

**Bibliography (transliterated):** 1. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Rudakov S.V. Moshhnyj vysokovol'nyj generator aperiodicheskikh impul'sov toka iskusstvennoj molnii s normirovannymi po mezhdunarodnomu standartu IEC 62305-1-2010 amplitudno-vremennymi parametrami. Elektrotehnika i elektromehanika. 2015. No 1. 51–56 Print. 2. IEC 62305-1: 2010 «Protection against lightning. Part 1: General principles». Geneva, Publ. IEC, 2010 Print. 3. IEC 62305-2: 2010 «Protection against lightning. Part 2: Risk management». – Geneva, Publ. IEC, 2010 Print. 4. IEC 62305-3: 2010 «Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard». Geneva, Publ. IEC, 2010 Print. 5. IEC 62305-4: 2010 «Protection against lightning. Part 4: Electrical and electronic systems within structures». Geneva, Publ. IEC, 2010 Print. 6. Nacional'nyj standart RF GOST R MEK 62305-1-2010. «Menedzhment riska. Zashhita ot molnii. Chast' 1: Obshhie principy». Moscow, Standartinform, 2011. 46 Print. 7. Deutsche Norm DIN EN 50164-1: 2008 (VDE 0185-2001). Blitzschutzbautei-

le.–Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile.– Berlin, Buchverlag DS, 2008, 16 Print. 8. Belorussov N.I., Saakyan A.E., Yakovleva A.I. Elektricheskie kabeli, provoda i shnury: Spravochnik. Pod red. N.I. Belorussova. Moscow, Energoatomizdat, 1988. 536 Print. 9. Baranov M.I. Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 2, Kniga. 2: Teoriya elektrofizicheskikh effektov i zadach.– Har'kov, Tochka, 2010, 407 Print. 10. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Nedzelskiy O.S., Dnyshchenko V.N. Generator toka iskusstvennoj molnii dlja naturnyh ispytaniy tehniceskikh ob'ektov. Pribory i tehnika eksperimenta. 2008. No 3. 81–85 Print. 11. Baranov M.I., Kravchenko V.I. Elektrotermicheskaja stojkost' provodov i kabelej letatel'nogo apparata k porazhajushhemu dejstviju impul'snogo toka molnii. Elektrichestvo. 2013. No 10. 7–13 Print. 12. Baranov M.I. Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 3: Teoriya i praktika elektrofizicheskikh zadach. Kharkiv: Tochka, 2014. 400 Print.

Поступила (received) 20.10.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Баранов Михаил Иванович** – доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Молния» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков; тел.: (057) 707-68-41; e-mail: eft@kpi.kharkov.ua.

**Baranov Michael Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Main Researcher Research & Design Institute «Molniya» of National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov; tel.: (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua.

**Рудаков Сергей Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный университет гражданской защиты Украины, доцент кафедры ППНП, г. Харьков; тел.: (057) 707-34-38; e-mail: serg\_73@i.ua.

**Rudakov Sergey Valer'evich** – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, National University of Civil Protection of Ukraine, Associate professor of department of Fire Prophylaxis of Settlements, Kharkov; tel.: (057) 707-34-38; e-mail: serg\_73@i.ua.

УДК 519.2

**Р. К. БОРИСОВ, Д. И. КОВАЛЕВ, Г. М. КОЛИУШКО, О. С. НЕДЗЕЛЬСКИЙ, Е. Г. ПОНУЖДАЕВА**

### ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВАМ БЛОКИРОВКИ ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИИ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассмотрены требования к устройствам блокировки оперативных переключений коммутационных аппаратов высокого напряжения, используемых на энергообъектах. Описаны научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию блокирующего устройства нового комплекса электрооборудования для повышения надежности и электробезопасности персонала при производстве оперативных переключений в распределительных устройствах напряжением 6–750 кВ электрических станций и подстанций. Представлена схема электрическая, и описана конструкция опытного образца устройства, прошедшего приемочные испытания в составе комплекса электрооборудования.

**Ключевые слова:** устройство блокировки, оперативные переключения, коммутационные аппараты, электробезопасность, высокое напряжение, распределительные устройства, электрические станции.

**Введение.** Проблема повышения безопасности работы персонала, а также исключения им ошибочных действий при оперативных переключениях коммутирующих устройств высоковольтного оборудования энергообъектов определяет ряд требований, предъявляемых к разработке и изготовлению новых комплексов электротехнического оборудования (КЭО). Качественное электроснабжение невозможно без внедрения передовых проектных решений с использованием «интеллектуального» управления КЭО, повышающего надежность работы в целом.

В состав КЭО входит система оперативных блокировок безопасности (ОББ), элементом которой яв-

ляется устройство блокировки оперативных переключений (УБОП).

**Анализ требований к устройствам блокировки нового поколения.** Находящиеся в эксплуатации устройства блокировки, а именно замки ЗБ–1, имеют малые габариты, простую конструкцию, что определяет их надежность и выполнение основных требований к ним [1]. Однако при деблокировании используется дополнительный элемент – электромагнитный ключ КЭЗ–1, либо магнитный ключ КЗ–1 [2], что усложняет действия персонала. Использование оперативного напряжения 220 В увеличивает опасность поражения

током. На подстанциях нового поколения применяется программная блокировка [3], что делает невозможным применение ранее используемых замков из-за отсутствия возможности передачи сигнала о его состоянии (открыт он или закрыт.)

Габаритные размеры и масса устройств нового поколения должны быть такими, чтобы их применение не требовало увеличения площади, занимаемой распределительными устройствами и щитами управления станций и подстанций. Посадочные размеры должны быть сохранены в целях взаимозаменяемости устанавливаемых устройств без дополнительной доработки конструкции. Особое внимание нужно уделить требованиям по долговечности. Срок службы устройств должен быть не менее 25 лет, обеспечена ремонтпригодность. Повышение технологичности устройств при техническом обслуживании и ремонте достигается повышением контролепригодности, легкосъемности, взаимозаменяемости изделия, унификацией и стандартизацией сборочных единиц и деталей [4]. Новая продукция должна быть рыночно ориентированной, конкурентоспособной к лучшим отечественным и мировым аналогам на объектах электроэнергетики напряжением 6–750 кВ.

Проанализировав все требования, специалисты НТУ «ХПИ» г. Харьков и НИУ «МЭИ» г. Москва в совместном сотрудничестве провели научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы (НИОКР) по разработке блокирующего устройства, включающие 5 этапов от эскизного проекта до разработки конструкторской документации в части блокирующего устройства.

**Описание разработки.** В процессе разработки нового устройства были изготовлены 5 опытных образцов. Первые два разрабатывались параллельно, отрабатывались кинематические схемы. По результатам испытаний более надежная схема была взята за основу. Дальнейшие работы по упрощению электрической схемы, узлов и деталей, уменьшению габаритов, улучшению показателей долговечности и ремонтпригодности привели к созданию еще трех опытных образцов [5–7]. Окончательным вариантом разработок является опытный образец № 5.

Внешний вид образца № 5 изображен на рис. 1, основные технические характеристики приведены в табл. 1.

Конструкция опытного образца № 5 представлена на рис. 2.

Таблица 1 – Основные технические характеристики УБОП

Наименование параметра или характеристики	Значение
1. Рабочий ход запирающего штока, мм	$14^{+2}_{-1}$
2. Диаметр запирающего штока, мм	$12^{-0,18}$
3. Усилие открытия замкового механизма, Н – начальное, не менее – конечное, не более	5 20
4. Напряжение питания обмотки электромагнита, В (постоянного тока).	$12 \pm 2$
5. Ток в катушке электромагнита, А, не более	0,35
6. Габаритные размеры, мм, не более	80×120
7. Масса, кг, не более	0,7



Рисунок 1 – Опытный образец №5 с разных ракурсов

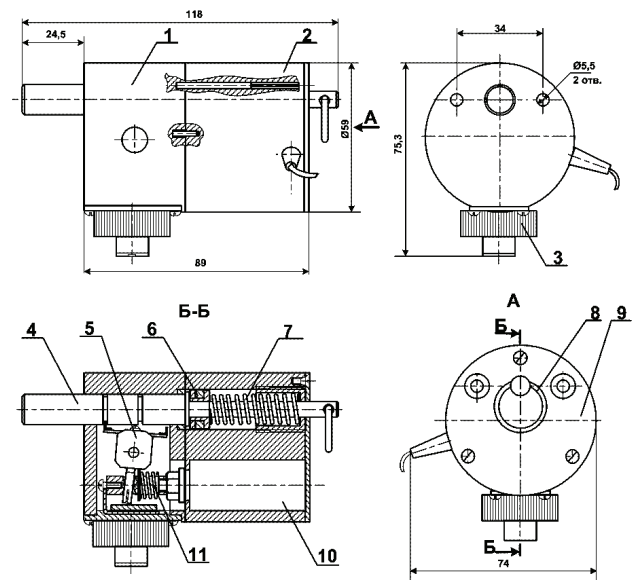


Рисунок 2 – Конструкция: 1 – основание, 2 – цилиндр, 3 – устройство аварийного деблокирования, 4 – шток, 5 – механизм блокировки, 6 – магнит, 7 – пружина, 8 – кольцо, 9 – крышка, 10 – электромагнит, 11 – пружина

Опытный образец № 5 представляет собой корпус, состоящий из двух частей, основания 1 и цилиндра 2, скрепляемых винтами. Внутри основания размещены механизм блокировки 5 и устройство аварийно-

го отключения 3. Со стороны крышки 9 выведен шток 4 с кольцом 8. Цилиндр содержит элементы электрической схемы (см. рис. 3)

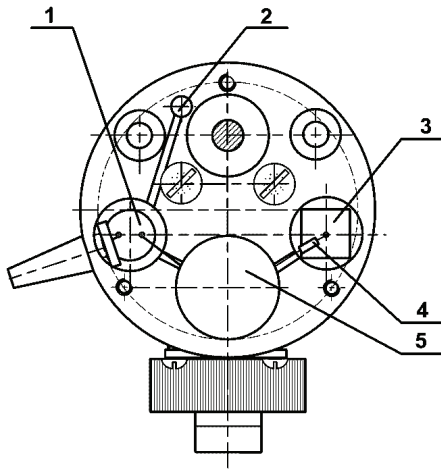


Рисунок 3 – Конструкция: 1 – низкоимпедансный электролитический конденсатор 2200 мкФ × 16 В – С1; 2 – геркон KSK 1С90 – 1526 – SF1; 3 – резистор в керамическом корпусе 100 Ом мощностью 5 Вт – R1; 4 – диод 1N4007 – VD1; 5 – электромагнит тянущий ЕМА-1939L-12 – K1

Устройство работает следующим образом: пружина 11, вытягивающая сердечник электромагнита при обесточенной катушке, удерживает механизм блокировки таким образом, что подпружиненная защелка попадает в проточку на штоке 4 и удерживает его в максимально выдвинутом положении, что соответствует закрытому состоянию.

Перемещение штока 4 из закрытого состояния в открытое осуществляется оператором при наличии оперативного напряжения (+24 В) на входе электрической схемы. На катушке появляется питание, сердечник втягивается, при этом механизм блокировки поворачивается вокруг оси, закрепленной в корпусе устройства, защелка выходит из проточки, освобождая шток. Оператор получает возможность, потянув за кольцо 8, переместить шток в осевом направлении, при этом подпружиненная защелка попадет во вторую проточку на штоке и зафиксирует его в этом положении, что соответствует открытому состоянию.

После снятия напряжения пружина 11 возвращает сердечник электромагнита в первоначальное положение, механизм блокировки, поворачиваясь вокруг оси, освобождает шток, который под действием возвратной пружины 7 перемещается вдоль оси до момента фиксации в закрытом состоянии.

При обоснованной необходимости (отсутствие оперативного напряжения, обрыв или короткое замыкание в цепях питания электромагнита, поломка элементов механизма УБОП) открыть УБОП вручную нужно повернуть ручку 2, соединенную с эксцентриком (см. рис. 4) устройства аварийного деблокирования на 90°. Эксцентрик задвинет сердечник электромагнита и освободит шток. Потянув за кольцо 8, шток переместить в осевом направлении до фиксации в открытом состоянии. Далее оператор производит необ-

ходимые переключения электрооборудования. Действия по приведению УБОП в закрытое состояния производится поворотом ручки на 90°. Устройство аварийного деблокирования включает в себя эксцентрик 1, с помощью которого осуществляется возвратно-поступательное перемещение сердечника электромагнита.

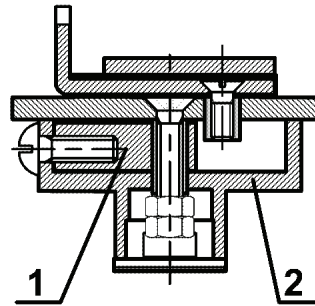


Рисунок 4 – Устройство аварийного деблокирования: 1 – эксцентрик, 2 – ручка

Корпус, выполненный из теплопроводящего алюминиевого сплава, обеспечивает максимальную теплопередачу в окружающую среду и недопущение перегрева электромагнита 10. Для улучшения теплоотдачи зазор между поверхностями корпуса электромагнита и корпуса устройства заполнен теплопроводящей пастой КТП-8. Такие конструктивные решения повышают надежность работы устройства и долговечность его использования, о чем свидетельствуют экспериментальные исследования термодинамических показателей работы образца УБОП в длительном режиме [6].

Электрическая схема, представлена на рис. 5.

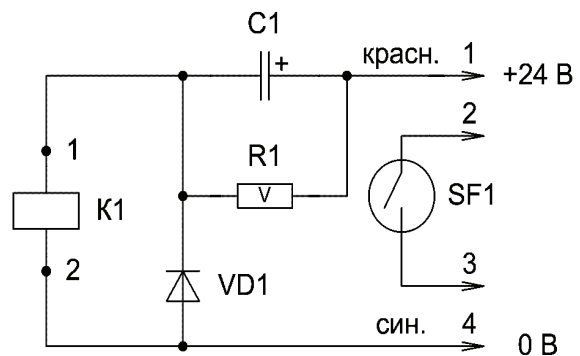


Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная

В схеме применена форсировка включения электромагнита K1 (с номинальным напряжением обмотки 12 В) зарядным током емкости C1. После окончания заряда емкости C1 катушка электромагнита с помощью резистора R1 остается под напряжением 4 В, достаточным для удерживания штока во втянутом положении. При этом УБОП находится в закрытом состоянии. Ток потребления при этом составляет  $0,2 \pm 0,05$  А. Диод VD1 предотвращает проникновение всплеска напряжения в питающую линию в момент выключения электромагнита. Наличие герконового реле SF1, срабатывающего при перемещении штока, на котором закреплен магнит 6 (см. рис. 2), обеспечи-



вает возможность фиксировать состояние устройства системой управления ОББ.

Конструкция устройства, несмотря на увеличенные габариты по сравнению с ранее применяемыми замками ЗБ-1М (для сравнения габаритов см. рис. 6), обеспечивает взаимозаменяемость замковых устройств, так как сохранены диаметр запирающего штока, его ход и посадочные размеры. УБОП легко устанавливается на неподвижной части механизма электрооборудования совмещением установочных размеров  $\varnothing 5,5$  на корпусе устройства с соответствующими отверстиями при помощи двух винтов М5.

Габаритные размеры опытного образца № 5 не требуют изменения конструкции электрооборудования, на котором он устанавливается.

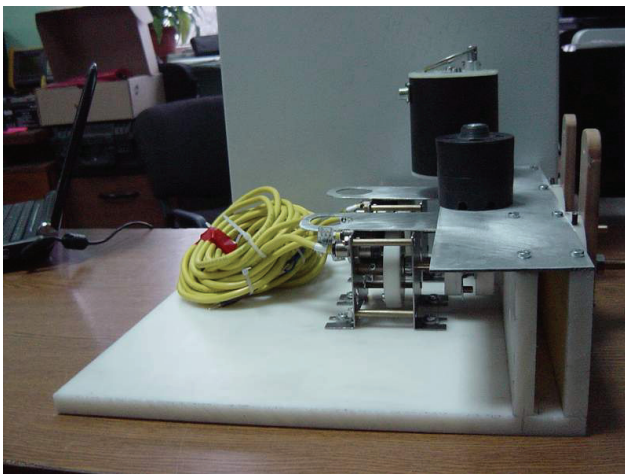


Рисунок 6 – Стенд испытательный с разных ракурсов

Если на конструкциях приводов нет отверстий для крепления УБОП и перемещения штока, их необходимо выполнить. На рис. 7 представлен эскиз разметки установочных отверстий на элементе неподвижной части привода электрооборудования.

Опытный образец № 5 прошел предварительные и приемочные испытания на испытательном стенде (см. рис. 6), показал надежность своей работы. Испытания опытного образца проводились в составе КЭО (см. рис. 8).

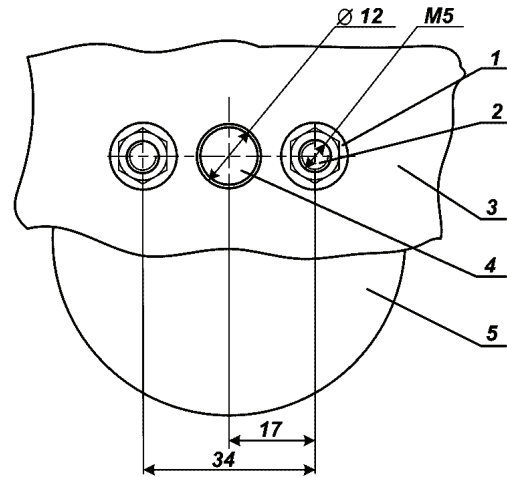


Рисунок 7 – Установка УБОП на неподвижной части привода электрооборудования: 1 – гайка М5 с шайбой, 2 – винты М5, 3 – неподвижная часть привода, 4 – шток, 5 – корпус УБОП

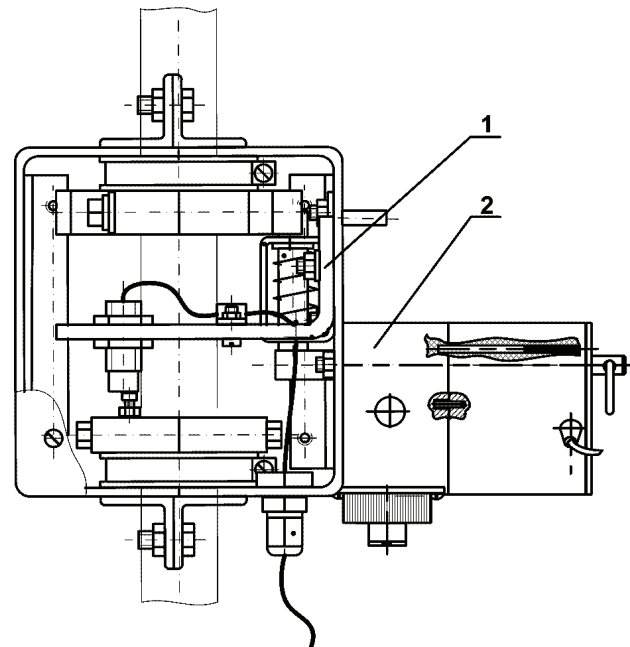


Рисунок 8 – Устройство блокировки УБ – 1: 1 – оборудование ОББ, 2 – опытный образец № 5

**Выводы.** В процессе НИОКР разработано, изготовлено и испытано устройство блокировки оперативных переключений, удовлетворяющее требованиям, предъявляемым к данной работе. Имеется возможность деблокирования устройства системой ОББ, используется низкое напряжение питания цепей УБОП (+24 В), потребляется малая мощность при неограниченном времени включения (4 Вт), имеется наличие кабельной связи с системой ОББ для передачи сигнала о состоянии устройства, удовлетворяются требования по взаимозаменяемости, ремонтпригодности, надежности, ограничиваются требования к квалификации обслуживающего персонала.

Представленная работа выполняется Национальным исследовательским университетом «МЭИ» (г. Москва) совместно с Национальным техническим

университетом «ХПИ» (г. Харьков).

Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Список литературы:** 1. Инструкция по эксплуатации оперативных блокировок безопасности в распределительных устройствах высокого напряжения. РД 34.35.512. Союзгехэнерго, 1979 г. 2. *О. П. Лобак, Г. Г. Семенов* Управление разъединителями, сигнализация и блокировки. – М.: Энергия, 1978. 3. Порядок организации оперативной блокировки на подстанциях нового поколения. Приложение к распоряжению ОАО "ФСК ЕЭС" №236р от 05.05.2010. – Москва. 4. ГОСТ 23660-79 – Система технического обслуживания и ремонта техники. 5. Устройство блокировки оперативных переключений (УБОП) комплекса электрооборудования нового поколения / *Г. М. Колюшко, О. С. Недзельский, Е. Г. Понуждаева, Р. К. Борисов, С. И. Хренов, Д. И. Ковалев* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 21 (1067). – С. 66-71. 6. Конструкция и термодинамические показатели опытного образца устройства блокировки оперативных переключений УБОП / *Г. М. Колюшко, О. С. Недзельский, Е. Г. Понуждаева, А. В. Пличко, Д. И. Ковалев* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 109-114. 7. Анализ конструкций опытных образцов устройства блокировки оперативных переключений / *Г. М. Колюшко, О. С. Недзельский, Е. Г. Понуждаева, Р. К. Борисов, Д. И. Кова-*

*лев* // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ "ХПІ"; 2015. – №20 (1129). – С. 43-49.

**Bibliography (transliterated):** 1. Instruktsiya po ekspluatatsii operativnykh blokirovok bezopasnosti v raspredelitelnykh ustroystvakh vyisokogo napryazheniya. RD 34.35.512. Soyuzghehenergo, 1979 Print. 2. *O. P. Lobak, G. G. Semenov* Upravlenie raz'edinitelyami, signalizatsiya i blokirovki. Moscow: Energiya, 1978 Print. 3. Poryadok organizatsii operativnoy blokirovki na podstantsiyah novogo pokoleniya. Prilozhenie k rasporyazheniyu OAO "FSK EES" No 236r ot 05.05.2010. – Moscow: Print. 4. GOST 23660-79 – Sistema tehniceskogo obsluzhivaniya i remonta tehniki Print. 5. Ustroystvo blokirovki operativnykh pereklyucheniy (UBOP) kompleksa elektrooborudovaniya novogo pokoleniya. *G. M. Koliushko, O. S. Nedzelskiy, E. G. Ponuzhdaeva, R. K. Borisov, S. I. Hrenov, D. I. Kovalev*. Visnik NTU "HPI". Seriya: Tehnika ta elektrofizika visokih naprug. Kharkiv: NTU "HPI", 2014. No 21 (1067). 66-71 Print. 6. Konstruktsiya i termodinamicheskie pokazateli opyitnogo obraztsa ustroystva blokirovki operativnykh pereklyucheniy UBOP. *G. M. Koliushko, O. S. Nedzelskiy, E. G. Ponuzhdaeva, A. V. Plichko, D. I. Kovalev*. Visnik NTU "HPI". Seriya: Tehnika ta elektrofizika visokih naprug. Kharkiv: NTU "HPI"; 2014. No 50 (1092). 109-114 Print. 7. Analiz konstruktsiy opyitnykh obraztsov ustroystva blokirovki operativnykh pereklyucheniy. *G. M. Koliushko, O. S. Nedzelskiy, E. G. Ponuzhdayeva, R. K. Borisov, D. I. Kovalev*. Visnik NTU "HPI". Seriya: Tehnika ta elektrofizika visokih naprug. Kharkiv: NTU "HPI", 2015. No 20 (1129). 43-49 Print.

Поступила (received) 27.10.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Борисов Руслан Константинович** – кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский институт «МЭИ», ведущий научный сотрудник кафедры техники и электрофизики высоких напряжений, Россия, г. Москва тел.: 007 (903) 184 69 19; e-mail: kovalevdi@list.ru.

**Borisov Ruslan Konstantinovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Federal employment budgetary educational institution higher education, National Research university «MEI», principal scientist sub department high voltage technics and electrophysics, tel.: 007 (903) 184 69 19; e-mail: kovalevdi@list.ru.

**Ковалев Дмитрий Игоревич** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский институт «МЭИ», старший преподаватель кафедры техники и электрофизики высоких напряжений Россия, г. Москва, тел.: 007 (903) 184 69 19; e-mail: kovalevdi@list.ru.

**Kovalev Dmitriy Igorevich** – Federal employment budgetary educational institution higher education, National Research university «MEI», senior lecturer sub department high voltage technics and electrophysics, tel.: 007 (903) 184 69 19; e-mail: kovalevdi@list.ru.

**Колюшко Георгий Михайлович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», ведущий научный сотрудник, тел.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5\_molniya@ukr.net.

**Koliushko Georgiy Mykchailovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), senior staff scientist, Research and Design Institute «Molniya» National Technical University «KhPI», principal scientist, tel.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5\_molniya@ukr.net.

**Недзельский Олег Саввич** – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», ведущий инженер, тел.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5\_molniya@ukr.net.

**Nedzelskiy Oleg Savvyuch** – Research and Design Institute «Molniya» National Technical University «KhPI», principal engineer, tel.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5\_molniya@ukr.net.

**Понуждаева Елена Геннадьевна** – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», зав. лабораторией, тел.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5\_molniya@ukr.net.

**Ponuzhdayeva Helena Gennad'evna** – Research and Design Institute «Molniya» National Technical University «KhPI», laboratory manager, tel.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5\_molniya@ukr.net.