

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**

**КОВАЛЬОВА ІННА ВОЛОДИМИРІВНА**

УДК 622.012.2:621.316

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ШАХТНОЇ ДІЛЬНИЦІ З  
ФУНКЦІЄЮ ДВОБІЧНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ ПРИ ВИНИКНЕННІ АВАРІЙНОГО  
СТАНУ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Донецьк – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Донецьк

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Маренич Костянтин Миколайович**,  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
завідувач кафедри «Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М.  
Лейбова»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Дзюбан Віталій Серафимович**  
заступник директора Дирекції стратегії поставок  
електротехнічної продукції ПрАТ «Донецьксталь» –  
Металургійний завод», м. Донецьк;

кандидат технічних наук, доцент  
**Жарков Віктор Якович**  
Таврійський державний агротехнологічний університет,  
доцент кафедри «Автоматизований електропривод»,  
м. Мелітополь.

Захист відбудеться «26» квітня 2012 р. о 13<sup>15</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д11.052.02 в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, VIII навчальний корпус, ауд. 8.805.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II навчальний корпус).

Автореферат розісланий «23» березня 2012 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
Д11.052.02, к.т.н., доц.

А.М. Ларін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Експлуатація електромеханічного обладнання технологічних дільниць гірничих підприємств визначається нестационарністю його місцезнаходження, що, у свою чергу, обумовлює необхідність застосування гнучких кабелів. 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 полягає у відокремленні місця виникнення к.з. від джерела живлення з боку дільничної трансформаторної підстанції. Захисна дія засобів захисту від витоків струму на землю також полягає у відокремленні енергетичного потоку підстанції від мережі дільничного електротехнічного комплексу в разі виникнення ланки завеликої провідності між фазою і землею. Але захисна дія вказаних засобів не є достатньою, оскільки стан мережі дільничного електротехнічного комплексу шахти після вимкнення напруги живлення певний час визначатиметься параметрами зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів 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.

Вагомий внесок у розвиток теорії функціонування шахтних дільничних електротехнічних комплексів та створення технічних засобів захисту при виникненні аварійних станів внесли Р.М. Лейбов, С.А. Волотковський, В.С. Дзюбан, А.К. Шидловський, Г.Г. Півняк, В.П. Колосюк, Н.Ф. Шишкін, В.Ф. Сивокобиленко, Ф.П. Шкрабець, Я.С. Римап, Є.О. Вареник та багато інших вчених, а також наукові колективи ІЕД НАН України, УкрНДІВЕ, МакНДІ, НГУ, ІГС ім. А.А. Скочинського, ДонНТУ, МГІ, ДонВугІ та ін. Головну увагу дослідники приділяють вивченню процесів, що супроводжують виникнення короткого замикання, витоків струму на землю та захисне відключення мережі від джерела живлення. Достатньою мірою вивчено перебіг відповідного аварійного процесу від моменту його виникнення до моменту захисного відключення мережі з боку джерела живлення. В той же час, висвітлення у науковій літературі стану електротехнічного комплексу дільниці шахти, який перебуває під дією зворотних енергетичних потоків після відключення напруги живлення, є не достатнім для створення технічних засобів їх відокремлення в разі виникнення аварійного стану дільничної мережі. Однак, враховуючи на тенденцію щодо підвищення потужностей електроспоживачів гірничого підприємства постає актуальним двобічне знеструмлення місця пошкодження елемента електротехнічного комплексу шахтної дільниці.

Таким чином, актуальною є задача підвищення ефективності виконання функції максимального струмового захисту і спрощення структури засобів захисту від витоків струму на землю в електротехнічному комплексі шахтної дільниці на основі наукового обґрунтування параметрів і структури автономних технічних засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота відповідає науковому напрямку діяльності кафедри "Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова" ДонНТУ. Автор приймала безпосередню участь у виконанні науково-дослідницьких державних тем № Н 8-04 "Наукове обґрунтування раціональних способів експлуатації низьковольтих електротехнічних комплексів гірничих підприємств", № Н 4-09 «Наукове обґрунтування технічних рішень підвищення ефективності і безпеки експлуатації електротехнічних комплексів енергоємних виробництв», в якості виконавця.

**Мета і задачі досліджень.** Мета роботи – підвищення ефективності виконання функції максимального струмового захисту і спрощення структури засобів захисту від витоків струму на землю в електротехнічному комплексі шахтної дільниці на основі наукового обґрунтування параметрів і структури автономних технічних засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів.

**Задачі досліджень:**

- розробка математичної моделі дослідження процесів в шахтному дільничному електротехнічному комплексі на основі урахування станів і параметрів, обумовлених виникненням ланок підвищеної міжфазової провідності кабельної мережі та наявністю зворотних енергетичних потоків його асинхронних двигунів в процесі та після захисного відключення напруги живлення;
- обґрунтування інформаційного сигналу щодо виникнення аварійного стану в мережі живлення асинхронного двигуна, прийнятного як команда керування відокремленням зворотного енергетичного потоку за умови можливості його визначення без урахування стану захисних засобів і силових комутаційних апаратів з боку дільничної трансформаторної підстанції;
- обґрунтування структури технічних засобів двобічного знеструмлення місця пошкодження в мережі електротехнічного комплексу дільниці шахти і прискорення дії засобів його захисного знеструмлення;
- створення і дослідження експериментального зразку пристрою відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна в структурі фізичної моделі електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти та перевірка адекватності результатів теоретичного дослідження експериментальним даним.

*Об'єктом дослідження є електротехнічний комплекс шахтної технологічної дільниці.*

*Предмет дослідження – процеси в мережі живлення асинхронного двигуна при виникненні міжфазної провідності і кола витоку струму на землю.*

*Методи досліджень.* Теоретичні дослідження виконані з використанням загальної теорії електричних кіл, теорії електричних машин змінного струму, теорії перехідних процесів, метода просторового вектора і метода математичного моделювання. Аналіз адекватності результатів теоретичних досліджень експериментальним даним виконано із застосуванням сучасних цифрових засобів вимірювання, реєстрації та обробки даних, а також з використанням апарата математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- дістала подальшого розвитку математична модель електротехнічного комплексу шахтної дільниці, що базується на використанні диференціальних рівнянь для опису його структурних складових і відрізняється врахуванням: параметрів аварійних станів міжфазної провідності та витоку струму на землю у термін їх виникнення та подальшого існування; впливових факторів з боку зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів, включаючи їх стани в процесі та після захисного відключення дільничної мережі; параметрів ланцюгів пристроїв відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів;

- дістав подальшого розвитку метод управління захисним знеструмленням мережі шахтного дільничного електротехнічного комплексу, який відрізняється відокремленням зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна кожного споживача на основі визначення інформаційного сигналу у додатковому приєднанні між його обмоткою статора та заземленим корпусом шляхом створення у ньому однополярної провідності обмеженої тривалості внаслідок виникнення кола витоку струму на землю;

- визначена залежність величини кількості електрики в колі витоку струму на землю від параметрів провідності автономних пристроїв визначення пошкодження кабелів і швидкодії спрацьовування засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів з урахуванням тривалості захисних і струмообмежуючих функцій апарата захисту від витоків струму на землю.

**Практичне значення одержаних результатів полягає:**

- в обґрунтуванні напрямку удосконалення шахтного дільничного електротехнічного комплексу шляхом реалізації функції двобічного знеструмлення місця пошкодження кабельної мережі;

- у створенні автономних технічних засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів при виникненні аварійних станів у кабелях живлення;

- у визначенні умов застосування і обґрунтуванні структури пристроїв примусового відключення контакторів магнітних пускачів як додаткового захисного заходу при здійсненні відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів в разі виникнення витоку струму на землю, або міжфазних ланцюгів підвищеної провідності.

Наукові та практичні результати дисертаційного дослідження у вигляді наукових обґрунтувань і розробки технічних рішень прийняті Державним Макіївським науково-дослідним інститутом з безпеки робіт у гірничій промисловості (МакНДІ) для використання при розробці засобів захисного відключення шахтних дільничних електричних мереж та удосконаленні рудникового електрообладнання; Українським науково-дослідним і проектно-конструкторським інститутом вибухозахищеного електроустаткування (УкрНДІВЕ) для запровадження при проектуванні нових серій вибухозахищених комутаційних апаратів захисту та управління і спеціальних силових комутаційних засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів при виникненні аварійного стану шахтної дільничної мережі. Результати досліджень впроваджені в навчальний процес в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

**Особистий внесок здобувача.** Наукові положення, що містяться в дисертації, отримані здобувачем самостійно і полягають у вирішенні науково-практичної задачі підвищення ефективності виконання функції максимального струмового захисту і спрощення структури засобів захисту від витоків струму на землю в електротехнічному комплексі шахтної дільниці на основі наукового обґрунтування параметрів і структури автономних технічних засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів. Здобувач розробив математичну модель системи, виготовив дослідницький стенд.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали схвалення на Міжнародній науково-практичній конференції «Гірнична енергомеханіка та автоматика» (Донецьк, 2006р.), VIII та XII Міжнародних молодіжних наукових конференціях «Севергеоэкотех» (Ухта, 2007р., 2011р.), VII, VIII та XI Міжнародних науково-технічних конференціях аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих» (Донецьк, 2007р., 2008р., 2011р.), XXI Міжнародній науковій конференції «Математичні методи в техніці та технологіях» (Саратов, 2008р.), Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика 2008» (Одеса, 2008р.) Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми та шляхи їх вирішення в науці, транспорті, промисловості та освіті 2009» (Одеса, 2009р.), V науково-практичній конференції «Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених» (Донецьк, 2010р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Механіка рідини та газу» (Донецьк, 2010), I регіональній науково-практичній конференції «Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв» (Красноармійськ, 2011р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані у 26 друкованих працях, із них 11 – у фахових виданнях (2 – у наукових журналах, 10 – у збірниках наукових праць, 10 – у матеріалах конференцій, одержано 1 патент України на винахід, 3 патенти України на корисні моделі).

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел і 3 додатків. Дисертаційна робота містить 184 сторінки наскрізної нумерації, у тому числі – 100 рисунків, з них 6 рисунків на 5 окремих сторінках, 2 таблиці, список використаних джерел із 109 найменувань на 13 сторінках і 3 додатки на 16 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Стан питання. Мета і задачі досліджень» розглянуто особливості улаштування і експлуатації електротехнічних комплексів шахтних технологічних дільниць. Висвітлена діалектика створення і удосконалення технічних засобів, що забезпечують функціонування електротехнічного комплексу в специфічних умовах шахти, включаючи аналіз досліджень із підвищення ефективності функціонування силових комутаційних апаратів, засобів максимального струмового захисту і захисту від витоків струму на землю.

Проаналізовані особливості перехідних процесів у мережі живлення асинхронного двигуна при виникненні міжфазних замикань з урахуванням станів, у яких перебуватиме електротехнічний комплекс в процесі та після захисного відключення напруги живлення. В цьому контексті асинхронні двигуни споживачів у своїй сукупності представлені як джерела зворотних енергетичних потоків, що є факторами: впливу на параметри струму в точці підвищеної міжфазної провідності або в ланці витoku струму на землю; підтримання у ввімкненому стані контакторів пускачів після захисного відключення мережі шахтної дільниці.

Попередніми дослідженнями доведені спроможність асинхронних двигунів споживачів створювати небезпечні стани шахтного дільничного електротехнічного комплексу після захисного відключення його мережі від джерела електроживлення і доцільність вживання спеціальних технічних заходів відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів від місць ушкодження в мережі живлення в разі виникнення її відповідних аварійних станів.

В контексті дослідження процесів в мережі електроживлення асинхронного двигуна, якими супроводжуються виникнення міжфазного короткого замикання та утворення витoku струму на землю, актуальною визнана задача удосконалення математичної моделі дослідження процесів в шахтному дільничному електротехнічному комплексі з урахуванням особливостей улаштування і функціонування систем електропостачання дільниць шахт. Аналіз літературних джерел дозволив встановити, що дія існуючих засобів захисту від аварійних станів електротехнічного комплексу не розповсюджується на процеси після відключення напруги з боку трансформаторної підстанції живлення. Цим обумовлена актуальність створення автономних технічних засобів двобічного знеструмлення місця пошкодження мережі шахтного дільничного електротехнічного комплексу на основі відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів в разі виникнення відповідного аварійного стану. Остання функція має виконуватись автономно функціонуючими технічними засобами без ускладнення електротехнічного комплексу додатковими ланцюгами інформаційного зв'язку між розподільчим пунктом дільниці і засобами відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів.

Рішення цієї задачі має базуватися на науковому обґрунтуванні принципу, параметрів і структур технічних засобів захисного двобічного знеструмлення місця пошкодження мережі електротехнічного комплексу шахтної дільниці.

**Другий розділ** «Дослідження процесів в мережі живлення асинхронного двигуна і обґрунтування принципу двобічного відключення енергетичних потоків від місця пошкодження живлячого кабелю» присвячено дослідженню процесів, обумовлених впливом зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів на точку пошкодження ізоляції гнучкого кабелю силового відгалуження і обґрунтуванню принципу двобічного знеструмлення місця аварії. Обґрунтовано диференційні рівняння, що описують загальну частину мережі, відгалуження асинхронних двигунів споживачів, ланку підвищеної міжфазової провідності кабельної мережі.

Зокрема, процеси у загальній частині мережі електротехнічного комплексу, описуються рівняннями:

$$\bar{u} = (R_r + R_{SA} + R_{MK}) \bar{i}_\Sigma + (L_r + L_{MK}) \frac{d\bar{i}_\Sigma}{dt} + \bar{u}_1; \quad (1)$$

$$\bar{u} = u_\alpha + ju_\beta ; \quad (2)$$

$$u_\alpha = U_m \cos(\omega t); u_\beta = U_m \sin(\omega t) , \quad (3)$$

де  $\bar{u}_1$  – просторовий вектор напруги в мережі на входних клеммах комутаційних апаратів відгалужень;  $R_{tr}, L_{tr}$  – активний опір та індуктивність фази вторинної обмотки силового трансформатора;  $R_{SA}$  – активний опір фази автоматичного вимикача SA;  $R_{MK}, L_{MK}$  – активний опір та індуктивність магістрального кабелю;  $U_m$  – діюче значення фазної ЕРС, що наводиться у вторинній обмотці силового трансформатора.

Відгалуження асинхронного двигуна (рис.1) мережі відповідає системі рівнянь:

$$\begin{cases} \psi_{s\alpha} = \int (u_{s\alpha} - i_{1\alpha} R_s) dt + \psi_{s\alpha}(0); \\ \psi_{s\beta} = \int (u_{s\beta} - i_{1\beta} R_s) dt + \psi_{s\beta}(0); \\ \psi_{r\alpha} = \int (-i_{r\alpha} R_r - \omega \psi_{r\beta}) dt + \psi_{r\alpha}(0); \\ \psi_{r\beta} = \int (-i_{r\beta} R_r + \omega \psi_{r\alpha}) dt + \psi_{r\beta}(0); \\ \omega = \frac{1}{J} \int (M - M_c) dt + \omega(0) , \end{cases} \quad (4)$$

де  $\bar{\psi}_s = \psi_{s\alpha} + j\psi_{s\beta}$ ,  $\bar{\psi}_r = \psi_{r\alpha} + j\psi_{r\beta}$  – вектори потокозчеплення статорного кола та ротора, відповідно;  $R_s, R'_r$  – активні опори фази статора та ротора (зведеного до статора), відповідно;  $\bar{i}_1 = i_{1\alpha} + ji_{1\beta}$ ,  $\bar{i}_r = i_{r\alpha} + ji_{r\beta}$  – просторові вектори струму у статорному колі та струму ротора двигуна, відповідно.

Просторовий вектор напруги на входних клеммах комутаційних апаратів відгалужень визначається виразом:

$$\bar{u}_1 = R_{KM} \cdot \bar{i}_1 + R_k \cdot \bar{i}_1 + L_k \frac{d\bar{i}_1}{dt} + \bar{u}_s , \quad (5)$$

де  $R_k, L_k$  – активний опір та індуктивність гнучкого кабелю;  $R_{KM}$  – активний опір комутаційного апарату.

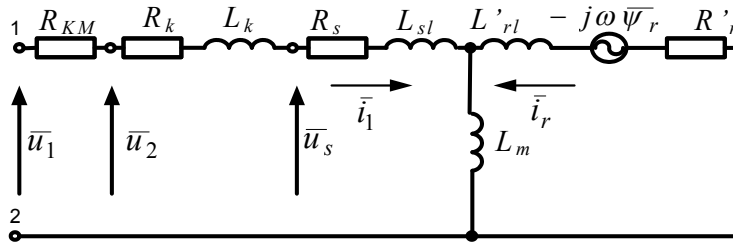


Рис. 1. Схема заміщення відгалуження асинхронного двигуна

На основі наведених залежностей побудована математична модель силової частини електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти, яка дозволяє досліджувати вплив асинхронних двигунів споживачів на виникнення аварійних станів підвищеної міжфазної провідності.

Згідно обґрунтованої математичної моделі досліджені процеси зміни струму в колі статора асинхронного двигуна за умови виникнення міжфазного короткого замикання у кабелі живлення і доведена функціональна обмеженість методу визначення пошкодження за виміром величини і швидкості наростання струму статора.

У подальшому обґрунтована властивість визначення наявності ланцюга підвищеної

міжфазної провідності або витоку струму на землю шляхом виміру інформаційного сигналу у штучно створеному ланцюзі між статором двигуна і його заземленим корпусом за умови застосування в складі мережі дільничного електротехнічного комплексу шахтних гнучких екранованих кабелів та підтримання режиму ізольованої нейтралі мережі у штатному режимі її експлуатації.

Обґрунтований спосіб двобічного знеструмлення місця пошкодження в кабелі електроживлення АД передбачає відокремлення (одночас із захисним відключенням мережі) зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна споживача на основі визначення інформаційного сигналу у додатковому приєднанні між його обмоткою статора та заземленим корпусом шляхом створення у ньому однополярної провідності обмеженої тривалості внаслідок виникнення кола витоку струму на землю. Проаналізовані запропоновані варіанти схемної реалізації цього способу, серед яких найбільш ефективним є створення штучної ланки визначення оперативного параметру (ЛВП) шляхом послідовного приєднання ємнісно-діодного ланцюга між „зіркою” резисторів в колі статора і заземленим металевим корпусом асинхронного двигуна та роз'єднання трифазної схеми статора за наявності імпульсу напруги обмеженої тривалості на резисторі  $R4$  (рис.2), достатнього для приведення в дію реагуючого органу (РО).

Це створює умови спрацьовування захисту при мінімізації тривалості провідного стану між мережею і землею в момент її ушкодження. Доведено, що за умови застосування дільничного апарата захисту від витоків струму на землю (або максимального струмового захисту з боку підстанції живлення) та екранованих шахтних гнучких кабелів в складі електротехнічного комплексу цей пристрій здатний відокремлювати зворотний енергетичний потік асинхронного двигуна від місця пошкодження в кабелі живлення водночас із захисним відключенням напруги мережі.



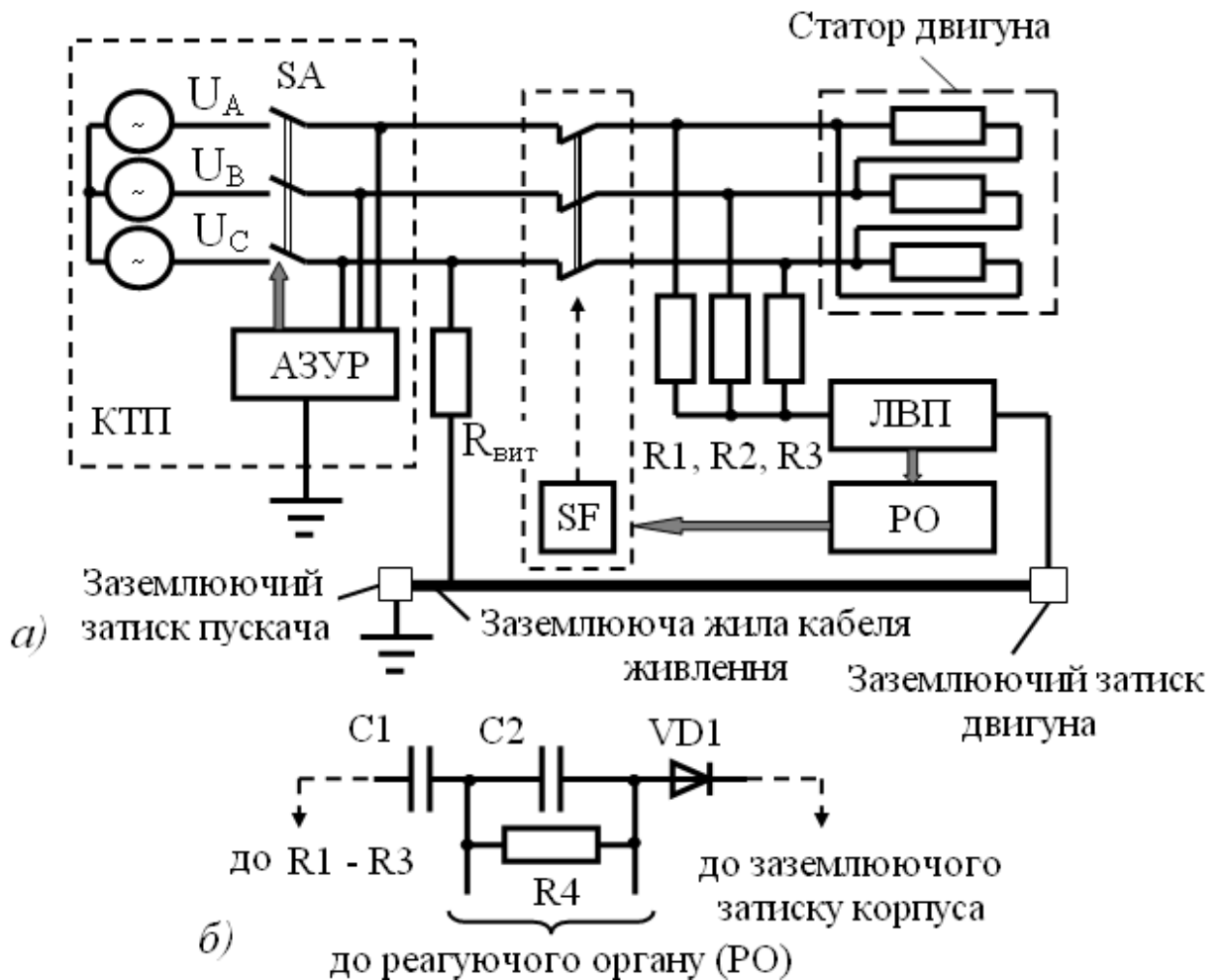


Рис. 2. Схема підключення засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна (а); варіант ланцюга визначення оперативного параметру засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку двигуна (б)

Дослідженнями доведена відсутність впливу засобу двобічного знеструмлення місця ушкодження кабелю живлення асинхронного двигуна на стійкість параметрів апарату захисту від витоків струму на землю, а також не спроможність процесів контакторної комутації викликати хибне спрацьовування засобу захисту.

Доведено, що наявність ланки підвищеної провідності між фазою мережі і землею (що є окремим випадком неприпустимого під час експлуатації стану електротехнічного комплексу дільниці шахти в разі виникнення витoku струму на землю) створює умови спрацьовування засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна відповідно до структури (рис.3) аналогічно стану виникнення короткого замикання в мережі живлення АД. Тому захисна дія запропонованого засобу може бути поширена у випадку створення ланки витoku струму на землю.

Струм  $i_s$  через опір  $R_{вит}$  кола витoku на землю визначається з системи рівнянь (6) з урахуванням вимірювального ланцюгу пристрою відокремлення енергетичного потоку АД (рис.3):

$$\begin{cases} i_1 = \frac{1}{R_{i3} C_{i3}} \int i_2 dt; \\ i_2 = \frac{1}{R_{\text{еум}}} (u_{\phi} - R_{i3} i_1) - i_1 - i_3 - i_4; \\ i_3 = \int i_n dt; \\ i_n = \frac{1}{L_{\text{оп}} C_{i3}} \int i_2 dt; \\ i_4 = \frac{1}{R_{\text{д}}} \left( L_{\text{оп}} i_n - \frac{1}{C_{i3}} \int i_4 dt \right); \\ i_{\text{е}} = i_1 + i_2 + i_3 + i_4, \end{cases} \quad (6)$$

де  $C_{i3} = 3C_{i3\phi}$ ;  $R_{i3} = R_{i3\phi}/3$  – сукупні ємність та активний опір ізоляції фаз кабелів, що впливають на стан кола виток;  $L_{\text{оп}}$  – індуктивність компенсуючого дроселя;  $u_{\phi}$  – фазна напруга в місці пошкодження ізоляції.

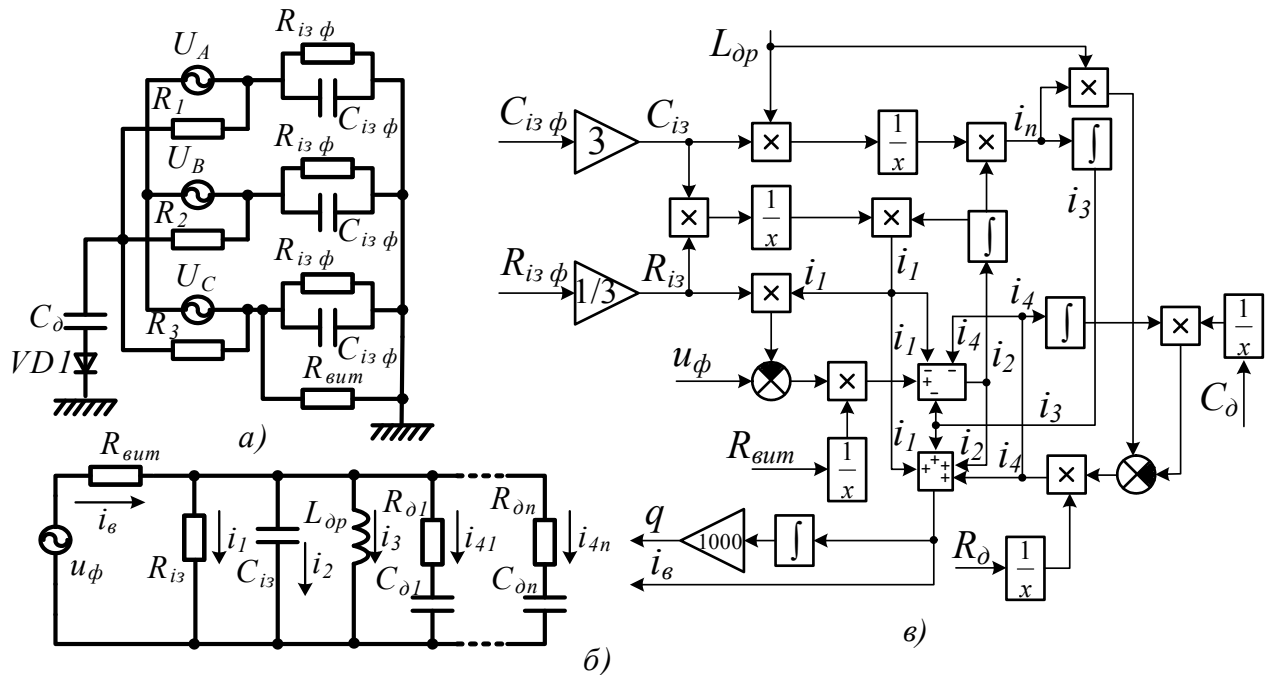


Рис. 3. Схема заміщення системи (а), еквівалентна схема заміщення (б) кола однофазного виток струму на землю з урахуванням наявності ЛВП і пристрою компенсації ємнісної складової струму виток та структурна схема відповідної математичної моделі (в)

Дослідженнями (згідно обґрунтованої математичної моделі) доведена можливість отримання ефекту суттєвого обмеження кількості електрики в ланцюзі виток струму на землю за умови захисного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна (рис. 4).

**Третій розділ** «Аналіз адекватності результатів теоретичних досліджень експериментальним даним» присвячено обґрунтуванню умов і порядку проведення експериментальних досліджень, обробці результатів і порівняння їх з даними моделювання. Відповідно до проблематики дисертаційних досліджень обґрунтована програма і методика виконання експериментів, виготовлений дослідницький лабораторний стенд і експериментальний зразок автономного пристрою для автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна в разі пошкодження в кабелі електроживлення. Цей пристрій має рудникове виконання і адаптований до застосування в умовах шахти.

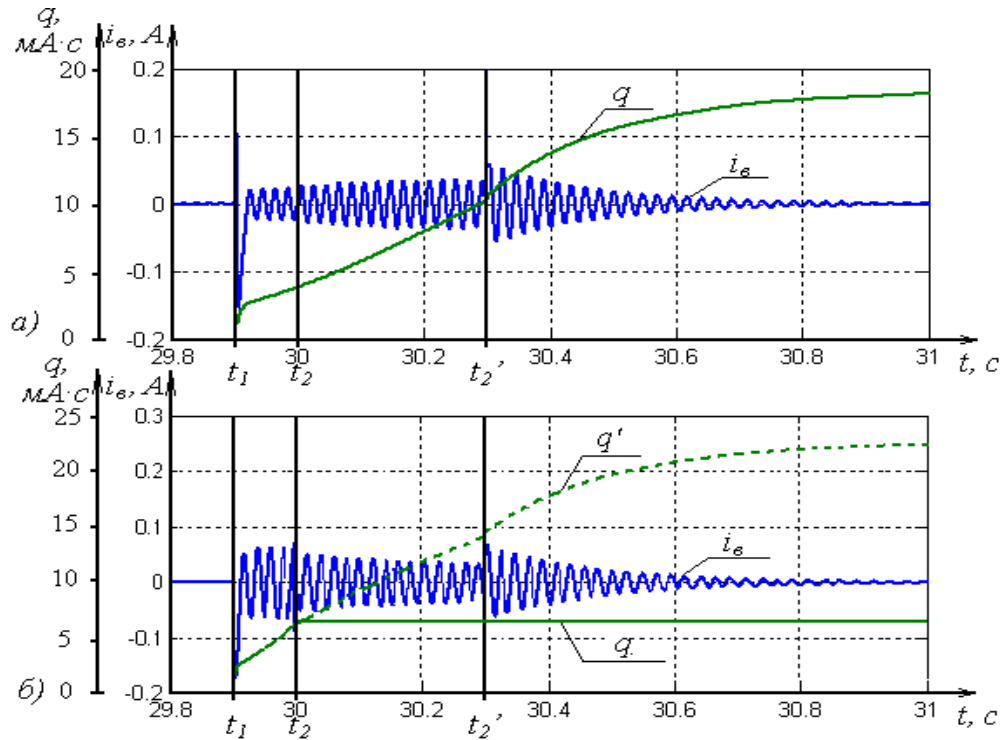


Рис. 4. Діаграми, що характеризують струм витoku на землю  $i_e$  та накопичення кількості електрики  $q$  через опір кола витoku в ЕТК ДШ напругою 660 В за наявності автокомпенсації ємнісної складової струму витoku (АРУЗ-1): а) без урахування наявності ЛВП в кожному приєднанні; б) з урахуванням наявності ЛВП в кожному приєднанні ( $q'$  – накопичення кількості електрики в разі неспрацьовування пристрою відокремлення зворотного енергетичного потоку АД)

Достовірність експериментального матеріалу забезпечувалася: топологічною ідентичністю дослідницького стенда типовому ЕТК дільниці шахти; вибором параметрів елементів стенда за критерієм подібності; використанням цифрових засобів вимірювання, реєстрації та обробки даних із задовільною швидкістю та роздільною здатністю.

Експериментальні дослідження на лабораторних стендах підтвердили достовірність отриманих результатів при математичному моделюванні у межах похибки 4%, що є припустимим для технічних розрахунків.

**Четвертий розділ** «Технічна реалізація результатів досліджень» присвячено обґрунтуванню технічних рішень, які у своїй сукупності обумовлюють запровадження структурних змін в шахтному дільничному електротехнічному комплексі стосовно застосування виконавчих засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів (з відповідними пристроями керування) безпосередньо в схемах силових приєднань їх статорів.

Обґрунтована доцільність запровадження примусового відключення контакторів пускачів в момент відключення напруги живлення трансформаторної підстанції дільниці як додатковий захисний захід при здійсненні відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів в разі виникнення витоку струму на землю, або міжфазних ланцюгів підвищеної провідності. Ця функція може бути реалізована за умови модернізування пускача, зокрема, підключення ввідного та відходячого кабелю транзитної магістралі до силових контактів приєднання в мереженому відділенні кабельного вводу пускача має бути здійснене послідовно через блоки датчиків струму  $ДС1$  і  $ДС2$  (рис.5).

При відключенні трансформаторної підстанції живлення зникає струм у ввідному кабелі пускача, в той час, як в силовому ланцюзі контактора ( $КМ$ ) та у відходячому кабелі магістралі буде протікати зрівнювальний струм, створений зворотними ЕРС двигунів спожива-

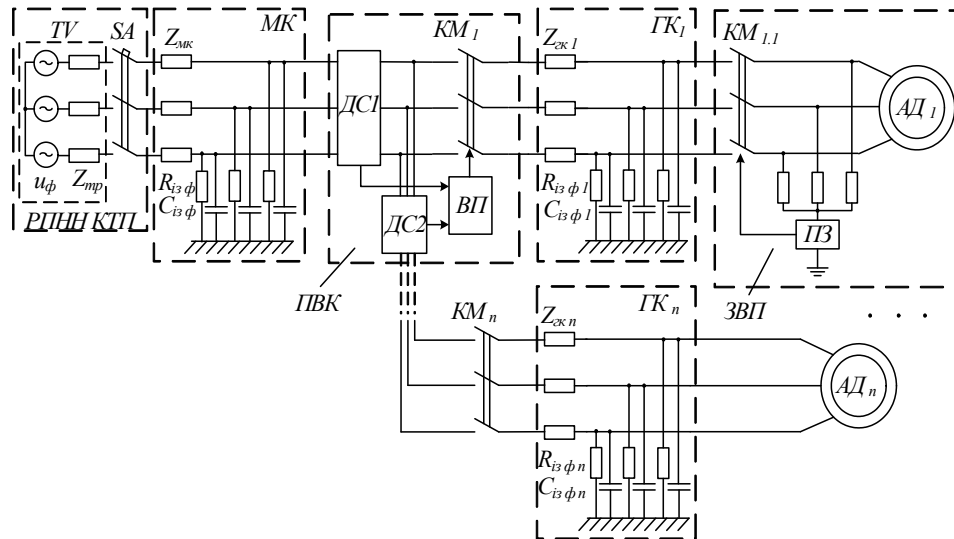


Рис. 5. Удосконалена структура електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти з урахуванням функції відокремлення зворотних енергетичних потоків (ЗВП) асинхронних двигунів та примусового відключення контакторів (ПМК) магнітних пускачів

чів, що дає можливість виконавчому пристрою (ВП) здійснити примусове відключення контактора пускача в момент відключення напруги мережі.

Таким чином, в результаті виконаних досліджень удосконалена структура електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти (рис.5), що відрізняється: запровадженням автономних засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків при виникненні аварійного стану (коротке замикання, наявність витоку струму на землю) в кабелях живлення асинхронних двигунів; запровадженням засобів примусового відключення контакторів пускачів у разі відключення напруги живлення з боку трансформаторної підстанції дільниці.

Обґрунтовані технічні рішення щодо удосконалення електротехнічного комплексу дільниці шахти захищені патентами України на винаходи, що підтверджує їх технічну новизну, а також, патентами України на корисні моделі.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності виконання функції максимального струмового захисту і спрощення структури засобів захисту від витоків струму на землю в електротехнічному комплексі шахтної дільниці на основі наукового обґрунтування параметрів і структури автономних технічних засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів. Розв'язання цієї задачі дозволяє підвищити безпеку експлуатації шахтного дільничного елек-

тротехнічного комплексу за рахунок скорочення терміну електроживлення при перебуванні його в аварійному стані шляхом запровадження двобічного знеструмлення електричної мережі дільниці

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. В результаті аналізу процесів, якими супроводжуються аварійні стани мережі шахтного дільничного електротехнічного комплексу в разі утворення ланцюгів підвищеної міжфазної провідності та витоків струму на землю встановлена спроможність зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів підтримувати небезпечні рівні струму в цій мережі в процесі та після її захисного відключення від трансформаторної підстанції живлення. Обґрунтована доцільність запровадження в структурі електроспоживачів дільниці технічних засобів автоматичного визначення небезпечних станів в кабелях електроживлення і захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів. З урахуванням захисного відключення дільничної мережі при виникненні її аварійного стану це дозволить реалізувати функцію її двобічного захисного знеструмлення.

2. Удосконалено математичну модель дільничного електротехнічного комплексу шахти, що базується на використанні диференційних рівнянь для опису асинхронних двигунів, кабельних ліній, ланок міжфазної підвищеної провідності та витоків струму на землю, яка доповнена врахуванням: параметрів аварійних станів міжфазної провідності та витоків струму на землю у термін їх виникнення та подальшого існування; впливових факторів з боку зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів, включаючи їх стани в процесі та після захисного відключення дільничної мережі; параметрів ланцюгів пристроїв відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів.

3. Встановлено, що прийнятним і достатнім заходом визначення аварійного стану в кабелі живлення асинхронного двигуна за умови запровадження захисних засобів в структурі електроспоживачів є визначення інформаційного сигналу в додатковому колі між статором двигуна і його заземленим металевим корпусом за умови:

- дотримання режиму ізольованої нейтралі мережі в штатному режимі її експлуатації;
- відсутності впливу запровадженого засобу визначення аварійного стану на роботу дільничного захисту від витоків струму на землю;
- обов'язкового застосування у якості живлячих в мережі шахтного дільничного електротехнічного комплексу – шахтних гнучких екранованих кабелів із заземлюючою жилою.

При дотриманні зазначених умов визначення аварійного стану в кабелі живлення асинхронного двигуна може бути реалізоване виміром струму в ланцюзі, утвореному зустрічно-послідовним з'єднанням стабілітрона і діода між „зіркою” обмоток статора двигуна і його заземленим корпусом. Поширення цієї функції на двигуни з конфігурацією трифазної схеми статора „трикутник” полягає у підключенні з'єднання стабілітрона і діода між заземленим корпусом двигуна і загальною точкою активних опорів, приєднаних до статора двигуна з боку силового вводу. З метою обмеження кількості електрики в ланцюзі витоків струму на землю в разі його виникнення при застосуванні зазначеної функції визначення аварійного стану дільничної електромережі доведена доцільність обмеження терміну провідного стану ланцюга визначення оперативного параметру між статором двигуна і його заземленим корпусом шляхом перетворення структури цього ланцюга, а саме, - заміни стабілітрона на послідовне приєднання до діода двох конденсаторів, паралельно до одного з яких має бути приєднаний резистор і контролюючий засіб. Запропоновані технічні рішення захищені патентами на винахід і корисні моделі.

У якості засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна в умовах шахти доцільно застосувати роз'єднання трифазної схеми статора, або її відключення від кабелю живлення.

4. Отримані параметри перехідних процесів, що обумовлені контакторною комутацією силових приєднань, з урахуванням параметрів довжин і перетинів застосованих гнучких кабелів підтверджують неспроможність їхнього впливу щодо утворення хибного спра-

цьовування засобу захисного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна.

5. Отриманими кількісними показниками зміни у часі кількості електрики у ланцюзі витоку струму на землю доведена можливість суттєвого обмеження цього параметру шляхом запровадження:

- засобів автоматичного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів від місця ушкодження в кабелі живлення;
- примусового відключення контакторів магнітних пускатрів як додаткового захисного технічного заходу в шахтних дільничних електричних мережах з напругою 660 В за відсутності функції шунтування на землю ланки підвищеної провідності між фазою мережі і землею.

6. Отримана закономірність зміни величини струму в елементах статора асинхронного двигуна при виникненні міжфазного дугоутворення у залежності від параметрів живлячого кабеля, включаючи відстань від місця дугоутворення, обґрунтований спосіб виявлення цього аварійного стану засобами виміру параметрів струму в ланцюзі статора двигуна і засіб відокремлення його зворотного енергетичного потоку.

7. Встановлена достатня відповідність результатів теоретичних досліджень експериментальним даним:

- підтверджена одночасність спрацьовування захисних засобів управління відокремленням енергетичних потоків з боку живлячої трансформаторної підстанції, та з боку асинхронного двигуна споживача в разі утворення ланцюга підвищеної провідності між фазою мережі шахтної дільниці і землею;
- підтверджена відсутність впливу процесів контакторної комутації на стан вимірювального ланцюга *БЗВ* автономного пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку АД, що унеможливує його хибні спрацьовування при ввімкненні та відключенні силового відгалуження дільничної електромережі;
- відхилення розрахованих за математичною моделлю, обґрунтованою в розділі 2, вибіркового математичного очікування загальної кількості електрики  $Q$  через опір кола витоку струму на землю від емпіричних величин не перевищує 4%;
- визначена за експериментальними дослідженнями чутливість спрацьовування пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку АД при виникненні витоку струму на землю відповідає нормативним документам;
- доведена можливість регулювання чутливості спрацьовування пристрою автоматичного відокремлення зворотного енергетичного потоку АД відповідно до величини опору в ланцюзі витоку струму на землю;

8. Удосконалена структура електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти, що відрізняється запровадженням: автономних засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків при виникненні міжфазних ланцюгів підвищеної провідності та витоків струму на землю в кабелях живлення асинхронних двигунів; засобів примусового відключення контакторів пускатрів при відключенні напруги з боку дільничної трансформаторної підстанції.

## ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Маренич К. Н. Обоснование структуры модели процесса короткого замыкания в низковольтной электросети участка шахты / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Наукові праці Донецького нац. техн. університету, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – Вип. 12(113). – С.179-185.

2. Маренич К. Н. Моделирование процесса короткого замыкания в низковольтном электротехническом комплексе участка шахты с учетом влияния электропотребителя / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Наукові праці Донецького нац. техн. університету, серія: „Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – Вип. 7(128). – С.146-149.

3. Маренич К. Н. Моделирование процесса короткого замыкания в электросети участка шахты после ее защитного отключения / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. трудов УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго–Восток, Лтд», 2008. – С. 231–235.
4. Маренич К. Н. О технических возможностях выявления начального этапа короткого замыкания в электросети участка шахты / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Праці Луганського відділення Міжнародної академії інформатизації. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010. – №2 (22). – С. 26-30.
5. Ковалёва И. В. Анализ факторов воздействия при дугообразованиях в контексте моделирования коммутационных переходных процессов в силовой цепи электротехнического комплекса участка шахты / И. В. Ковалёва, В. В. Соболев // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту, серія: „Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Вип. 19(171). – С.198-205.
6. Маренич К.М. Дослідження процесів у дільничній електромережі шахти при застосуванні засобу синхронного двобічного знеструмлення місця пошкодження кабелю / К.М. Маренич, І. В. Ковальова // Гірнична електромеханіка та автоматика: науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – Вип. 85. – С.3-11.
7. Маренич К. Н. Синхронное двустороннее обесточивание поврежденного участка кабеля шахтной участковой электросети / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Уголь Украины: научный журнал. – Киев, 2011. – Вып. №5. – С.53-54.
8. Маренич К.М. Математичне моделювання короткого замикання в живлячому кабелі електротехнічного комплексу дільниці шахти / К. М. Маренич, І. В. Ковальова // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 21(189). – С.126-136.
9. Ковальова І.В. Дослідження впливу комутаційних перехідних процесів на стійкість роботи засобу синхронного двобічного знеструмлення місця ушкодження кабелю в електромережі дільниці шахти / К. М. Маренич, І. В. Ковальова // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. трудов УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго–Восток, Лтд», 2011. – С. 201–211.
10. Ковальова І. В. Дослідження процесу формування зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при короткому замиканні в живлячому кабелі з урахуванням впливу параметрів електротехнічного комплексу / І. В. Ковальова // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту, серія: „Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 20(182). – С.35-39.
11. Маренич К. Н. Технические возможности автоматического отключения пускателя / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Уголь Украины: научный журнал. – Киев, 2011. – Вып. №10. – С.33-36.
12. Marenych K. Theoretical research into motor back EMF influence on emergency state in the electrotechnical complex of a mine section / K. Marenych, S. Vasylets, I. Kovalyova // Proceedings of Donetsk national technical university. – Donetsk: DonNTU, 2010. – P. 81–87.
13. Маренич К. Н. Обоснование информационного параметра функционирования устройства автоматического подавления ЭДС двигателей при аварийном отключении электросети / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // «Автоматика – 2008»: міжнар. конф. з авт. управл., 23–26 вересня 2008р.: матеріали конф. – Одеса.: ОНМА, 2008. – С.352-354.
14. Ковалёва И. В. Обоснование значимых факторов процесса короткого замыкания в шахтной участковой электросети после защитного отключения / И. В. Ковалёва // Севергеоэко-2007: VIII междун. молодежная науч. конф., 21-23 марта 2007г.: материалы конф. – Ухта: УГТУ, 2007. – Ч. 1. – С.6-8.
15. Ковалёва И. В. Моделирование переходных процессов в асинхронных двигателях серии ЭКВ при возникновении короткого замыкания в питающем кабеле / И. В. Ковалёва //

Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих: VII міжнар. наук.-техн. конф., 14-16 квітня 2008р.: зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – С.186–189.

16. Маренич К. Н. Моделирование процесса короткого замыкания в электротехническом комплексе участка шахты во время выбега электродвигателя потребителя / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Математические методы в технике и технологиях: XXI междунар. науч. конф., 27-30 мая 2008г.: сб. трудов. – Саратов: СГТУ, 2008. – С. 150-153.

17. Ковалёва И. В. Обоснование способа автоматического подавления обратных ЭДС асинхронных двигателей при возникновении к.з. в питающей кабеле / И. В. Ковалёва // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2009: междунар. науч.-практ. конф.: сб. науч. трудов. – Одесса: Черноморье, 2009. – С. 21–23.

18. Ковалёва И. В. Обоснование способа выявления начального этапа короткого замыкания в электросети участка шахты / И. В. Ковалёва // «Донбас-2020: перспективы розвитку очами молодих вчених»: V наук.-практ. конф., 25-27 травня 2010р.: зб. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 278-283.

19. Ковалёва И.В. Особенности учёта работы контактора пускателя при моделировании коммутационных процессов в электротехническом комплексе участка шахты / И.В. Ковалёва // Механика жидкости и газа: IX междунар. науч.-техн. конф., 1-3 декабря 2010г.: сб. трудов. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С.48-50.

20. Ковалёва И. В. Автоматическое двустороннее синхронное обесточивание места короткого замыкания в кабеле – новое решение задачи повышения эффективности максимальной токовой защиты рудничного электрооборудования / И. В. Ковалёва // Севергеоэко-тех-2011: XII междунар. молод. науч. конф., 16-18 марта 2011г.: материалы конф. – Ухта: УГТУ, 2011. – Ч. 1. – С.53-56.

21. Маренич К.М. Технічна реалізація принципу автоматичного синхронного двобічного знеструмлення місця короткого замикання в кабелі шахтної дільничної електромережі / К.М. Маренич, І. В. Ковальова // Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв: I регіон. наук.-практ. конф., 28 квітня 2011р.: зб. матеріалів. – Красноармійськ, 2011. – С. 90-92.

22. Ковальова І. В. Технічна реалізація способу синхронного двобічного знеструмлення місця пошкодження кабеля електроживлення асинхронного двигуна в мережі шахтної дільниці / І. В. Ковальова // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих: XI міжнар. наук.-техн. конф., 17-20 травня 2011р.: зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С.62-64.

23. Патент на винахід 95757 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/10 H02H 7/08 Пристрій захисту від впливу асинхронного двигуна на точку короткого замикання в кабелі живлення / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, І. О. Лагута, С.В. Василець. – а 2010 13816. Заявл. 22.11.2010. Опубл 25.08.2011. Бюл. №16.

24. Патент на корисну модель 48268 (UA), МПК (2009) H02H 3/00 Спосіб захисту від струмів короткого замикання в мережі живлення асинхронного двигуна / К.М. Маренич, І. В. Ковальова. – и 2009 09863. Заявл. 28.09.2009. Опубл 10.03.2010. Бюл. №5.

25. Патент на корисну модель 50773 (UA), МПК (2009) H02H 3/00 Спосіб захисту від струмів короткого замикання в мережі живлення асинхронного двигуна / К.М. Маренич, І. В. Ковальова. и 2009 13013. Заявл. 14.12.2009. Опубл 25.06.2010. Бюл. №12.

26. Патент на корисну модель 62399 (UA), МПК (2011.01) H02H 3/00 Спосіб струмового захисту в мережі живлення асинхронного двигуна в складі гірничого дільничного електротехнічного комплексу / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, С.В. Василець. – и 2011 01693. Заявл. 14.02.2011. Опубл 25.08.2011. Бюл. №16.

В публікаціях, що написані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: [1] – обґрунтування структури моделі дослідження міжфазного короткого замикання; [2, 5, 8] – моделювання міжфазного короткого замикання; [4] – обґрунтування мате-



матичної моделі приєднання з асинхронним двигуном в стані міжфазного короткого замикання; [7, 14] – встановлення характеру зміни струму в статорному колі при виникненні трифазного короткого замикання; [10] – оцінка параметрів, що супроводжують початковий етап міжфазного короткого замикання; [11] – обґрунтування діючих факторів моделі дослідження електрохімічних процесів при комутаційних дугоутвореннях; [15] – моделювання перехідних процесів в ЕТК ДШ з функцією двобічного знеструмлення; [16] – математичне моделювання перехідних процесів при виникненні міжфазних коротких замикань; [17] – дослідження факторів впливу на стійкість роботи засобу двобічного знеструмлення місця ушкодження кабелю; [20] – обґрунтування технічних рішень реалізації способу двобічного знеструмлення місця пошкодження кабелю електроживлення АД; [22] - моделювання перехідних процесів в ЕТК ДШ при виникненні витоку струму на землю; [23, 26] – запропоновано виконувати двобічне знеструмлення місця пошкодження живлячого кабелю АД; [25] – обґрунтовано спосіб примусового усунення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна; [25] – обґрунтовано спосіб підвищення швидкодії визначення початку процесу короткого замикання.

Вказані публікації в повній мірі відображають основний зміст дисертації та її наукові положення.

## АНОТАЦІЇ

### **Ковальова І.В. Електротехнічний комплекс шахтної дільниці з функцією двобічного знеструмлення при виникненні аварійного стану. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2012.

В дисертаційній роботі дістала подальшого розвитку математична модель електротехнічного комплексу шахтної дільниці, що базується на використанні диференційних рівнянь для опису його структурних складових і відрізняється врахуванням: параметрів аварійних станів міжфазної провідності та витоку струму на землю; впливових факторів з боку зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів, включаючи їх стани в процесі та після захисного відключення дільничної мережі; параметрів ланцюгів пристроїв відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів. Дістав розвитку метод управління знеструмленням шахтного дільничного електротехнічного комплексу, який відрізняється відокремленням зворотного енергетичного потоку кожного асинхронного двигуна на основі визначення інформаційного сигналу у додатковому приєднанні між його обмоткою статора та заземленим корпусом шляхом створення у ньому однополярної провідності обмеженої тривалості внаслідок виникнення витоку струму на землю. Визначена залежність величини кількості електрики в колі витоку струму на землю від параметрів провідності автономних пристроїв визначення пошкодження кабелів і швидкодії спрацьовування засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів з урахуванням тривалості захисних і струмообмежуючих функцій апарата захисту від витоків струму на землю.

**Ключові слова:** електротехнічний комплекс, шахта, аварійний стан, диференційні рівняння, асинхронні двигуни, захисне знеструмлення, інформаційний сигнал.

### **Ковалёва И.В. Электротехнический комплекс шахтного участка с функцией двустороннего обесточивания при возникновении аварийного состояния. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2012.

В диссертационной работе решена научно-практическая задача повышения эффективности выполнения функции максимальной токовой защиты и упрощения структуры средств

защиты от утечек тока на землю в электротехническом комплексе шахтного участка на основе научного обоснования параметров и структуры автономных технических средств защитного отключения обратных энергетических потоков асинхронных двигателей потребителей. В частности, получила дальнейшее развитие математическая модель электротехнического комплекса технологического участка шахты, основанная на использовании дифференциальных уравнений для описания его структурных элементов, которая отличается учетом: параметров аварийных состояний междуфазной проводимости и утечки тока на землю во время их возникновения и дальнейшего существования; влияющих факторов со стороны энергетических потоков асинхронных двигателей потребителей, включая их состояние в процессе и после защитного отключения электросети участка шахты; параметров цепей устройств защитного отключения обратных энергетических потоков асинхронных двигателей потребителей.

Для анализа переходных процессов в электротехническом комплексе участка шахты согласно обоснованной математической модели осуществлено моделирование с учетом параметров типовых систем напряжением 660В и 1140В. В результате анализа процессов, сопровождающих аварийные состояния участковой электросети в случае возникновения цепей повышенной междуфазной проводимости и утечки тока на землю установлена способность обратных энергетических потоков асинхронных двигателей потребителей поддерживать опасные величины токов в этой сети в процессе и после защитного отключения питающей трансформаторной подстанции. Обоснована целесообразность внедрения в структуре электропотребителей участка технических средств автоматического выявления опасных состояний в питающих кабелях и защитного отключения обратных энергетических потоков асинхронных двигателей.

Получил дальнейшее развитие метод управления защитным обесточиванием сети шахтного участкового электротехнического комплекса, который отличается отключением обратного энергетического потока асинхронного двигателя каждого потребителя на основе определения информационного сигнала в дополнительном присоединении между его обмоткой статора и заземленным корпусом путем создания в нем однополярной проводимости ограниченной длительности вследствие возникновения цепи утечки тока на землю.

Подтверждена возможность существенного ограничения количества электричества в цепи утечки тока на землю путем внедрения средств автоматического отключения обратных энергетических потоков асинхронных двигателей от места повреждения в питающем кабеле и принудительного отключения контакторов магнитных пускателей как дополнительного защитного технического средства в шахтных участковых электрических сетях напряжением 660 В при отсутствии функции шунтирования на землю поврежденной фазы сети.

Определена зависимость величины количества электричества в цепи утечки тока на землю от параметров проводимости автономных средств определения повреждения кабеля и скорости срабатывания средств защитного отключения обратных энергетических потоков асинхронных двигателей потребителей с учетом длительности защитных и токоограничивающих функций аппарата защиты от утечек тока на землю.

Проверка достоверности полученных теоретических данных осуществлялась проведением экспериментальных исследований. Достоверность экспериментального материала обеспечивалась: топологической идентичностью исследовательского стенда типичному ЭТК участка шахты; выбором параметров элементов стенда по критерию подобия; использованием цифровых средств измерения, регистрации и обработки данных с удовлетворительными быстродействием и разрешением. Экспериментальные исследования на лабораторных стендах подтвердили достоверность полученных результатов при математическом моделировании в пределах ошибки 4%, что является допустимым для технических расчетов.

Усовершенствована структура электротехнического комплекса технологического участка шахты, отличающаяся внедрением: автономных средств отключения обратных энергетических потоков при возникновении междуфазных цепей повышенной проводимости и утечек тока на землю в питающих кабелях асинхронных двигателей; средств принудительного

отключения контакторов магнитных пускателей при отключении питающего напряжения со стороны трансформаторной подстанции.

**Ключевые слова:** электротехнический комплекс, шахта, аварийное состояние, дифференциальные уравнения, асинхронные двигатели, защитное обесточивание, информационный сигнал.

**Kovalyova I.V. Engine electrotechnical complex of mine with function of two-end power supply disconnection at emergency condition. – Manuscript.**

Thesis for a Candidate of technical science on speciality 05.09.03 - electrotechnical complexes and systems. - Donetsk National Technical University, Donetsk, 2012.

This thesis is concerned with further development and improvement of mathematical model of an engine electrotechnical complex of mine, based on use of the differential equations describing its structural elements and being distinctive from others by covering behavior of variables and other important factors, as follows: variable referring to emergency conditions caused by phase-to-phase short circuits and earth leakages; factors causing back-to-network power generation produced by induction motors, including its conditions prior to and after the protective disconnection of power supply de-energizing has occurred; as well as variables of the protection circuits intended for breaking possible distribution circuits for the induction-motor generated power. New method of de-energizing control of the mine section electrotechnical complex distinctive with ability to interrupt to power generated by each induction motors as a result of an appropriate alarm signal occurrence at the point of connection between the stator's winding and its normally earthed body by creating there a one-pole conductivity of a limited time-length, caused by the earth leakages involved. Correlation of amount of electricity within the earth-leakage circuit with the conductivity of independent means of cable damage indication, and with the switching rate of protection devices intended for interruption of circuits of motor-generated power supply with consider the durability of protection and current-control functions of the earth-leakage protection device has been taken into account.

**Key words:** Electrotechnical complex, mine, emergency conditions, differential equations, induction motors, emergency de-energizing, alarm signal.