УДК 338.43:621.316.57-192 Материал поступил в редакцию 16.02.18.

И. В. ВЛАСЮК, *аспирант, ассистент*
С. Ю. ПАРАМОНОВ, *магистрант*
С. И. БЕЛОВ, *канд. техн. наук, доцент*
Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени А. К. Тимирязева», Российская Федерация, г. Москва

I. V. VLASYUK, *Post-graduate, Assistant*
S. Yu. PARAMONOV, *Undergraduate*
S. I. BELOV, *Ph. D. of Engineering, Associate professor*
Institute of Mechanics and Power named after V. P. Goryachkin
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after A. K. Timiryazev", the Russian Federation, Moscow

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

IMPROVINGTHE RELIABILITY OFCIRCUIT BREAKERS IN NETWORKS WITH VOLTAGE 0.4 kV USED IN AGRICULTURE

Аннотация. *Статья посвящена проблеме эксплуатационной надежности автоматических выключателей в сельских электрических сетях. Рассматриваются все существующие системы обслуживания электрооборудования и наиболее распространенные, используемые на объектах агропромышленного комплекса России. Проанализированы характерные особенности эксплуатации электрооборудования, в том числе автоматического выключателя сети 0,4 кВ в сельском хозяйстве. Проведен обзор существующих программ технического обслуживания оборудования, проведены их классификация и охарактеризованы основные отличия. Проведено сравнение наиболее распространенной стратегии обслуживания электрооборудования и самой совершенной на сегодняшний день, отвечающей высоким требованиям эксплуатационной надежности. Определены тенденции развития производств сельского хозяйства. Определено соответствие требованиям надежности систем обслуживания оборудования, а также направление развития систем технологического обслуживания и применения информационных технологий. Проанализировано соответствие выпускаемых заводами-изготовителями автоматических выключателей современным требованиям к их эксплуатационной надежности в условиях развивающегося агропромышленного комплекса страны. Поставлена задача повышения эксплуатационной надежности автоматических выключателей. Рассмотрены существующие пути решения поставленной задачи и способ повышения эксплуатационной надежности автоматических выключателей путем применения современных технических средств непрерывного контроля для перехода на более совершенную стратегию технической эксплуатации, тем самым повышая надежность системы электроснабжения объектов сельского хозяйства. Обоснована необходимость применения информационных технических средств в системе технологического обслуживания и ремонта на предприятиях сельского хозяйства. Показана возможность увеличения эксплуатационной надежности автоматических выключателей с применением современных средств непрерывного контроля параметров коммутационного аппарата и информационных систем управления в*

техническом обслуживании и ремонте оборудования объектов сельского хозяйства.
Ключевые слова: *эксплуатационная надежность, автоматический выключатель, агропромышленный комплекс, эксплуатация электрооборудования, устройство непрерывного контроля, информационная система управления технологическим обслуживанем и ремонтом оборудования, повышение эксплуатационной надежности автоматических выключателей.*

Abstract. *This article is devoted to the problem of operational reliability of circuit breakers in rural electric networks. All the existing systems of electrical equipment maintenance and the most common ones used at the facilities of the agro-industrial complex of Russia are considered. Characteristic features of operation of electric equipment, including the automatic switch of a network of 0,4 kV in agriculture are analyzed. The existing equipment maintenance programs are reviewed, their classification is carried out and the main differences are characterized. Comparison of the most widespread strategy of service of electric equipment and the most perfect one meeting the high requirements of operational reliability is carried out. Tendencies of development of productions of agriculture are defined. Compliance with requirements of reliability of systems of service of the equipment, and also the direction of development of systems of technological service and application of information technologies is defined. The compliance of automatic circuit breakers manufactured by manufacturers with modern requirements to their operational reliability in the conditions of the developing agro-industrial complex of the country is analyzed. The task of improving the operational reliability of circuit breakers is set. The existing ways of solving the problem and the way to improve the operational reliability of circuit breakers by using modern technical means of continuous monitoring for the transition to a more advanced strategy of technical operation, thereby increasing the reliability of the power supply system of agricultural facilities. The necessity of application of information technology in the system of technological maintenance and repair at agricultural enterprises is substantiated. The possibility of increasing the operational reliability of circuit breakers with the use of modern means of continuous monitoring of the parameters of the switching apparatus and control information systems in the maintenance and repair of equipment of agricultural facilities is shown.*
Keywords: *operational reliability, circuit breaker, agro-industrial complex, operation of electrical equipment, continuous monitoring device, information control system of technological maintenance and repair of equipment, improving the operational reliability of circuit breakers.*

Агропромышленный комплекс России в XXI веке характеризуется постоянным ростом энерговооруженности, применением автоматизированных поточных технологических линий и повышенными требованиями к надежности электроснабжения путем перехода от второй группы надежности электроснабжения к первой.

Дальнейший путь повышения надежности электроснабжения лежит в совершенствовании распределительных сетей напряжением 0,4 кВ, в частности, в повышении эксплуатационной надежности автоматических выключателей. Их общее число на современном агропромышленном объекте может достигать нескольких сотен и, несмотря на высокую надежность единичного автомата с электрической износостойкостью, составляющей несколько тысяч циклов, общая надежность всего парка автоматов и, соответственно, энергоснабжение объекта снижается на два порядка [1].

В эксплуатации технических систем и электрооборудования известны три стратегии обслуживания:

первая стратегия обслуживания – по необходимости или стратегия аварийной профилактики (плановых профилактических мероприятий не проводят, восстановительные работы осуществляются при выходе оборудования из строя);

вторая стратегия обслуживания – планово-предупредительная без оценки технического состояния оборудования (ППР), при которой проводят профилактические мероприятия в запланированные сроки не-

зависимо от технического состояния оборудования, в случае его отказа осуществляют его восстановление или замену;

третья стратегия обслуживания – плановая по техническому состоянию, т. е. профилактические работы проводят с учетом фактического технического состояния оборудования, определяемого методами и средствами технической диагностики [2].

В настоящее время профилактика электрооборудования, в том числе и в сельском хозяйстве выполняется по второй стратегии, мероприятия выполняют в плановом порядке в строго регламентированные сроки. Действуют нормативы для системы ППР, которыми устанавливаются: структура ремонтного цикла, периодичность проведения профилактических работ, определены виды ремонта (текущий, средний, капитальный) и их объемы, нормы простоя из-за ремонта, нормы складского запаса оборудования и запасных частей, комплектующих, материалов, определены нормативы трудовых и материальных затрат [3].

В последние десятилетия в промышленном производстве нашли применение автоматизированные *информационные системы управления технического обслуживания и ремонта* (ИСУ ТОиР). Система создает постоянную информационную связь между руководящим звеном предприятия (главным инженером, техническим директором, главным механиком, главным энергетиком) и подразделениями, службами, исполнителями и участниками работ по ТОиР. Результатом внедрения ИСУ ТОиР является повышение эффективности производства, рост прибыли, снижение затрат.

ИСУ ТОиР возникла на базе системы планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования в сельском хозяйстве (ППРЭсх) и превосходит ее по эффективности и объемам технической информации за счет применения вычислительной техники, программирования и другой стратегии обслуживания технических систем [4].

С учетом того, что научно-технический прогресс на базе механизации, электрификации, автоматизации и информатизации достиг уровня комплексной автоматизации всего технологического производственного цикла и материального и информационного, и сгруппировав объекты АПК по категориям надежности электроснабжения, стратегиям обслуживания и системам обслуживания (таблица), можно охарактеризовать этапы их развития и сделать заключение о том, что на сегодняшний день вторая стратегия не отвечает требованиям надежности систем электроснабжения, в том числе предприятий АПК, и особенно применяющихся в производстве потоковых технологий с системами автоматизации. Поэтому все предприятия стремятся переходить на более совершенную стратегию эксплуатационного обслуживания, обеспечивающую высокую надежность электрооорудования, в основе которой применяются информационные системы управления технологического обслуживания и ремонта (ИСУ ТОиР) [5].

Характеристика стратегий обслуживания оборудования

Стратегия обслуживания	Аварийная	Планово-предупредительная	Плановая по техническому состоянию
Категория надежности электроснабжения	III-я	II-я	I-я
Система обслуживания	Применение наиболее надежного оборудования	Регламентные мероприятия планово-предупредительной профилактики	ИСУ ТОиР
Техническое обслуживание	Эпизодическое	Периодическое	По техническому состоянию
Диагностирование	Не проводится	Эпизодическое	По техническому состоянию
Средний и текущий ремонты	После отказа	Периодически	По техническому состоянию
Капитальный ремонт	После отказа	Периодически	По техническому состоянию
Аварийный ремонт	После отказа	После отказа	После отказа

Для выполнения обслуживания автоматического выключателя по системам ИСУ ТОиР необходимо осуществлять непрерывный контроль за параметрами сети и непосредственно коммутационного аппарата, влияющих на снижение его ресурса и,

соответственно, надежность систем электроснабжения, а также автоматически оценивать его остаточный ресурс.

Давно известны приемы и способы непрерывного контроля остаточного ресурса высоковольтных автоматических выключателей [6]. Такая необходимость была связана с высокой требовательностью к их эксплуатационной надежности и сравнительно небольшим ресурсом. Вся сложность непрерывной оценки остаточного ресурса является в определении степени износа автоматического выключателя в каждый момент времени и после выполнения каждой операции включения и отключения.

Для эффективного применения ИСУ ТОиР необходима объективная информация о техническом состоянии оборудования, в нашем случае – автоматических воздушных выключателей напряжением 0,4 кВ. В их ассортименте имеются модульные автоматы (1…125 А), в литом корпусе – до 1600 А и выкатные – до 6300 А. При проведении обзора современных аппаратов можно сделать следующие выводы. В основном только выкатные автоматические выключатели имеют встроенную систему контроля состояния. Они подразумевают периодическое плановое техническое обслуживание и ремонт и проведение диагностики, изготавливаются разборными и удобными для обслуживания. По мнению авторов, этого не достаточно для соответствия требованиям к их эксплуатационной надежности для электроснабжения объектов сельского хозяйства, особенно для крупных комплексов первой категории надежности электроснабжения.

Модульные автоматы обычно применяются для бытовых потребителей и к ним предъявляется меньше требований к надежности, поэтому они изготавливаются не обслуживаемые и с большим ресурсом, они имеют до 10000 циклов коммутации механического ресурса и не используют никаких средств непрерывного контроля, поэтому не требуют больших затрат при их изготовлении.

Автоматические выключатели в литом корпусе наиболее распространены на производственных объектах сельского хозяйства, учитывая специфику технологии производства сельскохозяйственной продукции, и являются основной целью нашего интереса. Они также не имеют средств непрерывного контроля, хотя имеют меньший механический ресурс по сравнению с модульными аппаратами. Они имеют массу и габариты, соответствующие номиналу отключаемого тока, а также усовершенствованную систему электронного расцепителя, позволяющего более точно отстроить уставки защит автоматического выключателя, настроить цепочку селективности. Можно сказать, что большинство автоматических выключателей 0,4 кВ, используемых в сельском хозяйстве, не отвечает требуемому уровню эксплуатационной надежности в условиях сельскохозяйственного производства, поэтому требуются меры по повышению их эксплуатационной надежности.

Необходимо пояснить, что для автоматических выключателей низкого напряжения методы диагностики остаточного ресурса ранее не использовались в связи с их сравнительно высокой надежностью и большим ресурсом, но сегодня, учитывая возросшие требования к надежности сетей 0,4 кВ для объектов АПК, возникла задача повышения их эксплуатационной надежности. А зная то, что автоматические выключатели не резервируются и при этом работа по замене или ремонту одного такого аппарата занимает около 1 ч, а в некоторых случаях может достигать и более 2-х ч, что для всех производств с продолжительными технологическими процессами или поточными линиями, особенно для производственных линий с определенным порядком отключения каждого узла при остановке процесса производства, что в случае аварийной остановки технологического процесса требует привлечения огромных материальных и трудовых ресурсов как для устранения нарушений, так и для повторного запуска производственной линии, что влечет большие убытки для предприятия [7]. Поэтому необходимо повышение эксплуатационной надежности автоматического выключателя и переход обслуживающей организации на наиболее совершенную стратегию – плановую по фактическому техническому состоянию оборудования, т. е. ИСУ ТОиР.

На сегодняшний день для проведения оценки ресурса наиболее эффективно использовать программируемые цифровые вычислительные устройства. Для дискрет-

ного контроля износа контактов коммутационных аппаратов применяют устройства сигнализации об остаточном ресурсе. Известно, что силовые контакты как автоматического выключателя, так и контактора, подвержены износу и должны своевременно заменяться по окончании срока службы. В зависимости от нагрузки, категории применения, режима работы и т. п. обгорание материала контактов и, следовательно, электрический ресурс (число циклов) может быть больше или меньше. Заключение о состоянии силовых контактов должно даваться в ходе регулярных проверок и осмотров, проводимых персоналом технического обслуживания. Эту задачу и берет на себя устройство сигнализации остаточного ресурса для контактора. К примеру, исходя из повышенных требований к их эксплуатационной надежности, для контакторов системы сигнализации устанавливаются с отметками 60, 40 и 20 % остатка ресурса. Причем они имеют цветовую сигнализацию светодиодами соответственно зеленого, желтого и красного цвета, где последняя означает необходимость незамедлительного проведения капитального ремонта аппарата или его замену на новый. При этом ведется не подсчет количества циклов (он не позволяет определить степень износа контактов для контактора), а производится оценка фактического обгорания каждого из трех силовых контактов с обработкой и запоминанием информации и выдачей сигнала при достижении установленного предела. При отсутствии такого устройства степень износа возможно определить только квалифицированным персоналом путем осмотра контактов и инструментальным замером выработки пятна контакта силовых контактов контактора, что требует разборки корпуса аппарата и вывода его из работы на время технического обслуживания. Данное устройство позволяет визуально определить степень износа, не разбирая аппарат и не останавливая рабочий процесс, что существенно сокращает количество остановок производства на техническое обслуживание. Накопленная же информация в контроллере устройства сигнализации не утрачивается даже при исчезновении управляющего напряжения на контактах. Кроме того, такие устройства расширены информационным каналом связи для передачи необходимых параметров в ИСУ ТОиР.

Одним из известных путей решения является внедрение систем непрерывного контроля состояния коммутационных аппаратов, т. е. применение методики контроля остаточного ресурса автоматических выключателей [8].

Существует предложение следующего способа определения остаточного ресурса автоматических выключателей в электроустановках [9]. Он предусматривает измерение и запоминание значения тока i_j, вызывавшего срабатывание выключателя при каждом j-м отключении, где $j = 1, \ldots, n$, и вычисление коэффициента $k_1(I_j)$ – коэффициент, характеризующий механический износ автоматического выключателя вследствие разрыва токовой цепи при срабатывании, т. е. допустимое количество срабатываний в зависимости от коммутируемого тока i_j. А остаточный ресурс автоматического выключателя определяют по формуле

$$T(t) = T_0 - \sum_{j=1}^{n} k_1\left(I_j\right) - k_2 \int_0^t i^2 dt, \qquad (1)$$

где T_0 – полный ресурс автоматического выключателя, (количество коммутаций), соответствующий техническим условиям; k_2 – весовой коэффициент, равный расчетному коэффициенту ресурсного изнашивания автоматического выключателя; n – общее число срабатываний автоматического выключателя от начала эксплуатации; t – полное время работы автоматического выключателя.

Физический ресурс автоматического выключателя при его работе расходуется в результате изнашивания механических и электрических компонентов при воздействии протекающих токов, механических ударных нагрузок и электромеханических коммутационных процессов при отключениях. Интенсивность изнашивания определяется энергией воздействия на выключатель и может быть представлена суммой двух составляющих: электромеханической при отключениях и электрической при протекании тока в рабочем режиме. Электромеханическая составляющая изнашивания возникает при отключениях и зависит от величины разрываемого при коммутации тока. Исчерпание ресурса при отключении регламентируется заводами-изготовителями автоматических выключателей. Электрическая составляющая из-

нашивания пропорциональна тепловым потерям и, следовательно, интегралу от квадрата тока [10].

Работа системы происходит следующим образом. Сигналы с датчика срабатывания защиты и датчика тока автоматического выключателя, соединенного с нагрузкой, поступают на входы контроллера. Контроллер выполняет следующие функции:

аналого-цифровое преобразование выходного сигнала датчика тока;

запоминание значения тока i_j автоматического выключателя, вызвавшего его срабатывание при каждом j-м отключении, $j = 1, \ldots, n$, и вычисление коэффициента $k_1(i_j)$ в зависимости от тока;

отсчет времени t от начала эксплуатации автоматического выключателя;

вычисление остаточного ресурса автоматического выключателя по формуле (1);

сохранение данных о количестве срабатываний, токах, вызвавших срабатывания, а также остаточном ресурсе и передачи на внешнее устройство при необходимости для запоминания, хранения и дальнейшего использования.

В формуле (1) для вычисления остаточного ресурса автоматического выключателя слагаемые в правой части имеют следующий смысл:

$\sum_{j=1}^{n} k_1\left(I_j\right)$ – составляющая, характеризующая электромеханическое изнашивание автоматического выключателя;

$k_2 \int_0^t i^2 dt$ – составляющая, характеризующая электрическое изнашивание автоматического выключателя;

$k_1\left(I_j\right)$ – коэффициент, характеризующий механический износ автоматического выключателя вследствие разрыва токовой цепи, при срабатывании равен отношению регламентированного количества коммутаций без нагрузки к количеству коммутаций при токе i_j:

$$k_1\left(I_j\right) = \frac{T_0}{T(ij)}.$$

Количественные данные относительно ресурса указываются в технических данных автоматических выключателей и справочной литературе.

k_2 – коэффициент, характеризующий электрический износ автоматического выключателя вследствие протекания тока в процессе работы. Износ автоматического выключателя зависит от мощности, выделяющейся на замкнутых контактах. Приближенно этот коэффициент определяется по формуле

$$k_2 = \frac{1}{T_0 I_{\text{Н}}^2(t)}, \qquad (2)$$

где $I_{\text{н}}$ – номинальный ток автоматического выключателя.

В соответствии с формулой (2), при минимальном токе электрический износ практически отсутствует. При увеличении коммутируемого тока электрический износ возрастает по сравнению с обычным механическим износом.

Результаты измерений и вычислений сохраняются в памяти контроллера. Таким образом, в процессе эксплуатации автоматического выключателя непрерывно производится оценивание его остаточного ресурса с учетом электромеханической и электрической составляющих. Текущая оценка хранится в памяти контроллера и может использоваться для своевременной замены или ремонта автоматического выключателя.

Минусом данного способа применительно для автоматических выключателей номиналом 125…1600 А является упущение в расчетах влияния на износ контактов дугогасительной решетки. Кроме того, не учтен износ самого дугогасительного устройства. Также необходимо упомянуть, что на предприятиях основной функцией автоматического выключателя является защита потребителей от аварийных режимов работы и, как правило, редко коммутируют токи меньше номинального. Если проанализировать ресурсную характеристику автоматического выключателя, определенную заводом-изготовителем, механический износ мал по сравнению с электрическим. На основании вышесказанного формула определения остаточного ресурса требует основательной корректировки. Тем не менее, методика с применением контроллера устраивает применительно к системам ИСУ ТОиР [11].

Выводы

Существующая система обслужива-

ния автоматических выключателей не отвечает требованиям развивающегося агропромышленного комплекса. Актуально применение информационных технологий, систем непрерывного контроля и внедрение ИСУ ТОиР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эксплуатация электрооборудования / Г. П. Ерошенко, А. П. Коломиец, Н. П. Кондратьева, Ю. А. Медведько, М. А. Таранов. М. : КолосС, 2005. 344 с.
2. **Овчаров В. В.** Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев : Изд-во УСХА, 1990. 168 с.
3. **Сырых Н. Н., Кабдин Н. Е.** Теоретические основы эксплуатации электрооборудования : Учебное пособие для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений / Под ред. д.т.н., профессора Н. Н. Сырых. М. : Агробизнесцентр, 2007. 514 с.
4. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования / А. А. Пястолов, А. А. Мешков, А. Л. Вахромеев. М. : Колос, 1981. 335 с.
5. **Чунихин А. А.** Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. 3-е изд. М. : Энергоатомиздат, 1988. 720 с.
6. **Сырых Н. Н.** Эксплуатация сельских электроустановок. М. : Агропромиздат, 1986. 58 с.
7. **Намитоков К. К.** Испытания аппаратов низкого напряжения. М. : Энергоатомиздат, 1985. 248 с.
8. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей / Д. А. Андреев, И. А. Назарычев // Вестник ИГЭУ. 2008. Вып. 2. 107 с.
9. Пат. 2550337 Российская Федерация, МПК $G_{01}R$ 31/327 Способ определения остаточного ресурса автоматических выключателей / Малафеев С. И. , Тихонов Ю. В.; заявитель и патентообладатель Малафеев Сергей Иванович, Тихонов Юрий Васильевич. № 2013130162/07 ; заявл. 01.07.2013 ; опубл. 10.05.2015, Бюл. №13.
10. **Брон О. Б.** Электрическая дуга в аппаратах управления. М.-Л. : ГЭИ, 1954. 532 с.
11. Методические указания по определению расхода коммутационного ресурса выключателей при эксплуатации. Разработаны Научно-исследовательским центром по испытанию высоковольтной аппаратуры (НИЦ ВВА) / И. Л. Шлейфман. Утверждены 23.09.91.

REFERENCES

1. Ekspluatatsiya elektrooborudovaniya / G. P. Eroshenko, A. P. Kolomiets, N. P. Kondrat'eva, Yu. A. Medved'ko, M. A. Taranov. M. : KolosS, 2005. 344 p.
2. **Ovcharov V. V.** Ekspluatatsionnye rezhimy raboty i nepreryvnaya diagnostika elektricheskikh mashin v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve. Kiev : Izd-vo USKhA, 1990. 168 p.
3. **Syrykh N. N., Kabdin N. E.** Teoreticheskie osnovy ekspluatatsii elektrooborudovaniya : Uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh sel'skokhozyaystvennykh uchebnykh zavedeniy / Pod red. d.t.n., professora N. N. Syrykh. M. : Agrobiznestsentr. 2007. 514 p.
4. Montazh, ekspluatatsiya i remont elektrooborudovaniya / A. A. Pyastolov, A. A. Meshkov, A. L. Vakhromeev. M. : Kolos, 1981. 335 p.
5. **Chunikhin A. A.** Elektricheskie apparaty: Obshchiy kurs. Uchebnik dlya vuzov. 3-e izd. M. : Energoatomizdat, 1988. 720 p.
6. **Syrykh N. N.** Ekspluatatsiya sel'skikh elektroustanovok. M. : Agropromizdat, 1986. 58 p.
7. **Namitokov K. K.** Ispytaniya apparatov nizkogo napryazheniya. M. : Energoatomizdat, 1985. 248 p.
8. Analiz metodov otsenki kommutatsionnogo resursa vysokovol'tnykh vyklyuchateley / Andreev D. A., Nazarychev I. A. // Vestnik IGEU. 2008. Vyp. 2. 107 p.
9. Pat. 2550337 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01R 31/327 Sposob opredeleniya ostatochnogo resursa avtomaticheskikh vyklyuchateley. / Malafeev S. I. , Tikhonov Yu. V.; zayavitel' i patentoobladatel' Malafeev Sergey Ivanovich, Tikhonov Yuriy Vasil'evich. № 2013130162/07 ; zayavl. 01.07.2013 ; opubl. 10.05.2015, Byul. № 13.
10. **Bron O. B.** Elektricheskaya duga v apparatakh upravleniya. M.-L. : GEI, 1954. 532 p.

11. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu raskhoda kommutatsionnogo resursa vyklyuchateley pri ekspluatatsii. Razrabotany Nauchno-issledovatel'skim tsentrom po ispytaniyu vysokovol'tnoy apparatury (NITs VVA) / I. L. Shleyfman. Utverzhdeny 23.09.91.

***Власюк Иван Владимирович**, аспирант, ассистент*
Тел. 8-965-302-13-56
E-mail: 89653021356@yandex.ru

***Парамонов Сергей Юрьевич**, магистрант*
Тел. 8-985-760-52-37
E-mail: baykal578@yandex.ru

***Белов Сергей Иванович**, канд. техн. наук, доцент*
Тел. 8-915-247-50-17
E-mail: sbelov_@mail.ru
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49