

М.А. ЛЕЛЮК, В.В. ЛИТВИНЕНКО, А.А. ПОЗНЯК

АНАЛІЗ РОБОТИ ПРИВІДНИХ МЕХАНІЗМІВ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ

Проведено аналіз конструкцій та принципу роботи привідних механізмів сучасних вакуумних вимикачів середньої напруги. У відомих конструкціях вакуумних вимикачів використовуються два типи приводів: пружинно-моторні та електромагнітні. В свою чергу, електромагнітні приводи в залежності від використовуваного типу електромагніту можуть бути моностабільні неполяризовані і поляризовані та бістабільні поляризовані. Пружинно-моторні привідні механізми вимикачів складаються з привідного валу, пружин увімкнення та вимкнення, механізму зводу пружини увімкнення, механічного пристрою ручного спрацьовування, електромагнітів увімкнення та вимкнення для оперативного електричного спрацьовування. Електромагнітні привідні механізми складаються з електромагніту та в залежності від його конструкції можуть бути з поворотною пружиною або без неї. В конструкціях електромагнітних привідних механізмів з поворотними пружинами застосовуються моностабільні поляризовані електромагніти. Особливість конструкцій електромагнітних привідних механізмів з бістабільними електромагнітами полягає у відсутності поворотної пружини та наявності окремих котушок увімкнення та вимкнення. В результаті проведеного аналізу виявлено недоліки кожного з розглянутих типів приводів. Найбільшу цікавість для подальших досліджень представляють електромагнітні привідні механізми з моностабільними поляризованими електромагнітами з поворотною пружиною, що мають тільки одну котушку увімкнення та за рахунок цього зменшують габаритні розміри приводу.

Ключові слова: автоматичні вимикачі середньої напруги, пружинно-моторний привідний механізм, електромагнітний привідний механізм, постійні магніти.

Н.А. ЛЕЛЮК, В.В. ЛИТВИНЕНКО, А.А. ПОЗНЯК

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Проведен анализ конструкций и принципа работы приводных механизмов современных вакуумных выключателей среднего напряжения. В известных конструкциях вакуумных выключателей используют два типа приводов: пружинно-моторные и электромагнитные. В свою очередь, электромагнитные приводы в зависимости от используемого типа электромагнита могут быть моностабильными неполяризованными и поляризованными, и бистабильными поляризованными. Пружинно-моторные приводные механизмы выключателей состоят из приводного вала, пружин включения и отключение, механизма взвода пружины включения, механического устройства ручного срабатывания, электромагнитов включения и отключения для оперативного электрического срабатывания. Электромагнитные приводные механизмы состоят из электромагнита и в зависимости от его конструкции могут быть с возвратной пружиной или без нее. В конструкциях электромагнитных приводных механизмов с возвратными пружинами применяются моностабильные поляризованные электромагниты. Особенность конструкций электромагнитных приводных механизмов с бистабильными электромагнитами заключается в отсутствии возвратной пружины и наличии отдельный катушек включения и отключения. В результате проведенного анализа определены недостатки каждого из рассмотренных типов приводов. Наибольший интерес для дальнейших исследований представляют электромагнитные приводные механизмы с моностабильными поляризованными электромагнитами с возвратной пружиной, которые содержат только одну катушку включения и за счет этого позволяют уменьшить габаритные размеры привода.

Ключевые слова: автоматические выключатели среднего напряжения, пружинно-моторный приводной механизм, электромагнитный приводной механизм, постоянные магниты.

М.А. ЛЕЛЮК, В.В. ЛИТВИНЕНКО, А.А. ПОЗНЯК

ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE DRIVE MECHANISMS OF MEDIUM VOLTAGE VACUUM CIRCUIT BREAKERS

The analysis of the designs and the principle of operation of the drive mechanisms of modern medium-voltage vacuum circuit breakers is carried out. In the known designs of vacuum switches, two types of drives are used: spring-motor and electromagnetic. In turn, electromagnetic drives, depending on the type of electromagnet used, can be monostable, unpolarized and polarized, and bistable. The spring-motor drive mechanisms of the circuit breakers consist of a drive shaft, closing and opening springs, a closing spring charging mechanism, a mechanical manual operation device, and opening and closing electromagnets for operational electrical tripping. Electromagnetic actuators consist of an electromagnet and, depending on its design, can be with or without a return spring. Monostable polarized electromagnets are used in the design of electromagnetic actuators with return springs. A feature of the designs of electromagnetic drive mechanisms with bistable electromagnets is the absence of a return spring and the presence of separate on and off coils. As a result of the analysis, the drawbacks of each of the considered types of drives were revealed. Of greatest interest for further research are electromagnetic drive mechanisms with monostable polarized electromagnets with a return spring, which contain only one turn-on coil and, due to this, allow reducing the overall dimensions of the drive.

Key words: medium voltage circuit breakers, spring-motor drive mechanism, electromagnetic drive mechanism, permanent magnets.

Вступ. Вакуумні вимикачі середньої напруги застосовуються в розподільчих мережах об'єктів інфраструктури, промислових підприємств, нафтогазовій промисловості тощо завдяки екологічній безпечності, надійності, ефективності захисту мереж та устаткування від коротких замикань, достатній швидкодії, великої кількості циклів комутації робочих струмів та компактного розміру [1].

Розробкою та виробництвом вакуумних вимикачів

для мереж середніх напруг займаються як закордонні так і вітчизняні фірми. Серед відомих закордонних фірм можна виділити концерн АВВ (Швейцарія), Siemens (Німеччина), Eaton (США), Schneider Electric (Франція), ООО «Таврида Електрик» (Росія), ОАО «Электроцит» (Росія). Серед вітчизняних виробників вакуумних вимикачів це ТОВ «АВМ АМПЕР» (м. Кременчук) та Рівненський завод високовольтної апаратури (м. Рівне).

© Лелюк М.А., Литвиненко В.В., Позняк А.А., 2020

Характеристики та надійність вакуумного вимикача безпосередньо пов'язані з роботою привідного механізму, який через привідний вал забезпечує комутацію головних контактів та автоматичне спрацьовування вимикача при виникненні аварійної ситуації в мережі. У відомих конструкціях вакуумних вимикачів використовуються два типи приводів: пружинно-моторні та електромагнітні. В свою чергу, електромагнітні приводи в залежності від використовуваного типу електромагніту можуть бути моностабільні неполяризовані і поляризовані та бістабільні поляризовані. Кожен з цих типів приводів різних фірм виробників має свій принцип дії, конструктивні особливості, переваги та недоліки.

Мета роботи – огляд конструкцій та аналіз роботи привідних механізмів вакуумних вимикачів середніх напруг.

Вакуумні вимикачі з пружинно-моторним привідним механізмом. Вимикачі з даним типом привідного механізму виробляються як закордоном так і на території України. На рис. 1 показані вакуумні вимикачі фірм ABB, Siemens, Eaton, Schneider Electric, ОАО «Электросит», ТОВ «АВМ АМПЕР» [2-7].



Рис. 1. Вакуумні вимикачі з пружинно-моторним привідним механізмом

Привідні механізми вимикачів складаються з привідного валу, пружин увімкнення та вимкнення, механізму зводу пружини увімкнення з мотор-редуктором та храповим колесом, механічного пристрою ручного спрацьовування, електромагнітів увімкнення та вимкнення для оперативного електричного спрацьовування, розчеплювачів (розмикання, замикання, мінімальної напруги). На рис. 2 приведено конструкцію пружинно-моторного механізму вакуумного вимикача Siemens 3AH2 [3].

Увімкнення та вимкнення вакуумного вимикача може відбуватися як в ручному так і в дистанційному режимі. При виконанні увімкнення мотор-редуктор 3 зводить пружину увімкнення до встановлення її на механічну защіпку, при цьому індикатор стану пружини 12 буде показувати готовність апарату до включення. Взвод пружини може відбуватися автоматично, або вручну, якщо оперативне живлення відсутнє. Якщо увімкнення вимикача відбувається вручну, то необхідно натиснути кнопку увімкнення 9, привідний вал 1 зніметься з механічної защіпки та повернеться за рахунок дії пружини увімкнення 2, якщо увімкнення дистанційне – подати напругу на котушку електромагніту увімкнення 5 для зняття з механічної защіпки. При повертанні привідного валу 1 головні контакти вакуумного вимикача замикаються і вал становиться на механічну защіпку у положенні увімкнено, при цьому поворотна пружина 6 знаходиться у зжатому стані для виконання наступної операції оперативного або аварійного вимкнення.

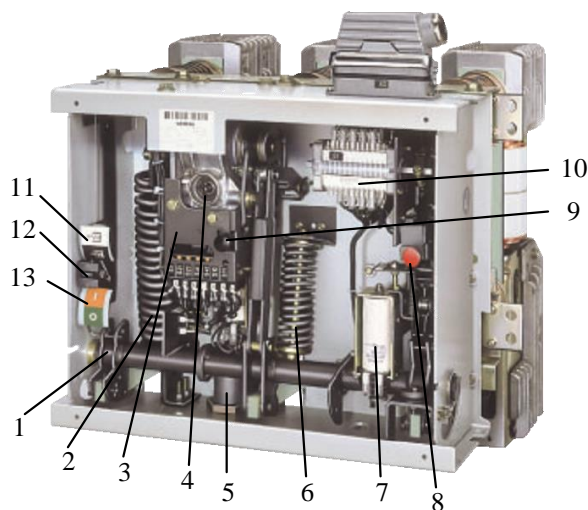


Рис. 2. Пружинно-моторний механізм вакуумного вимикача Siemens 3AH2:

1 – вал приводу; 2 – пружина увімкнення; 3 – механізму взводу пружини увімкнення з мотор-редуктором та храповим колесом; 4 – механізм ручного взводу пружини увімкнення; 5 – електромагніт увімкнення; 6 – поворотна пружина; 7 – розчеплювач; 8 – кнопка вимкнення вимикача; 9 – кнопка увімкнення вимикача; 10 – блок-контакти; 11 – індикатор стану пружини увімкнення; 12 – лічильник циклів спрацьовування вимикача; 13 – індикатор стану вимикача

При виконанні вимкнення вимикача вручну необхідно натиснути кнопку вимкнення 8, при цьому привідний вал 1 зніметься з механічної защіпки та повер-

нется за рахунок дії поворотної пружини 6, головні контакти вимикача розімкнуться і привідний вал 1 стане на механічну заціпку у положенні вимкнено. При дистанційному вимкненні напруга подається на електромагніт вимкнення і спрацьовування привідного механізму відбувається так само.

Вакуумні вимикачі з електромагнітним привідним механізмом. Суттєві недоліки пружинно-моторних приводів, такі як складна кінематика, наявність великої кількості деталей, необхідність механічної фіксації механізму в крайніх положеннях та обов'язкове планове обслуговування стали поштовхом для подальшої модернізації конструкцій вимикачів та застосування в їх конструкціях електромагнітних привідних механізмів. На теперішній час виробництвом вимикачів з даним типом привідних механізмів зай-

маються не лише закордонні фірми (ABB, Eaton, ООО «Таврида Електрик», ОАО «Электросит»), але й вітчизняні (ТОВ «АВМ АМПЕР», Рівненський завод високовольтної апаратури). Електромагніти, що входять до складу привідних механізмів вимикачів, поляризовані, тобто в їх конструкціях використовуються постійні магніти. В залежності від стаціонарного положення електромагніту, при знеструмленій обмотці, вони бувають моно- та бістабільними.

Моностабільні поляризовані електромагніти використовуються у вакуумних вимикачах в поєднанні з поворотними пружинами, причому поворотна пружина може входити до складу електромагніту або встановлюватися окремо в привідному механізмі (рис. 3) [8-12].

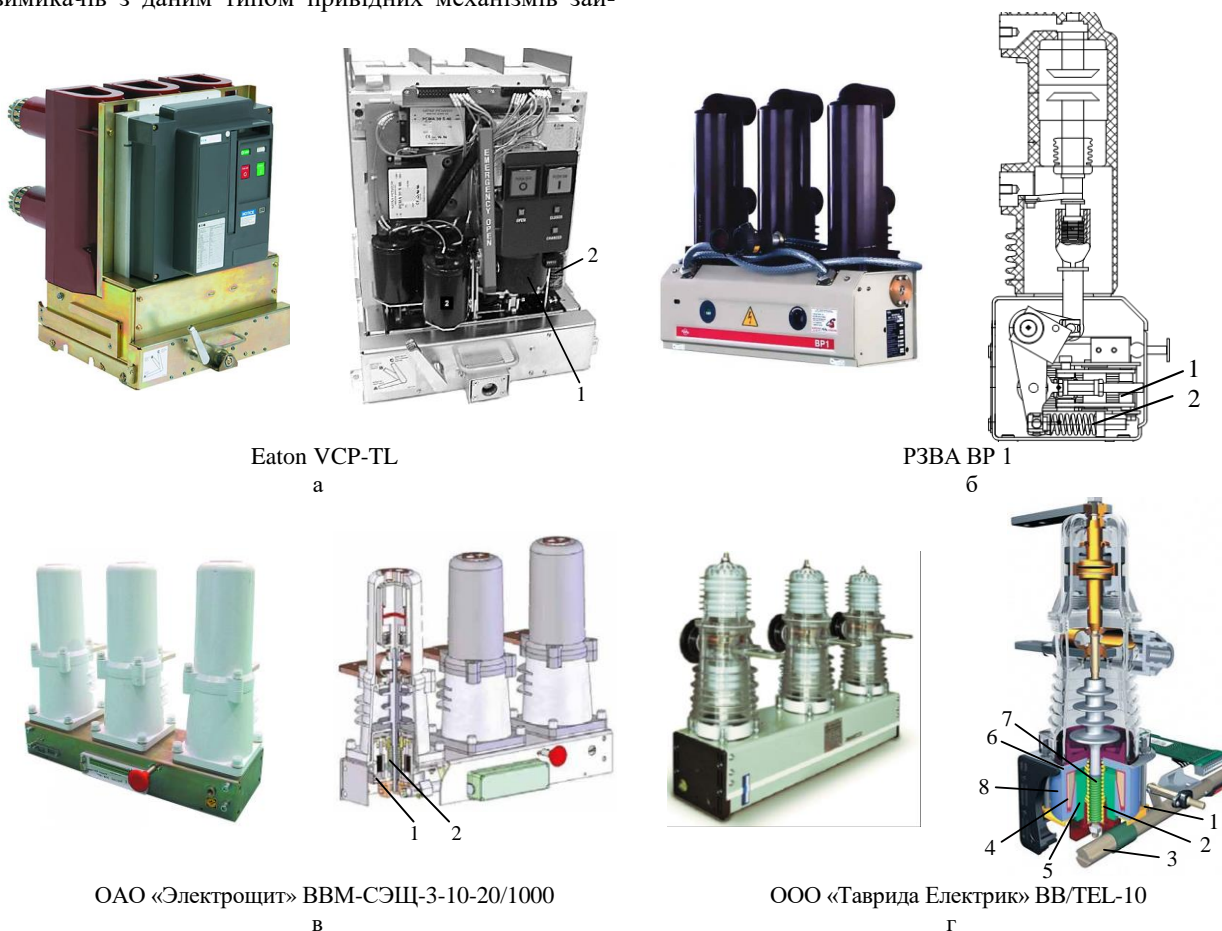


Рис. 3. Вакуумні вимикачі з моностабільними поляризованими електромагнітами та поворотними пружинами: 1 – моностабільний поляризований електромагніт; 2 – поворотна пружина; 3 – синхронізуючий вал; 4 – обмотка; 5 – яркі; 6 – статор; 7 – пружина підтискання; 8 – кільцевий постійний магніт; а, б – поворотна пружина встановлена окремо від електромагніту; в, г – поворотна пружина входить в конструкцію електромагніту

Незалежно від способу розміщення поворотної пружини принцип дії електромагнітного привідного механізму у вакуумних вимикачів однаковий. Розглянемо його на прикладі вакуумного вимикача ВВ/TEL-10 (рис. 3, г). Конструктивно вимикач складається з трьох полюсів, встановлених на металевій основі, де розміщений пофазний електромагнітний привід. При виконанні увімкнення та вимкнення вимикача робота приводів синхронізується валом 3. Увімкнення вими-

кача може відбуватися в ручному або дистанційному режимі, при цьому електролітичний конденсатор розряджається на обмотку електромагнітного приводу 4 (розглянуто на прикладі одного з приводів) [12]. За рахунок магнітного потоку, що створюється струмом в обмотці, яркі 5 починає притягуватися до статора електромагніту 6, стискаючи при цьому поворотну пружину 2 та пружину підтискання головних контактів 7. Головні контакти замикаються і вимикач зали-

шається в цьому положенні при знеструмленій обмотці 4. Це можливо за рахунок наявності в конструкції електромагніту кільцевого постійного магніту 8 та намагнічених до насичення якоря 5 та статора 6, що створюють залишковий магнітний потік, достатній для їх утримання.

При вимкненні вимикача на обмотку електромагніту 4 необхідно подати струм у зворотному напрямку, при цьому намагнічені до насичення якорь 5 та статор 6 розмагнічуються і при значенні сили меншій ніж сила, що створюється поворотною пружиною 2 та пружиною підтискання 7 якорь починає рухатися у зворотному напрямку і головні контакти розмикаються. В цьому положенні вимикач залишається за рахунок зусилля, що створює поворотна пружина 2.

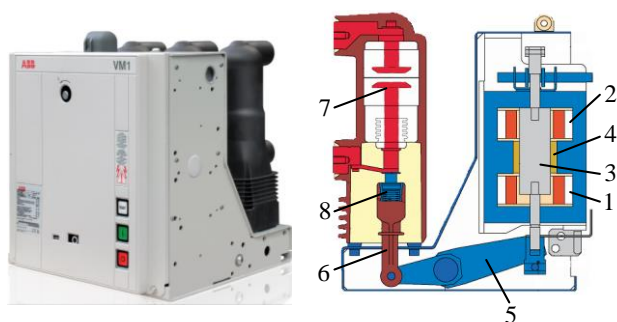
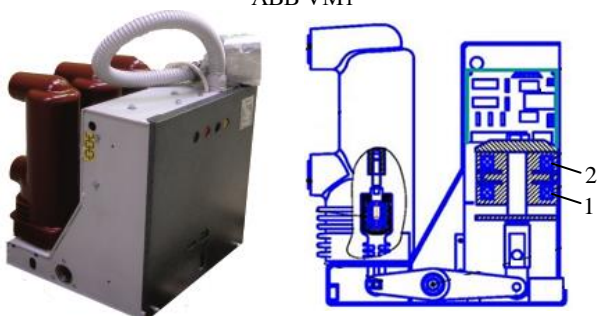
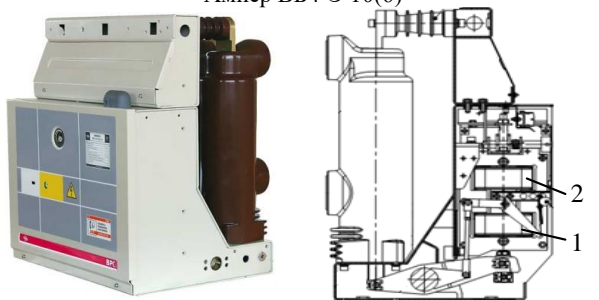


ABB VM1



Ампер ВБ4-Э 10(6)



PZBA ВРС-6

Рис. 4. Вакуумні вимикачі з бістабільними поляризованими електромагнітами:

- 1 – котушка увімкнення; 2 – котушка вимкнення; 3 – якорь;
- 4 – висококоерцитивні постійні магніти; 5 – привідний вал;
- 6 – ізоляційні тяги; 7 – головні контакти;
- 8 – пружини підтискання;

В розглянутому вакуумному вимикачі використання моностабільного поляризованого електромагніту з поворотною пружиною робить привод вимикача бістабільним. Існують вимикачі в яких використовуються бістабільні поляризовані електромагніти без поворотних пружин (рис. 4) [13-15]. Електромагніти вико-

нуються з плоско-паралельним (Ампер ВБ4-Э 10(6)) або вісісиметричним (ABB VM1, PZBA ВРС-6) магнітопроводом. Особливість конструкцій електромагнітів полягає в наявності окремих одно обмоткових котушок увімкнення 1 та вимкнення 2.

Принцип дії електромагнітів однаковий, розглянемо його на прикладі вакуумного вимикача ABB VM1 (рис. 4). У вимкненому положенні вакуумного вимикача головні контакти 7 розімкнені, якорь електромагніту 3 утримується в крайньому верхньому положенні за рахунок дії висококоерцитивних постійних магнітів 4. Обмотки увімкнення 1 та вимкнення 2 знеструмлені. Для увімкнення вимикача необхідно через обмотку котушки увімкнення 1 пропустити постійний струм певного напрямку, що здійснюється за рахунок розряду електролітичного конденсатора. При цьому сила, що виникає в магнітному колі увімкнення є більшою, ніж сила утримання постійних магнітів 4, якорь починає рухатися вниз та приводить в дію привідний вал вимикача 5, ізоляційні тяги 6 рухаються в верхнє положення і головні контакти 7 замикаються. Обмотка увімкнення 1 знеструмлюється і вимикач залишається в цьому положенні за рахунок дії постійних магнітів 4. Електромагніт знаходиться в першому стаціонарному положенні.

Для вимкнення вимикача необхідно через обмотку котушки вимкнення 2 пропустити постійний струм певного напрямку, за рахунок розряду електролітичного конденсатора. Магнітний потік утворений струмом створює силу, яка є більшою, ніж сила утримання контактів 7 в замкненому положенні та сила утримання постійних магнітів 4. Якорь електромагніту 3 починає рухатись, але контакти вимикача 7 ще лишаються замкненими, проте пружини підтискання 8 в цей час розжимаються, забезпечуючи необхідну початкову швидкість головних контактів 7. Процес вимкнення є завершеним, коли якорь електромагніту 3 переходить у крайнє верхнє положення і залишається в цьому положенні за рахунок дії постійних магнітів 4 при знеструмленій обмотці котушки вимкнення 2, що відповідає другому стаціонарному положенню електромагніту.

До недоліків даних конструкцій привідних механізмів вакуумних вимикачів можна віднести значні габаритні розміри за рахунок наявності в конструкції бістабільного поляризованого електромагніту одразу двох котушок увімкнення та вимкнення.

Висновки. 1. Проведено аналіз конструкцій та особливостей роботи привідних механізмів вакуумних вимикачів середньої напруги.

2. Пружинно-моторні привідні механізми мають ряд суттєвих недоліків, таких як складна кінематика, велика кількість рухомих деталей, необхідність механічної фіксації механізму в увімкненому та вимкненому положеннях, що суттєво знижує їх надійність та потреба проведення обов'язкового планового обслуговування.

3. В порівнянні з пружинно-моторними механізмами електромагнітні мають меншу кількість конструктивних елементів, що забезпечує їх високу механічну витривалість із відносно низьким рівнем технічного обслуговування. Недоліками цих приводів є ве-

лика споживана енергія від зовнішнього джерела живлення при переході якоря з одного стійкого положення в інше, великі габарити та маса, створення суттєвих вібрацій та шуму в процесі увімкнення, відсутність можливості управління без керуючого сигналу.

4. Серед розглянутих конструкцій привідних механізмів вакуумних вимикачів середньої напруги найбільшу цікавість представляють електромагнітні привідні механізми, до складу яких входять моностабільні поляризовані електромагніти з поворотною пружиною, які мають тільки одну котушку увімкнення, що за рахунок цього зменшує габаритні розміри приводу.

Список літератури

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.
2. VD4 Medium voltage vacuum circuit breakers 12...40.5 kV - 630...4000 A - 16...63 kA. <https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/circuit-breakers/indoor-CB/iec-primary-vacuum-cb-vd4>.
3. 3AH2/3AH4 Vacuum Circuit-Breakers. Medium-Voltage Equipment. Selection and Ordering Data. Catalog HG 11.04. 2007. www.siemens.com/energy.
4. User manual W-VACi 17.5 kV W-VACiMB 25 kA 1250A IEC Mining Vacuum Circuit Breakers. October 2012. www.eaton.com.
5. Выключатели EasyPact EXE. Вакуумные выключатели на напряжение 6, 10 кВ. Стационарное и выкатное исполнение. Распределение электроэнергии среднего напряжения. www.schneider-electric.com/ua.
6. Электрощит Самара. Электроаппараты. Каталог 2020. <http://electroshield.ru>.
7. <http://www.abm-amper.com/prod/vb4-p-10-viklyuchatel-106-kv-vakuumniy-s-prujinno-motornim-privodom.php>.
8. Instructions for the Use, Operation and Maintenance of Types VCP-TL and VCP-TRL Linear Magnetic Vacuum Circuit Breakers. May 2016. www.Eaton.com.
9. James Benke, Brad Leccia. Medium Voltage Electro-Mechanical Linear Actuator Breaker. EATON. May 7, 2005.
10. Выключатели вакуумные серии ВР1. Техническая информация. НКAI.670049.043 ТИ. Редакция 3 2013. <http://www.rzva.ua>.
11. Выключатели вакуумные серии ВВМ-СЭЩ-3(4)-10. Техническая информация. ТИ – 1 56 – 2009. <http://electroshield.ru>.
12. ВВ/TEL Вакуумный выключатель. Руководство по эксплуатации. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10. <https://www.tavrda.com>.
13. Medium Voltage Products. VM1 Vacuum circuit-breaker with magnetic actuator mechanism. 2013. www.abb.com/mediumvoltage.
14. Выключатель вакуумный ВБ4-Э. <https://www.abm-amper.com/prod/vb4-e-10-viklyuchatel-106-kv-vakuumniy-s-elektromagnitnim-privodom.php>.
15. Выключатели вакуумные типов ВРС-6 и ВРС-10. Техническая информация. НКAI.670049.022 ТИ. Редакция 9. 2013. <http://www.rzva.ua/ru/do/tehnichna-informacija>.

Надійшла (received) 15.09.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лелюк Микола Анатолійович (Лелюк Николай Анатольевич, Leliuk Mykola Anatoliyovych) – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", к.т.н., старший викладач кафедри електричних апаратів, м. Харків, тел.: (067) 968-76-90; e-mail: lelyuk.nik@gmail.com.

Литвиненко Вікторія Володимирівна (Литвиненко Виктория Владимировна, Lytvynenko Victoriia Vladimirovna) – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший викладач кафедри електричних апаратів, м. Харків, тел.: (067) 973-54-79; e-mail: vikalitv21082@gmail.com

Позняк Андрій Андрійович (Позняк Андрей Андреевич, Poznyak Andrey Andreevich) – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", магістр кафедри електричних апаратів, м. Харків, тел.: (050) 217-32-90; e-mail: masterdanka987@gmail.com.