крім електрифікованого залізничного транспорту постійного струму з напругою живлення контактної мережі 1,65 та 3,3 кВ застосовується напруга 10 кВ змінного струму. Водночас саме контактні мережі нерідко являють собою джерело елетротравматизму працюючих гірників.

Одним з найбільш одіозних джерел електротравматизму на відкритих гірничих роботах є екскаваторні забої, де здійснюється навантаження гірничої маси в думпкарі електрифікованого залізничного транспорту. Під час виконання вказаних робіт доволі часто трапляються торкання ковшем екскаватора контактної дроту. При цьому струм обмежений опором кола корпус екскаватора – рейки та опором заземлювального кола екскаватора і менше за уставку спрацювання максимально – струмового захисту фідера тягової підстанції. Небезпеку ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу екскаватора представляють напруга доторкання до

корпусу екскаватора, що знаходиться під напругою контактної мережі, і крокова напруга, яка обумовлена розтіканням струму з екскаватора до рейок. Крім того високий потенціал виносить-ся на гірниче обладнання кар'єру, що зв'язане контуром заземлення з екскаватором, який торкнувся ковшем контактної мережі. Тривале існування аварійного струму під час торкання ковшем контактної мережі у разі не спрацювання максимально – струмового захисту фідера тягової підстанції приводить до перегорання заземлювальної жили живильного кабелю екскаватора, оскільки струм, що протікає через неї, на кілька порядків перевищує допустимий.

Таким чином, критичний стан безпеки під час навантаження гірничої маси в думпкарі електрифікованого залізничного транспорту підтверджує необхідність якнайшвидшого його вирішення.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Відомі засоби зниження потенціалу корпусу екскаватора під час торкання ковшем контактної мережі [1-3] можна класифікувати на пристрої, що виключають можливість торкання ковшем контактної мережі, який знаходиться під напругою; що вимикають контактну мережу з високою швидкістю під час аварійної ситуації; що знижують величину напруги доторкання до безпечного значення та обмежують її розповсюдження по загальній мережі заземлення.

По першому напрямку відомий пристрій, який дозволяє управління вимикачем фідера тягової підстанції з кабіни екскаватора по радіоканалу [1]. Часте вимикання електровозу від контактної мережі приводить до значного збільшення часу навантаження, і, крім того, суттєво збільшує знос його електрообладнання (компресора і т.д.). Крім того, складність та висока вартість пристрою не сприяли його широкому розповсюдженню.

По другому напрямку складність розробки пристроїв, що вимикають контактну мережу під час торкання ковшем контактної мережі полягає у тому, що струм при віддалені точки торкання від тягової підстанції на відстань більше 700 – 800 метрів сумірний з тяговими струмами, що не дозволяє будувати пристрої на амплітудному принципі [2]. Пристрої на фазному принципі схильні до хибних спрацювань під час перехідних процесів в контактній мережі ( пуск електровозу, відрив його пантографу і т.д.) [3]. Складність розроблення пристроїв на накладеному оперативному струмі пов'язана з необхідністю побудови загороджувача, що перешкоджає проходженню оперативного сигналу через коло двигунів електровозу [4].

По третьому напрямку найбільш ефективний спосіб зниження небезпечних напруг доторкання – застосування захисного з'єднання корпусу аварійного екскаватора з рейками залізничної колії в момент торкання ковшем контактної мережі. Це дозволяє знизити потенціал корпусу екскаватора відносно землі до безпечного значення за час спрацювання вимикача на фідері тягової підстанції, який спрацьовує від сигналу максимально-струмового захисту, так як з'єднання корпусу екскаватора з рейками створює шлях струму короткого замикання. Необхідною умовою ефективності такої системи є забезпечення високої швидкості спрацювання.

Реалізація такого захисного з'єднання для контактних мереж постійного струму напругою 1,65 та 3,3 кВ не представляє складнощів, оскільки може бути виконано на базі силового діода (або кількох паралельно вимкнених діодів) відповідного класу, катод якого підключають до рейок, а анод – до корпусу екскаватора [5].

Відомий пристрій для контактних мереж напругою 10 кВ змінного струму на базі серійного іскрового проміжку типу ІПМ-62 [6]. Однак це пристрій одноразової дії і після кожного торкання ковшем контактної мережі необхідно міняти іскровий проміжок, що викликає значні простоя екскаватора та рухомого складу. Крім того, мають місце підривання іскрового проміжку, оскільки останній не розрахований на потужності короткого замикання.

**Постановка задачі.** Розроблення пристрою зниження потенціалу корпусу екскаватора під час торкання ковшем контактної мережі напругою 10 кВ змінного струму з необхідною швидкістю та застосуванням силового тиристорного ключа без послідовного включення тиристорів на напругу контактної мережі, стороннього джерела живлення та перетворювача напруги.

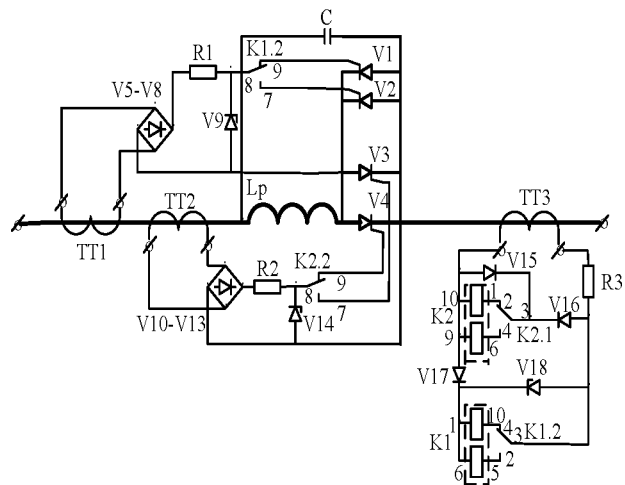
**Викладання матеріалу та результати.** Розроблений безконтактний пристрій багаторазової дії зниження потенціалу корпусу екскаватора під час торкання ковшем контактної мережі напругою 10 кВ змінного струму типу ПЗПК-10, принципова схема якого наведена на рис.1. Додатковими вимогами, що пред'являються до пристрою, є його мінімальні вагові показники та відсутність джерела живлення.

Під час торкання ковшем контактної мережі в момент амплітудного значення живлячої напруги ( $U_m=14\text{kV}$ ), вона буде прикладена до тиристорного ключа пристрою. Для виключення виходу з ладу тиристорів вони повинні витримувати пряму напругу на протязі часу їх відкриття (30 мкс). Послідовне включення тиристорів на амплітудну напругу призводить до збільшення габаритів та вагових показників пристрою. Так, навіть при використанні тиристорів максимального класу за напругою (наприклад, 40-го класу) необхідно послідовне включення чотирьох вентилів у кожному плечі, а в цілому для ключа, враховуючі їх паралельне з'єднання, необхідно застосування 16 вентилів.

В запропонованому пристрої для виключення необхідності послідовного включення тиристорів паралельно тиристорному ключу V1-V4 включена ємність C. Ємність конденсатора C вибирається за умови, що за час включення тиристора напруга на ньому  $U_c$  не повинна перевищувати максимально допустиму за умови пробою тиристора, тобто повинна бути менше імпульсної напруги, що не повторюється, яка прикладається до тиристора в закритому стані ( $U_{nm}$ ).

Рис.1. Схема електрична принципова пристрою

Оскільки тривалість періоду живлячої напруги контактної мережі на кілька порядків перевищує тривалість перехідного процесу включення тиристорів, то можна вважати, що їх включення відбувається при постійній напрузі, яка дорівнює амплітудному значенню напруги  $U_m$  контактної мережі. Крім того, правомочним припущенням є нехтування індуктивністю контактної мережі через її децизию у порівнянні з ємністю конденсатора C. Таким чином, умова не перевищення напруги на конденсаторі  $U_c$  граничного значення  $U_{nm}$  може бути записана нерівністю [7]



$$U_{nm} > U_m (1 - e^{-\frac{t_e}{R_n l_e C}}), \quad (1)$$

де  $R_n$  – питомий опір контактної мережі, Ом/км;  $l_e$  – відстань від тягової підстанції до місця знаходження екскаватора, км;  $C$  – ємність конденсатора, що ввімкнений паралельно тиристорному ключу, Ф;  $t_e$  - час включення тиристора, с.

Для того, щоб ввімкнення конденсатора  $C$  між екскаватором та рейками не погіршувало умови безпеки, його ємнісний опір повинен бути на порядок вищим за опір кола екскаватор - рейки, тому ємність конденсатора  $C$ , що вибирається за умови (1), повинна бути мінімально необхідною.

Вирішуючи нерівність (1) відносно  $C$  та вводячи коефіцієнт запасу  $k_3$ , отримуємо умову для вибору ємності конденсатора [8]

$$C = \frac{k_3 t_e}{R_n l_e \ln \frac{U_m}{U_m - U_{nm}}}, \quad (2)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт запасу.

Як показали дослідження, достатнім значенням коефіцієнту запасу є  $k_3 = 1,1$ .

Величина ємності, згідно проведених досліджень, повинна бути 20-25 мкФ, а її максимальна допустима напруга – не нижче класу тиристорів. Наявність ємності дозволяє обмежити швидкість наростання напруги на тиристорах до допустимих величин (менше 200 В/с). Крім того, включення ємності паралельно ключу дозволяє сформувати випереджуючий сигнал управління тиристорами від трансформаторів струму в момент кидку ємнісного струму при торканні ковшем контактної мережі, що, у свою чергу, дозволяє форсувати включення тиристорів.

Пристрій повинен витримувати струм короткого замикання через корпус екскаватора під час торкання ковшем контактної мережі на протязі часу спрацювання вимикача фідера тяго-

вої підстанції (максимальне значення має масляний вимикач - 0,2 с). Для цього, як показали дослідження, необхідно паралельне включення двох тиристорів у кожному плечі ключа з максимально допустимим середнім струмом у відкритому стані не менше 1000 А. Для рівномірного розподілення струмів під час паралельної роботи тиристорів необхідно застосування зрівняльних реакторів, що призводить до збільшення вагових та габаритних показників пристрою. Крім того, зрівняльні реактори збільшують сумарний опір силового кола пристрою та допускають значний перерозподіл струмів у паралельно включених транзисторах [9]. Оптимальним рішенням є почергове включення тиристорів у кожен напівхвилю робочої напруги, що реалізовано переключенням їх керуючих електродів поляризованими реле типу РПС (К1 та К2), що живляться від трансформатора струму ТТ3.

Швидкість наростання струму під час короткого замикання, враховуючи величину розподіленої індуктивності контактної мережі, менше за гранично допустиму. Однак при наближенні місця короткого замикання до тягової підстанції, ця величина може перевищувати гранично допустиму. Крім того, необхідно обмежити швидкість наростання струму розряду конденсатора, оскільки він розряджається на коротко через тиристори. З цією метою послідовно з тиристорами у коло розряду ємності включена індуктивність (реактор)  $L_p$ . Як показали дослідження, індуктивність реактора повинна складати не менше 0,6 мГ та практично реалізована намоткою 20 витків жили екскаваторного кабелю на металевий трубчастий корпус пристрою діаметром 250 мм.

Пристрій працює наступним чином. Під час торкання ковшем контактної мережі в момент амплітудного значення живлячої напруги контактної мережі ( $U_{кв}$ , рис.2), що є найбільш важким режимом включення пристрою, через розряджений конденсатор С (нульові початкові умови) відбувається стрибок ємнісного струму по колу екскаватор – рейки, який викликає практично миттєве формування одиничного імпульсу на виході трансформаторів струму ( $U_{тт}$ , рис.2). Сформований імпульс через випрямні мости V5-V8, V10-V13 та струмообмежуючі резистори R1,R2 поступає на керуючі електроди тиристорів V1-V4, паралельно яким для обмеження напруги імпульсу керування включені стабілітрони V9,V14 ( $U_{v9}$ ,  $U_{v14}$ , рис.2 ). Таким чином, відбувається випереджаюче формування імпульсу керування тиристорами, тобто імпульс керування виявляється сформованим практично при нульовому значенні напруги на тиристорному ключі, що забезпечує відкривання одного з тиристорів тиристорного ключа до досягнення на ньому напруги пробою, а це, у свою чергу, дозволяє уникнути послідовного включення тиристорів на напругу контактної мережі. У подальшому відбувається заряд конденсатора С, і, отже, експоненціальне наростання напруги на тиристорному ключі до моменту його відкривання ( $U_{кв}$  рис.2).

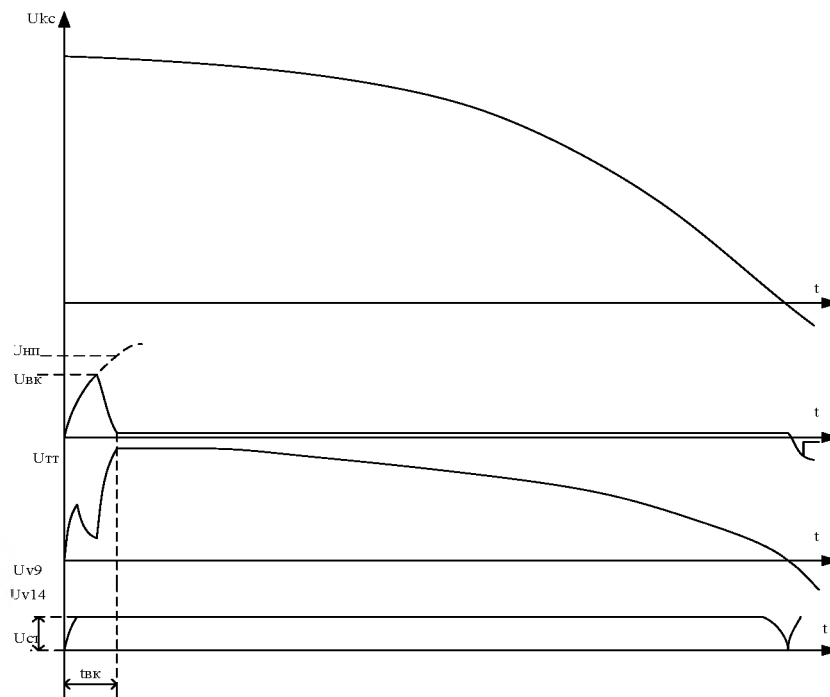


Рис.2. Часові діаграми роботи пристрою

Технічні характеристики пристрою	
Номинальна напруга змінного струму, кВ.....	10
Максимальний струм короткого замикання, що встановився, кА.....	10
Час існування струму короткого замикання, не більше, с.....	0,2
Напруга спрацювання, В.....	200-300
Максимальний час спрацювання, с.....	$30 \cdot 10^{-6}$

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Прийняті рішення під час розроблення пристрою дозволяють уникнути необхідності послідовного включення тиристорів на напругу контактної мережі, а також використання стороннього джерела живлення та перетворювача напруги у поєднанні з високою швидкістю, яка не перевищує  $30 \cdot 10^{-6}$  с. Подальші дослідження доцільно направити на безконтактне переключення керуючих електродів тиристорного ключа кожні півперіоду живлячої напруги.

#### Список літератури

1. Бурьяноватый А.И., Кондаков А.Д., Мизинцев А.В. Защита электротяговых сетей переменного тока на основе интеллектуальных терминалов / – СПб.– ПГУПС, 2003.– 111 с.
2. Баженов В. Н. Релейная защита элементов электроэнергетической системы: пособие для практических расчетов / X.: ПланетаПринт, 2018. – 92 с.
3. Пироженко А.В. Метод расчета изменений фазового угла переменной составляющей выпрямленного тока при переходных процессах в контактных сетях. В кн.: Безопасность труда в горнорудной промышленности. – М., Недра, 1987. С.13-15. (Всесоюз. науч.-исслед. ин-т безопасности труда в горнорудной пром-сти).
4. Серов В.И. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятий. М.: 1985.- 97 с.
5. Щуцкий В.И. Защитное сунтирование однофазных поврежденных электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986.-124 с.
6. Проміжок іскровий ПІМ-62. Сімферопольський електротехнічний завод. ТУ 3185-005-00184939-2014.
7. Пироженко А.В., Ликаренко А.Г.,Новиков И.А.,Ющенко С.И. Устройство для снижения потенциала корпуса экскаватора при касании ковшом контактного провода. А.С. 1614064 СССР, МКИ Н02Н3/14. - №444794/24-07. Заявлено 04.04.88. Опубл.15.12.90. Бюл. № 46.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Пер. с англ. - М.:Наука, 1973. - 831с.
9. Пироженко А.В., Ликаренко А.Г. Устройство для поочередного управления параллельно включенными тиристорными ключами. А.С. 1525831 СССР, МКИ Н02М1/08. - №422706/24-07. Заявлено 13.04.87. Опубл.30.11.89. Бюл. № 44.
10. В.М.Кутін Параметри контактних тягових мереж змінного струму залізничних кар'єрів. /В.М.Кутін – Warsak: iScience Sp.2.0.0-2020.-251с.

Рукопис подано до редакції 04.04.2023

УДК 622.34: 658.38

О. Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., С.Л. КОВАЛЕНКО, магістр  
Криворізький національний університет

### ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ МАЙДАНЧИКА ВИВАНТАЖЕННЯ РУДИ ТА РЕМОНТІ КОНУСНИХ ДРОБАРОК В КАР'ЄРІ

**Мета.** Зниження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів на робочих місцях ремонтно-технологічного персоналу, підвищення безпеки праці під час ремонту конусних дробарок в кар'єрі.

**Методи дослідження.** Наукове узагальнення і аналіз літературних джерел, промислові дослідження, використання прийнятих законодавчих актів, настанов і виконання регламентованих положень з безпеки праці в гірництві.

**Наукова новизна.** Наведено наукове обґрунтування параметрів системи коагуляції рудникового пилу гідродисперсним аерозолем у вигляді туману та способу механізованого очищення приймального бункера з використанням пневмогідралічної щітки.

**Практичне значення** полягає в розробці куполоподібного укриття, обладнаного системою утворення гідродисперсного аерозолу над приймальним бункером дробарки для запобігання виділення пилу та механізованого способу очищення приймального бункера конусної дробарки за допомогою пневмогідралічної щітки. В проекті організації робіт розроблені заходи, що дозволяють зменшити забруднення повітря, поліпшити умови праці і підвищити рівень безпеки на промисловому майданчику вивантаження гірської маси в кар'єрі.