

УДК 622.012.2:621.316

І.В. Ковальова (канд. техн. наук, старший викладач)
Донецький національний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОБІЧНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ ШАХТНОЇ ДІЛЬНИЧНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОНОМНИХ ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ АВАРІЙНОГО СТАНУ

Розроблений експериментальний стенд і експериментальний зразок автономного пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при пошкодженні його живлячого кабеля. Проаналізовані результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: експериментальний стенд, двобічне знеструмлення, адекватність математичної моделі, математичне очікування, автономні технічні засоби.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Експлуатація електромеханічного обладнання технологічних ділень гірничих підприємств визначається нестаціонарністю його місцезнаходження, що, у свою чергу, обумовлює необхідність застосування гнучких кабелів (ГК). У той же час, в умовах шахти має місце підвищена ймовірність механічного пошкодження таких кабелів, що являє собою причину найнебезпечніших аварійних станів електротехнічного комплексу (ЕТК) – коротких замикань (к.з.), та створює умови електроураження людини. Дія існуючих засобів максимального струмового захисту та засобів захисту від витoku струму на землю полягає у відокремленні місця ушкодження від джерела живлення з боку дільничної трансформаторної підстанції (ТП). Але захисна дія вказаних засобів не є достатньою, оскільки стан мережі дільничного ЕТК шахти після вимкнення напруги живлення певний час визначається параметрами зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів (АД) споживачів. Ця проблематика потребує окремого дослідження з метою створення автономних технічних засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів в разі виникнення аварійного стану шахтного дільничного електротехнічного комплексу. Їх застосування дозволить уникнути підтримки струму в колі короткого замикання після захисного відключення мережі, а також значно спростити структуру засобів захисту від

витоків струму на землю шляхом уникнення функції визначення і шунтування на землю пошкодженої фази.

Аналіз досліджень і публікацій. Комплексні дослідження з теорії функціонування шахтних дільничних електротехнічних комплексів, а також створення технічних засобів захисту при виникненні аварійних станів викладені у монографіях [1-3]. Головну увагу дослідники приділяють вивченню процесів, що супроводжують виникнення короткого замикання, витоку струму на землю та захисне відключення мережі від джерела живлення. Окрім того, в результаті проведених теоретичних досліджень була розроблена математична модель електротехнічного комплексу шахтної дільниці, що описує процеси в його структурних складових в момент виникнення та подальшого існування аварійних станів міжфазної провідності та витоку струму на землю з урахуванням впливу зворотних енергетичних потоків раніш ввімкнених асинхронних двигунів споживачів та параметрів кола пристрою їх відокремлення [4, 5]. Однак, для перевірки адекватності розробленої математичної моделі реальним процесам в ЕТК шахтної дільниці виникає необхідність у проведенні експериментальних досліджень.

Постановка задачі. Задачею експериментальних досліджень є експериментальна перевірка та визначення адекватності результатів, отриманих при проведенні теоретичних досліджень, а також дослідження можливостей автономного пристрою захисту щодо забезпечення прийнятних технічних показників усунення зворотного енергетичного потоку АД в разі виникнення аварійного стану в кабелі його живлення.

Викладення матеріалу та результати. На основі результатів та рекомендацій, отриманих при проведенні теоретичних досліджень, обґрунтована структура та виготовлений дослідницький експериментальний стенд і експериментальний зразок автономного пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при пошкодженні його живлячого кабеля, розміщений в лабораторії рудникового електрообладнання кафедри «Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». Цей пристрій має рудникове виконання і адаптований до застосування в умовах шахти.

На рис. 1 наведена принципова схема дослідницького стенду, розрахованого на номінальну лінійну напругу мережі $U_{л1} = 380$ В, що імітує функціонування дільничного електротехнічного комплексу на-

пругою $U_{л2} = 660$ В (режим нейтралі – ізольований). Силова частина експериментального стенда складається з: комутаційних апаратів $SF1$ (АЕ-2056-10 0-00УЗ.УХЛ4-А) та $SF2$ (Moeller AK51F PL4-C63/3); резисторів $R_A - R_C$ (МЛТ-1-1М±5%) та конденсаторів $C_A - C_C$ (МБГЧ-1 0,25мкФ±10%), які під'єднанні між фазами мережі та загальною шиною «штучна земля», імітуючи параметри ізоляції гнучкого кабелю дільничного ЕТК; комутаційного апарату $KM1$ (ПМА-3102 У4), який включає асинхронний двигун типу ВАО-51-4У2 потужністю 7,5 кВт; апарату захисту від витоків струму на землю типу АЗУР.1, вихідні ланцюги керування якого приєднані до незалежного розчеплювача PH (Moeller AK68B ZP-ASA/230) комутаційного апарату (автоматичного вимикача) $SF2$; експериментального зразку технічного засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна. Між фазою А та шиною «штучна земля» приєднане коло замикання фази на землю, яке складається з тумблера TB та магазину опорів $M.O$ (Р33 клас 0,2).

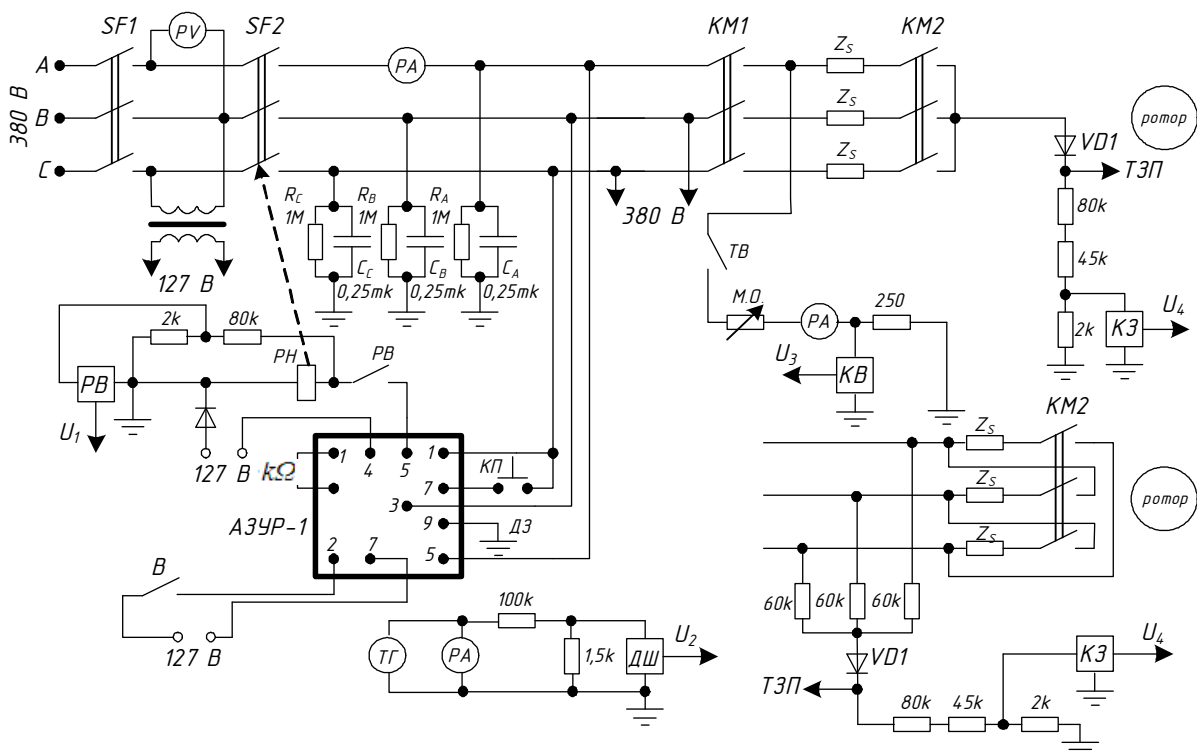


Рис. 1. Принципова схема дослідницького стенда

Схема експериментального зразка автономного пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна (рис. 2а) складається з комутаційного апарату $KM2$ (КРМ), що комутує схему його статора, загальна точка якого приєд-

нана до шини «штучна земля» через напівпровідниково-резистивну ланку $VD1-R$. Сигнал за напругою з цього ланцюга надходить до блоку визначення інформаційного параметру напівпровідниково-резистивної ланки (блоку захисного відключення $БЗВ$). Схема останнього виконана на основі адаптації схеми серійного блоку струмового захисту від перевантажень ТЗП [6] шляхом виключення з його складу каналів моделювання експонент нагріву двигуна споживаним струмом. Вихідні ланцюги БЗВ приєднані до схеми керування комутаційного апарату $КМ2$. Перемикач $В1$ призначений для вибору рівня напруги мережі (380/660 В).

Система реєстрації даних у комплексі з персональним комп'ютером (рис. 2б) дозволяє фіксувати осцилограми з вимірювальних датчиків напруги в пам'яті персонального комп'ютера.

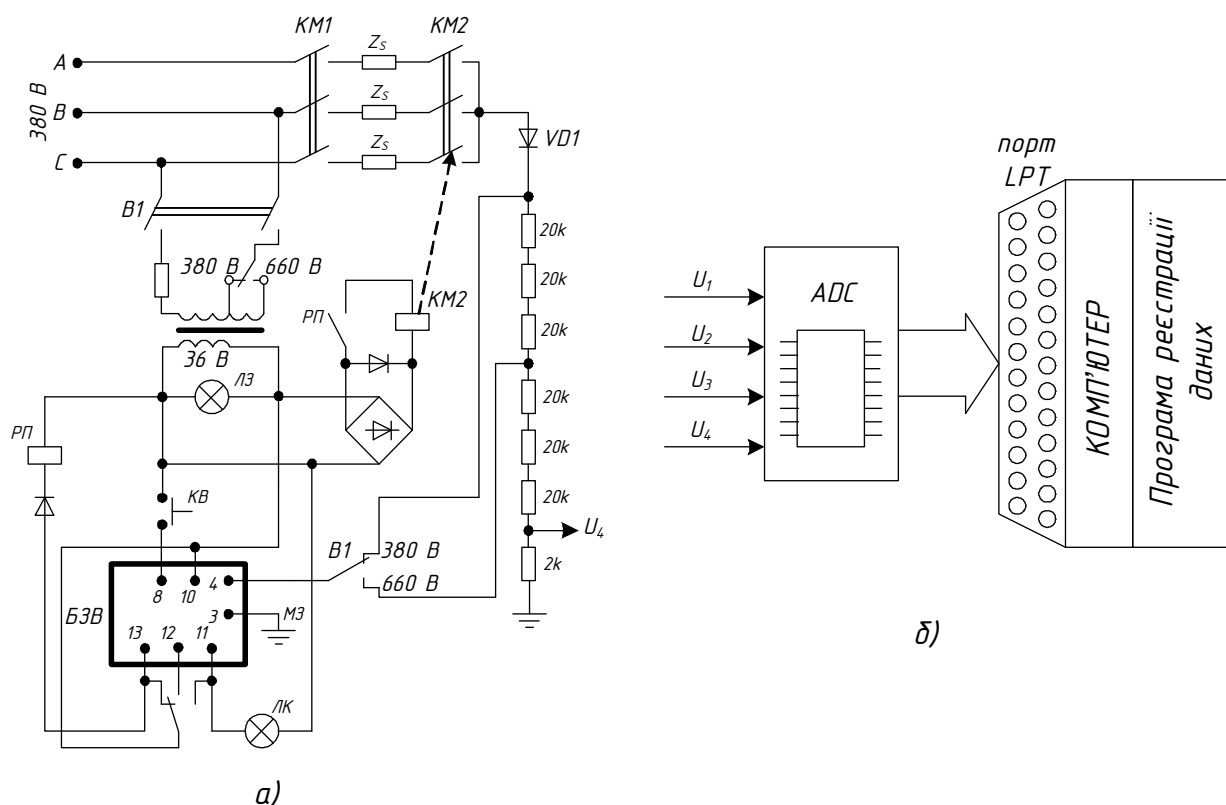


Рис. 2. Принципова схема експериментального зразка автономного пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку АД (а) та функціональна схема системи реєстрації даних (б)

Для виміру електричних параметрів в контрольних точках (сигнал про спрацьовування АЗУР-1 U_1 , сигнал від датчика швидкості U_2 , струм в аварійному ланцюзі U_3 , струм у вимірювальному ланцюзі

апарата захисту U_4) в складі дослідницького стенду передбачені дільники напруги, що зменшують амплітуду сигналу до величини, узгодженої з параметрами аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Мікроконтролер блоку АЦП по черзі опитує кожен з датчиків та передає зняті сигнали до паралельного порту персонального комп'ютера, де вони реєструються.

Окрім цього, в складі стенда передбачені вольтметр Э378, міліамперметр М906 та мікроамперметр Э513, призначені для візуального контролю за станом процесів в системі, а також тахогенератор постійного струму типу ЭТ-7/110 для виміру частоти обертання приводного асинхронного двигуна.

З використанням стенда описаної конфігурації проведені експерименти з дослідження параметрів мережі електроживлення асинхронного двигуна, якими супроводжуються процеси виникнення неприпустимо низького електричного опору між фазою мережі і землею, визначеного нормативними документами як опір тіла людини ($R_g = 1$ кОм), або опір спрацьовування апарата захисту від витоку струму на землю ($R_{cnp} = 10$ кОм/фазу при напрузі 380 В; $R_{cnp} = 30$ кОм/фазу при напрузі 660 В) [7]. Перелік проведених експериментів представлений в табл. 1.

Таблиця 1. Перелік експериментів, проведених на дослідницькому стенді (знаком «×» позначений ввімкнений стан комутаційного апарата)

№	Стан комутаційних апаратів			Режим функціонування дослідницького стенду
	<i>KM1</i>	<i>SF2</i>	<i>KM2</i>	
1	×	×	×	Виникнення аварійного стану (1кОм)
2	-	-	×	Виникнення аварійного стану (1кОм)
3	-	-	-	Виникнення аварійного стану (1кОм)
4	-	-	-	Виникнення аварійного стану (10кОм)

Програма виконання експериментів передбачала виконання наступної послідовності операцій: пуск двигуна; під'єднання кола виникнення неприпустимо низького електричного опору між фазою мережі і «штучною землею»; автоматичне вимкнення або примусове утримання у ввімкненому стані комутаційних апаратів; відключення асинхронного двигуна; після закінчення дослідів - переведення систе-

ми до початкового стану. Вказана послідовність дій супроводжувалась комп'ютерною реєстрацією сигналів з датчиків.

В ході досліджень аналізувались перехідні процеси при виникненні ланки підвищеної провідності між фазою мережі і землею. Після пуску двигуна, шляхом ввімкнення автоматичного вимикача $SF2$ та комутаційного апарата $KM1$, в момент часу t_1 створюється ланка підвищеної провідності на землю фази А відгалуження (замиканням тумблера TB).

Умови дослідження №1 передбачають примусове збереження ввімкненого стану всіх комутаційних апаратів ($KM1$, $KM2$, $SF2$) при виникненні витоку струму на землю ($R_g = 1$ кОм). Ввімкнений стан автоматичного вимикача $SF2$ забезпечується вимкненням тумблера B (рис. 1), ввімкнений стан контактора $KM2$ забезпечується роз'єднанням вимірювального ланцюга $BЗВ$.

Умови дослідження №2 передбачають примусове збереження ввімкненого стану комутаційного апарату $KM2$, що забезпечується роз'єднанням вимірювального ланцюга $BЗВ$, при виникненні витоку струму на землю ($R_g = 1$ кОм). За сигналом від апарату захисту від витоків струму на землю вимикається автоматичний вимикач $SF2$. Термін спрацьовування АЗ позначений як момент часу t_2 .

Умови дослідження №3 передбачають автоматичне вимкнення всіх комутаційних апаратів ($KM1$, $KM2$, $SF2$) при виникненні витоку струму на землю ($R_g = 1$ кОм). В момент часу t_2' за сигналом від блоку захисного відключення $BЗВ$ комутаційний апарат $KM2$ виконує роз'єднання статорної обмотки асинхронного двигуна, чим досягається усунення його енергетичного потоку від аварійної точки. В момент часу t_2 за сигналом від апарату захисту від витоків струму на землю вимикається автоматичний вимикач $SF2$.

В ході реалізації досліджень №1-3 за знятими з дільників напруги $KЗ$, KB (рис. 1) даними, отримані осцилограми струму в ланцюзі витоку на землю (рис. 3). Шляхом аналізу цих осцилограм для реалізацій досліджень №2-3 обчислена крива $q(t)$ накопичення кількості електрики через опір R_g кола витоку (рис. 3б,в). За такими кривими визначена загальна кількість електрики (Q) через опір R_g в кожній з реалізацій експериментів. Вибіркове математичне очікування загальної кількості електрики через опір R_g в умовах експериментів №2-3 становить, відповідно, $m(Q)=34,02$ мА·с та $m(Q)=25,4$ мА·с при стандартному відхиленні $s(Q)=1,01$ мА·с та $s(Q)=0,73$ мА·с.

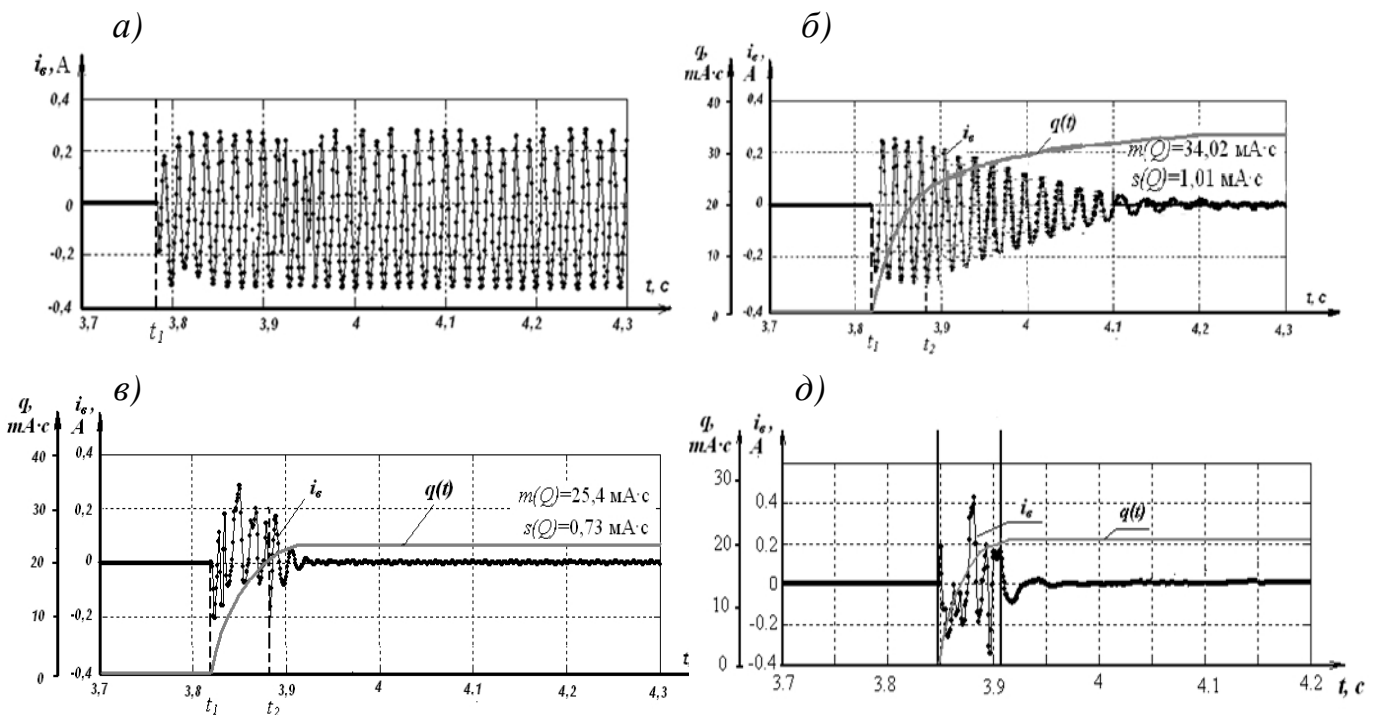


Рис. 3. Осцилограми миттєвих значень струму витoku на землю та крива накопичення кількості електрики з часом через опір R_e кола витoku: а) дослід №1; б) дослід №2; в) дослід №3; д) дослід №3 з підключенням штучної «зірки» резисторів

Для перевірки адекватності обґрунтованої раніш математичної моделі ЕТК результатам експериментальних досліджень, обраховані параметри розподілення величини Q , отримані шляхом комп'ютерного моделювання для умов досліджень №2-3. Отримані з використанням математичного моделювання середні значення кількості електрики Q відповідають експериментальним величинам у межах похибки 4%, що є припустимим для технічних розрахунків.

В ході дослідження №4 виконаний аналіз чутливості спрацьовування апарату захисту від витоків струму на землю та пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку АД при виникненні витoku струму на землю при зміні електричного опору між фазою мережі і землею. Зміна опору виконувалась із застосуванням магазину опорів $M.O.$ в межах, що відповідають нормативним (при лінійній напрузі живлення 380 В - $R_e = 10 \text{ кОм}$). Для кожного цього дослідження визначався опір R_e кола витoku, за наявності якого здійснювалось захисне двобічне знеструмлення аварійної точки. Вибіркові значення опору R_e кола витoku струму на землю мають наступні статистичні характеристики: $m(R_e) = 9,7 \text{ кОм}$; $s(R_e) = 0,98 \text{ кОм}$.

Висновки і напрями подальших досліджень. Таким чином, був розроблений експериментальний стенд і експериментальний зразок автономного пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при пошкодженні його живлячого кабеля, що дозволяє моделювати роботу ЕТК шахтної ділянки та проводити вимірювання необхідних величин.

Експериментальні дослідження підтвердили достовірність отриманих результатів теоретичних досліджень з припустимими значеннями відносних похибок розрахунків: відхилення розрахованих за математичною моделлю вибіркового математичних очікувань загальної кількості електрики Q через опір кола витoku струму на землю від емпіричних величин не перевищує 4%; визначена за експериментальними дослідженнями чуттєвість спрацьовування пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку АД при виникненні витoku струму на землю відповідає нормативним документам [7]; підтверджена відсутність впливу автономного засобу відокремлення зворотного потоку асинхронного двигуна на параметри функціонування дільничного захисту від витоків струму на землю; підтверджена спроможність автономного засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна в комплексі з дільничним апаратом захисту від витоків струму на землю (за умови застосування екранованих гнучких кабелів в електротехнічному комплексі дільниці шахти) – виконання функції двобічного знеструмлення місця пошкодження мережі електротехнічного комплексу.

Напрямом подальших досліджень слід вважати обґрунтування параметрів технічних засобів захисного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна, адаптованих до умов експлуатації існуючих і перспективних шахтних дільничних електричних мереж.

Список літератури

1. Риман Я.С. Защита подземных электрических установок угольных шахт / Я.С. Риман. – М.: Недра, 1977. – 206 с.
2. Дзюбан В.С. Взрывозащищенные аппараты низкого напряжения / В.С. Дзюбан. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 240 с.
3. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для вузів / Г.Г Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен; за ред. Академіка НАН України Г.Г.Півняка. – вид. 2-е, доправ. та доп. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 579 с.
4. Маренич К.М. Математичне моделювання короткого замикання в живлячому кабелі електротехнічного комплексу дільниці шахти / К.М. Маренич, І.В. Ковальова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: гірничо-електромеханічна. – 2011. – Вип. 21(189). – С. 126-136.

5. Маренич К.М. Удосконалення засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна / К.М. Маренич, І.В. Ковальова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2012. – Вип. 1-2. – С. 126-136.
6. Справочник энергетика угольной шахты / Дзюбан В.С., Ширнин И.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М.; под общ. ред. Ванеева Б.Н. – 2-е изд. – Донецк, ООО «Юго-Восток Ltd.», 2001. – Т1. – 447 с.
7. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия: ГОСТ 22929-78. С изменениями согласно ИУС 11-80, 7-81, 11-83. Соответствует СТ СЭВ 2309-80. – [Вступил в силу 01.01.79]. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 13 с. – (Межгосударственный стандарт).

Стаття надійшла до редакції 06.11.2012

И.В. Ковалёва. Донецкий национальный технический университет

Экспериментальное обоснование эффективности двустороннего обесточивания шахтной участковой сети на основе применения автономных средств определения ее аварийного состояния.

Разработан экспериментальный стенд и экспериментальный образец автономного устройства автоматического отделения обратного энергетического потока асинхронного двигателя при повреждении его питающего кабеля. Проанализированы результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: экспериментальный стенд, двустороннее обесточивание, адекватность математической модели, математическое ожидание, автономные технические средства.

I. Kovalyova. Donetsk National Technical University

Experimental Justification of the Efficiency of Two-End Power Supply Disconnection of a Mine Electrical Network Using Independent Means for Defining its Emergency State.

We developed an operative embodiment of an independent unit for separating the reverse power flow of an induction motor, when its supply cable is damaged. The obtained experimental results are analyzed.

Keywords: two-end power supply disconnection, mathematic model adequacy, mathematical expectation, independent units.