

УДК 622.012.2:621.311.1

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ВИБІГУ ДВИГУНІВ ЯК СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДІЛЬНИЧНОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ**К. М. Маренич, С. В. Василюк**Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»
вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001, Україна. E-mail: gea@dgtu.donetsk.ua

Перехідні процеси в багатомашинних шахтних електротехнічних комплексах після вимкнення напруги живлення за наявності витoku струму на землю суттєво впливають на показники електробезпеки, що недостатньо враховано в існуючих апаратах захисту від витоків струму на землю. Отримано аналітичні залежності загальної кількості електрики, що проходить через опір тіла людини за час аварійного процесу, від сталості часу затухання електрорушійної сили вибігу асинхронних двигунів споживачів та ємності ізоляції кабельної мережі. Доведено ефективність примусового гасіння електрорушійної сили вибігу двигунів для підвищення електробезпеки дільничного електротехнічного комплексу шахти.

Ключові слова: дільниця шахти, електротехнічний комплекс, двигун, напруга.**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ ВЫБЕГА ДВИГАТЕЛЕЙ КАК СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УЧАСТКОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА****К. Н. Маренич, С. В. Василюк**Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»
ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина. E-mail: gea@dgtu.donetsk.ua

Переходные процессы в многомашинных шахтных электротехнических комплексах после отключения напряжения питания при наличии утечки тока на землю существенно влияют на показатели электробезопасности, что недостаточно учтено в существующих аппаратах защиты от утечек тока на землю. Получены аналитические зависимости общего количества электричества, которое проходит через сопротивление тела человека за время аварийного процесса, от постоянной времени затухания электродвижущей силы выбега асинхронных двигателей потребителей и емкости изоляции кабельной сети. Доказана эффективность принудительного гашения электродвижущей силы выбега двигателей для повышения электробезопасности участкового электротехнического комплекса шахты.

Ключевые слова: участок шахты, электротехнический комплекс, двигатель, напряжение.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Електротехнічний комплекс дільниці вугільної шахти (рис. 1) складається з дільничної трансформаторної підстанції (ДТП), до якої магістральними кабелями (МК) підключаються розподільчі пункти (РП), кожен з яких включає автоматичний вимикач (АВ) та ряд пускачів (П) (або станцію управління), причому до останніх за допомогою гнучких кабелів (ГК) під'єднані асинхронні двигуни (М) споживачів [1].

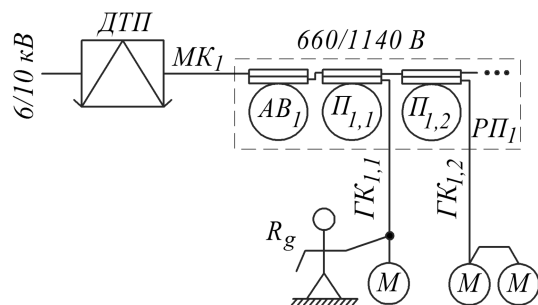


Рисунок 1 – Структура електротехнічного комплексу дільниці шахти з одним розподільчим пунктом

Специфічні умови експлуатації електрообладнання дільниці шахти обумовлюють високу ймовірність пошкодження ізоляції, що при доторканні людини до струмопровідних елементів може викликати електротравму або смертельне електроураження.

На теперішній час для захисту людини від ураження струмом дільнична електромережа обладнується апаратом захисту від витоків струму на землю (типів АЗУР-4, АЗУР-5), які подають команду на централізоване відключення напруги живлення дільничної мережі в аварійній ситуації. Однак після відключення електромережі дільниці від джерела живлення асинхронні двигуни споживачів переходять до режиму вибігу, генеруючи затухаючу ЕРС, яка підтримує струм у колі витoku, що знижує параметри електробезпеки. Тенденції підвищення напруги живлення дільничних електромереж до 3 (3,3) кВ [2], збільшення ємності ізоляції відносно землі кабельної мережі за рахунок підвищення довжини кабельних ліній підвищують вплив перехідного процесу вибігу двигунів на стан кола витoku струму на землю після спрацювання апарата захисту від витоків струму на землю. Таким чином, метою роботи є актуальна задача обґрунтування ефективності гасіння зворотної ЕРС двигунів як способу підвищення безпеки дільничного електротехнічного комплексу шахти.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розглянемо випадок виникнення однофазного витoku струму на землю в електротехнічному комплексі дільниці шахти за умови збереження ввімкненого стану комутаційних апаратів відгалужень під час вибігу двигунів (найбільш небезпечний випадок з точки зору електроураження). Діюче значення струму витoku від моменту t_1 виникнення витoku струму

на землю до моменту t_2 захисного відключення мережі обчислюється за залежністю [3], А:

$$I'_g = \frac{U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_g^2 + 1/(9\omega^2 C_n^2)}}, \quad (1)$$

де U_n – діюче значення лінійної напруги мережі, В; R_g – опір кола однофазного витoku струму на землю, Ом (згідно з ГОСТ 22929–78 при розрахунках приймається $R_g=1000$ Ом); ω – кутова частота напруги мережі, рад/с; C_n – ємність ізоляції фази мережі відносно землі, Ф/фаза.

За вказаний часовий інтервал через опір тіла людини проходить кількість електрики, що дорівнює (рис. 2), А·с:

$$Q_1 = I'_g(t_2 - t_1) = I'_g \Delta t_s, \quad (2)$$

де $\Delta t_s = t_2 - t_1$ – тривалість аварійного стану та відключення мережі апаратом захисту, с (згідно з ГОСТ 22929-78 не повинна перевищувати: для мереж напругою $U_n=660$ В – величини $\Delta t_s=0,1$ с; для мереж $U_n=1140$ В – величини $\Delta t_s=0,07$ с).

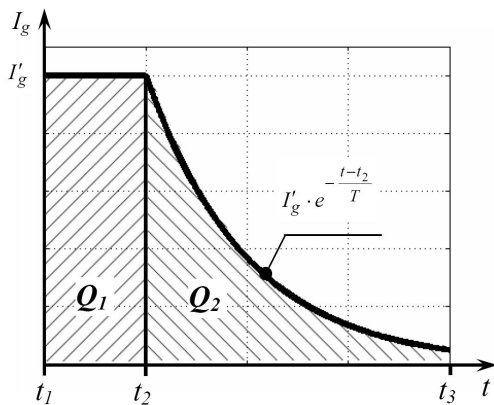


Рисунок 2 – Графік зміни діючого значення струму витoku на землю в дільничному електротехнічному комплексі

Експоненційно згасаюча зі сталою часу T зворотня ЕРС обертання електродвигунів від моменту t_2 до $t_3 \approx t_2 + 4T$ (зниження ЕРС обертання до 3 % від початкового значення) спричиняє протікання через опір тіла людини відповідної складової струму витoku (рис. 2), А:

$$I_{g2} \Big|_{t \geq t_2} = I'_g e^{-(t-t_2)/T}. \quad (3)$$

Кількість електрики, що проходить через опір тіла людини за часовий проміжок (t_2, t_3) , дорівнює, А·с:

$$Q_2 = \int_{t_2}^{t_3} I_{g2} dt = I'_g T [1 - e^{-(t_3-t_2)/T}]. \quad (4)$$

Оскільки $1 - e^{-(t_3-t_2)/T} = 0,982 \approx 1$, то

$$Q_2 = I'_g T. \quad (5)$$

Загальна кількість електрики, що проходить через опір людини за час аварійного процесу (t_1, t_3) ,

за умови ввімкненого стану комутаційних апаратів відгалужень протягом аварійного процесу, становить, А·с:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{U_n (\Delta t_s + T)}{\sqrt{3} \sqrt{R_g^2 + 1/(9\omega^2 C_n^2)}}. \quad (6)$$

Аналіз останнього виразу свідчить, що стала часу затування ЕРС вибігу двигунів впливає на величину Q такою ж мірою, як і час захисного відключення мережі. Підставляючи чисельні значення змінних до виразу (6), маємо, А·с:

$$Q_{660B} = \frac{660T + 66}{\sqrt{3 \cdot 10^6 + 1/(2,9 \cdot 10^5 C_n^2)}}; \quad (7)$$

$$Q_{1140B} = \frac{1140T + 79,8}{\sqrt{3 \cdot 10^6 + 1/(2,9 \cdot 10^5 C_n^2)}}. \quad (8)$$

Як свідчать залежності (7)–(8), загальна кількість електрики, що проходить через опір тіла людини за час аварійного процесу, при визначеному опорі кола витoku та тривалості захисного відключення мережі на обумовлених стандартом рівнях залежить лінійно від сталої часу затування зворотньої ЕРС двигунів T та нелінійно від ємності ізоляції мережі C_n (рис. 3). Криві, що відповідають нульовій сталій часу $T=0$, характеризують стан системи за умови примусового гасіння ЕРС вибігу двигунів після захисного відключення мережі. Для всіх рівнів напруги мережі (660 В, 1140 В) при зміні ємності ізоляції фази мережі від 0,1 до 3 мкФ/фаза згадані криві знаходяться нижче граничного рівня (50 мА·с) загальної кількості електрики, яка може проходити через опір тіла людини, не завдаючи шкоди здоров'ю.

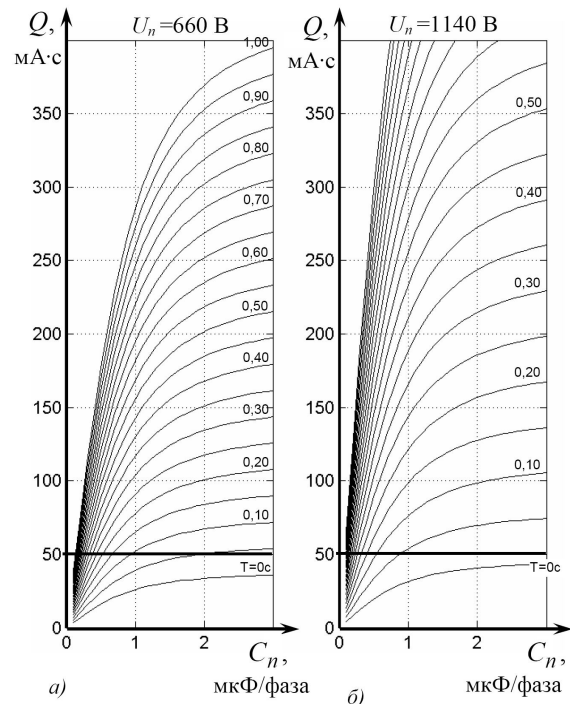


Рисунок 3 – Залежність Q від ємності C_n ізоляції фази мережі та сталої часу T затування ЕРС вибігу асинхронних двигунів: а – для мережі напругою $U_n=660$ В; б – $U_n=1140$ В

Це доводить ефективність застосування примусового гасіння ЕРС вибігу двигунів як способу підвищення безпеки стану електротехнічного комплексу дільниці шахти, що може бути виконано шляхом закорочення трьох фаз кожного з відгалужень мережі в найкоротший термін після відключення групового силового комутаційного апарата. Таке закорочення може бути здійснено в місці під'єднання гнучкого кабеля до комутаційного апарата відгалуження або до затискачів статора двигуна за допомогою швидкодіючого трифазного закорочувача. Спрацювання останнього після захисного відключення мережі забезпечує наближення до нуля напруги в кожному відгалуженні та загальній частині мережі, що істотно знижує складову струму витоку на землю, яка обумовлена ЕРС вибігу двигунів.

ВИСНОВКИ. Перехідні процеси в шахтному електротехнічному комплексі після вимкнення напруги живлення суттєво впливають на стан кола витоку струму на землю. В ході досліджень отримано аналітичні залежності, що дозволяють оцінити загальну кількість електрики, яка проходить через опір людини за час аварійного процесу. Застосування примусового гасіння ЕРС вибігу двигунів підвищує безпеку експлуатації електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти.

RATIONALE FOR EFFICIENCY OF MOTORS STOPWAY EMF SUPPRESSION AS SAFETY OF SECTION ELECTROTECHNICAL COMPLEX INCREASING METHOD

K. Marenych, S. Vasylets

State Higher Educational Institution «Donetsk National Technical University»
vul. Artema, 58, Donetsk, 83001, Ukraine. E-mail: gea@dgtu.donetsk.ua

Transients at multimotor electrotechnical complexes of mines after power supply tripping in the presence of leakage current on the ground have an essential influence on safety factors, which is left out of account in existing current leakage protective devices. The analytic dependences total quantity of electricity, which leaks through human body during emergency process, on time constant of stopway electromotive force decreasing of consumers induction motors and insulation capacity of cable network were derived. The efficiency of motors stopway electromotive force forced suppression was proved for electrical safety increasing of electrotechnical complex of mine section.

Key words: mine section, electrotechnical complex, motor, voltage

REFERENCES

1. Dziuban V.S., Shyrnyn I.G., Vaneev B.N., Gostyshev V.M.; edited by B.N. Vaneev. *Handbook for powerman of coal mine*: in 2 vol. – Donetsk: ООО «Yugo-Vostok, Ltd», 2001. [in Russian]. – Vol. 1 – 447 p.; – Vol. 2 – 440 p.

2. Explosionproof electrical equipment and power-supply systems on voltage 3 (3,3) kV requirements / V.S. Dzyuban, N.M. Basov // *Explosion-proof electrical equipment: a collection of scientific. Ukr-NIIVE works*. – Donetsk: ООО «Yugo-Vostok, Ltd», 2009. – PP. 209–213. [in Russian]

У ході подальших досліджень доцільно уточнити розрахунки шляхом урахування самовільного відключення комутаційних апаратів (пускатрів) відгалужень при зниженні напруги в мережі під час вибігу двигунів та залежності опору тіла людини від напруги доторкання.

Матеріали статті можуть зацікавити науковців у галузі гірничої електротехніки та організації, що займаються проектуванням гірничого електрообладнання та засобів захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дзюбан В.С., Ширнин І.Г., Ванєєв Б.Н., Гостисhev В.М.; под ред. Б.Н. Ванєєва. *Справочник энергетика угольной шахты*: в 2 т. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2001. – Т. 1. – 447 с.; Т. 2. – 440 с.

2. Требования к взрывозащищенному электрооборудованию и системам электроснабжения горных машин на напряжение 3 (3,3) кВ / В.С. Дзюбан, Н.М. Басов // *Взрывозащищенное электрооборудование*: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2009. – С. 209–213.

3. Шкрабец Ф.П., Шидловская Н.А., Дзюбан В.С., Вареник Е.А. *Анализ параметров и процессов в шахтных электрических сетях*. – Днепропетровск: Нац. горный ун-т, 2003. – 151 с.

Стаття надійшла 11.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Сінчуком О.М.