



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИСКАЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

В.И. Зацепина<sup>1</sup>, Е.П. Зацепин<sup>1</sup>, П.И. Скоморохов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия

<sup>2</sup>Филиал АО «СО ЕЭС» Липецкое РДУ, г. Липецк, Россия

vizats@gmail.com

**Резюме:** В большинстве случаев любой ненормальный режим в распределительной электрической сети ликвидируется действием устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), т.е. – происходит отключение поврежденного элемента. Гораздо сложнее постоянно поддерживать в норме ключевые показатели качества электрической энергии в сети. С появлением управляемых преобразователей напряжения на базе транзисторов IGCT и IGBT были разработаны статические синхронные компенсаторы STATCOM. Основным недостаток подобного рода устройств в том, что выдаваемое ими управляющее воздействие статично. В условиях повышенной вероятности возникновения ненормальных режимов гораздо более эффективной будет их динамическая компенсация. В процессе исследования использованы методы динамического непрерывного воздействия на синусоиду напряжения в распределительной электрической сети. Разработка теоретического подхода сопровождалась постоянным мониторингом существующих и разрабатываемых технических решений, сопряженных с поставленной в работе задачей. Объектом исследования служила распределительная электрическая сеть промышленных предприятий с резкопеременным характером негативных сетевых возмущений. Разработан способ динамического подавления амплитудно-фазных искажений напряжения на основе восстановления кривой напряжения за счет непрерывного введения в сеть кривой компенсационного напряжения через вольтодобавочный трансформатор. Более быстрое формирование управляющего воздействия по сравнению с аналогами позволяет эффективнее реагировать на негативные сетевые возмущения в распределительных сетях, особенно если характер их возникновения резко изменяющийся. Предложенный способ предназначен для поддержания показателей качества электроэнергии в допустимых пределах в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013.

**Ключевые слова:** качество электроэнергии, регулирование напряжения, искажения напряжения, сетевые возмущения, динамическая компенсация.

**Для цитирования:** Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Скоморохов П.И. Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения посредством комбинированного воздействия на искажения напряжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т.21.№ 5.С.81-88. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-79-86. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-79-86.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF POWER SUPPLY SYSTEMS THROUGH THE COMBINED EFFECT OF VOLTAGE DISTORTION

VI Zatsepina<sup>1</sup>, EP Zatsepin<sup>1</sup>, PI Skomorokhov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

<sup>2</sup>Branch of JSC «SO UES» Lipetsk RDM, Lipetsk, Russia

vizats@gmail.com

**Abstract:** In most cases, any abnormal mode in the distribution electrical network is eliminated by the action of relay protection and automation devices (RPA), i.e. - there is a shutdown of the damaged item. It is much more difficult to constantly maintain the normal key indicators of the quality of electrical energy in the network. With the advent of controlled voltage converters based on transistors IGCT and IGBT, static synchronous compensators STATCOM were developed. The main disadvantage of this kind of device is that the control output generated by them is static. Under conditions of increased likelihood of abnormal conditions, their dynamic compensation will be much more effective. In the process of research, the methods of dynamic continuous action of voltage on a sinusoid in a distribution electric network were used. The development of a theoretical approach was accompanied by constant monitoring of existing and developed technical solutions associated with the task set in the work. The object of the study was the distribution electrical network of industrial enterprises with a sharply alternating nature of negative network perturbations. A method has been developed for dynamic suppression of amplitude-phase voltage distortions on the basis of restoring the voltage curve due to the continuous introduction of a compensation voltage curve into the network via a booster transformer. A faster formation of the control action in comparison with analogues allows us to more effectively respond to negative network perturbations in distribution networks, especially if the nature of their occurrence changes dramatically. The proposed method is designed to maintain the quality of electricity within acceptable limits in accordance with the requirements of Russian State Standard 32144-2013.

**Keywords:** power quality, voltage regulation, voltage distortion, network disturbances, dynamic compensation.

**For citation:** Zatsepina VI, Zatsepin EP, Skomorokhov PI. Improving the efficiency of power supply systems through the combined effect of voltage distortion. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2019; 21(5):79-86. (In Russ). doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-79-86.

## Введение

Совокупность нарастающих возмущений в сети провоцирует развитие энергетических аварий. Так, например, 10 ноября 2009 года нарушение электроснабжения затронуло более 50 миллионов человек, проживающих в Бразилии и Парагвае. Миллионы людей остались без электричества в крупнейших бразильских городах Рио-де-Жанейро и Сан-Паулу. Ураган, бушевавший в районе электростанции, спровоцировал перегрузки в сети, что привело к обесточиванию отдельных участков по «принципу домино» и всеерному отключению электричества. ГЭС «Итайпу» обеспечивает 20% потребностей Бразилии в электроэнергии и 90% – потребностей Парагвая. Отключение электроснабжения чуть менее чем на 24 часа привело к весомым разрушительным последствиям для экономики этих стран.

Влияние резкопеременного характера нагрузочных режимов для любой высоковольтной распределительной сети сказывается ухудшением параметров качества электрической энергии таких как амплитудно-фазные искажения напряжения (АФИН) при коммутациях отдельных видов электроприемников. Ввиду большого их количества и частоты возникновения возникает необходимость в их динамической компенсации. Так как статические компенсирующие устройства не обладают широким диапазоном регулирования при отсутствии постоянной корректировки параметров настройки устройства, приходится полагаться только на динамическую компенсацию. Но при резкопеременном характере негативных сетевых возмущений мало обеспечивать динамический характер компенсации. Гораздо более важно – максимально быстро выдавать управляющее воздействие для точного сфазирования добавляемого в сеть через вольтодобавочный трансформатор напряжения и напряжения самой распределительной сети. Таким образом, актуальной является разработка методов защиты распределительных электрических сетей от сетевых возмущений с целью обеспечения потребителей электроэнергией требуемого качества и синхронизации работы отдельных контуров энергосистемы между собой.

## Методы исследования

Известные способы ликвидации ненормальных режимов в системах электроснабжения [1-3], направлены на уменьшение времени прекращения подачи электроэнергии за счет ухудшения ее качества, что с позиции потребителя не является решением сложившейся проблемы, а только способом уходом от нее. Также последнее

время ведутся активные разработки динамической защиты систем электроснабжения [4, 5]. Данные системы имеют существенные преимущества по сравнению со статическими компенсирующими устройствами, однако имеют достаточно высокую стоимость. Главным недостатком таких систем является узкая направленность их использования. При этом очевидно, что разработку устройства комплексного подавления амплитудно-фазных искажений напряжения следует вести с учетом перспектив развития объединенной энергетической системы [6, 7-13].

#### Разработка решения

Для обеспечения требуемой безотказности электроснабжения промышленных предприятий в аварийных ситуациях, вызванных неопределенным по месту и времени воздействием АФИН, предлагается разработать способ комплексного динамического подавления, предназначенного для решения задач идентификации и компенсации провалов, перенапряжений и высших гармонических составляющих. Обобщенная структурная схема такого решения представлена на рис. 1.

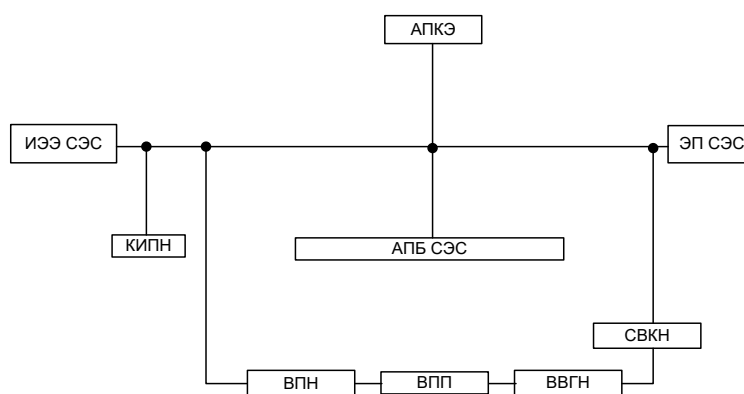


Рис. 1. Обобщенная структурная схема разработанного решения комплексного подавления амплитудно-фазных искажений напряжения

Изображенные на рис. 1 блоки отображают следующее: ИЗЭ СЭС – источники электроэнергии системы электроснабжения; АПКЭ – анализатор показателей качества электроэнергии; АПБ СЭС – анализатор показателей безотказности системы электроснабжения; ЭП СЭС – электроприемники системы электроснабжения; ВПН – восстановитель провалов напряжения; ВПП – восстановитель перенапряжения; ВВГН – восстановитель высших гармоник напряжения; КИПН – компенсатор импульсных перенапряжений; СВКН – синхронизатор ввода компенсирующего напряжения. Опираясь на предложенную структуру, было разработано устройство комбинированного регулирования напряжения сети [11]. Схема устройства представлена на рис. 2.

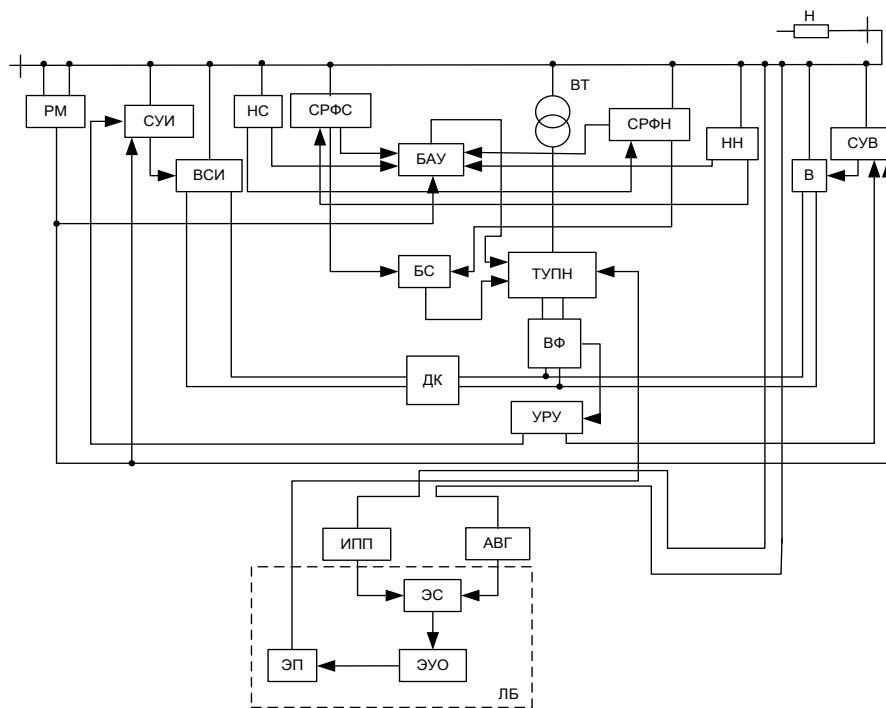


Рис. 2. Устройство комбинированного регулирования напряжения сети

В состав устройства входят: вольтодобавочный трансформатор (ВТ); демпфирующий контур постоянного тока (ДК), подключенный между выпрямителем и ведомым инвертором, состоящий из параллельно включенного конденсатора и последовательно включенной катушки индуктивности; тиристорный управляемый преобразователь напряжения (ТУПН); входной фильтр с датчиком направления тока (ВФ); синхронизированная и сфазированная с сетью система регулирования фазы выходного напряжения тиристорного управляемого преобразователя напряжения относительно напряжения сети (СРФС); выпрямитель (В); синхронизированная с частотой сети и сфазированная с напряжением нагрузки система управления выпрямителем (СУВ); ведомый инвертор (ВСИ); синхронизированная с частотой сети и сфазированная с напряжением сети система управления ведомым инвертором (СУИ); узел раздельного управления выпрямителем и ведомым инвертором (УРУ); датчик отклонения напряжения нагрузки (НН); датчик реактивной мощности сети (РМ); блок автоматического управления тиристорным управляемым преобразователем напряжения, включенным во вторичную обмотку вольтодобавочного трансформатора (БАН); синхронизированная и сфазированная с нагрузкой система регулирования фазы выходного напряжения тиристорного управляемого преобразователя напряжения относительно напряжения нагрузки (СРФН); датчик отклонения напряжения сети (НС); нагрузка (Н); блок синхронизации (БС); логический блок (ЛБ); измеритель провалов напряжения и перенапряжений (ИПП); анализатор высших гармоник (АВГ); элемент суммирования сигналов с измерителя провалов напряжения и перенапряжений и анализатора высших гармоник 20 (ЭС); элемент умножения сигнала на отрицательную единицу (ЭУО); элемент преобразования сигнала в двоичный код (ЭП).

В целях решения задачи по увеличению быстродействия компенсации искажений напряжения предлагается внедрить в алгоритм работы данного устройства специального логического блока (рис. 3).

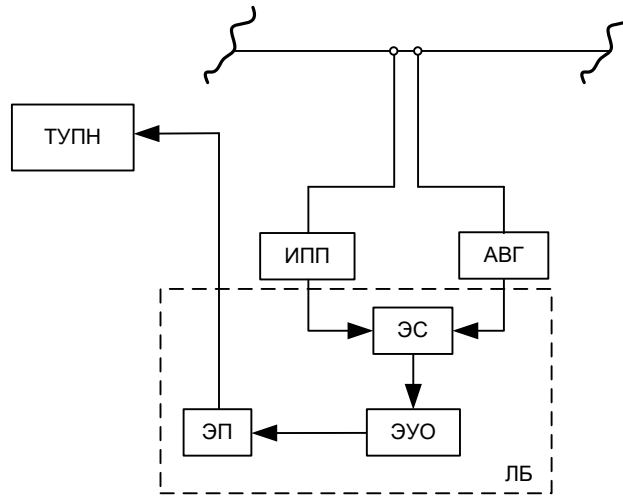


Рис. 3 Логический блок

Ключевой особенностью выполняемого алгоритма в предлагаемом способе комбинированной нормализации напряжения в электрической сети является наиболее точное формирование компенсирующей кривой напряжения. При этом важно также учитывать быстроту ее введения в сеть через вольтодобавочный трансформатор. Выражение для формирования кривой компенсационного напряжения определяется следующим образом:

$$U_{\Delta}(t) = -(U_{\text{ВГ}}(t) + U_{\text{ПЕР}}(t) + U_{\text{ПРОВ}}(t)) = U_{\text{АФИН}}(t - \varphi_{\text{АФИН}}), \quad (1)$$

где  $U_{\text{ВГ}}(t)$  – напряжение от воздействия высших гармонических составляющих напряжения, В;  $U_{\text{ПЕР}}(t)$  – напряжение от воздействия перенапряжения, В;  $U_{\text{ПРОВ}}(t)$  – напряжения провала, В;  $U_{\text{АФИН}}(t)$  – суммарная кривая амплитудно-фазных искажений напряжения;  $\varphi_{\text{АФИН}}$  – противофаза от суммарного искажения.

Измеритель провалов напряжения и перенапряжений (ИПП) получает из сети информацию об амплитуде отклонения напряжения от требуемого, которая поступает на вход логического блока (ЛБ), а анализатор высших гармоник (АВГ) получает из сети информацию о высших гармонических составляющих напряжения сети, которая также поступает на вход логического блока. Сигнал, поступающий с элемента суммирования сигналов (ЭС) с ИПП и АВГ, поступает на вход элемента умножения сигнала на отрицательную единицу (ЭУО), с выхода которого поступает на вход преобразователя сигнала в двоичный код и далее поступает с выхода логического блока на тиристорный управляемый преобразователь напряжения (ТУПН), где формируется  $U_{\Delta}(t)$ . До попадания сигнала на ЭУО кривая напряжения от действующих на сеть возмущений, определяется следующим видом:

$$U_{\text{ВОЗМ}}(t) = U_{\text{АИН}} \sin(2\pi f t + \varphi) + U_3 \sin(2\pi f_3 t + \varphi_3) + \dots + U_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n), \quad (2)$$

где  $U_{\text{АИН}}$  – величина отклонения напряжения сети по амплитудной составляющей, В;  $\varphi$  – отставание по фазе напряжения основной частоты, град.;  $U_3 \dots U_n$  – амплитуда высших гармонических составляющих, превышающая допустимую, В;  $f_{г.3} \dots f_{г.n}$  – частота высших гармоник напряжения, Гц;  $\varphi_3 \dots \varphi_n$  – отставание по фазе фаз высших гармоник от фазы напряжения основной частоты, град;  $n$  – номер гармоники, кратный трём.

После инвертирования выражения (2) на ЭУО получается выражение для требуемой кривой компенсационного напряжения, которую предполагается вводить в сеть через вольтодобавочный трансформатор:

$$U_{\Delta}(t) = -U_{\text{АИН}} \sin(2\pi f t + \varphi) -$$

$$-\left[U_3 \sin(2\pi f_3 t + \varphi_{г.3}) + \dots + U_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n)\right]. \quad (3)$$

Учитывая, что разработанный принцип нормализации напряжения базируется на противофазной компенсации, выражение (3) примет вид

$$U_{\Delta}(t) = U_{\text{АИН}} \sin(2\pi f t - \varphi) + U_3 \sin(2\pi f_3 t - \varphi_3) + \dots + U_n \sin(2\pi f_n t - \varphi_n). \quad (4)$$

Таким образом, остается выбрать способ кодирования информации, содержащейся в выражении (4), а также определить параметры, которые необходимо будет преобразовывать в двоичный код, для дальнейшей их транспортировки от ЭП к ТУПН, где впоследствии будет на основании полученного набора кодов формироваться синусоида требуемой формы.

Реализация подачи напряжения, кривая которого имеет требуемую форму, на сегодняшний момент осуществляется, как правило, на базе тиристорного управления преобразователем напряжения при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сигнала. При ШИМ сигнала посредством мгновенных сообщений изменяется длительность и ширина импульсов переносчика информации, увеличивая ширину при возрастании мгновенного значения сообщения и уменьшая ширину при его снижении за счет особого положения заднего фронта импульса. Частота и амплитуда импульсов при ШИМ остаются постоянными.

При ШИМ информацию несет только длительность импульса. Неизбежное искажение фронтов импульса приводит к погрешности передачи информации, а с учётом резкопеременного характера негативных возмущений, искажение может быть весьма существенным. На выходе линии связи за счёт условия ограниченности полосы ее пропускания  $\Delta f_{\text{связи}}$  формируется вместо требуемого прямоугольного импульса трапецеидальный с длительностью фронта  $t_{\text{фронта}} = 1/\Delta f_{\text{связи}}$ . За счет порога срабатывания приемника это дает погрешность при передаче информации.

Таким образом, при ШИМ необходимо обеспечивать малое искажение фронтов при передаче сигнала, формирующего в тиристорном управляемом преобразователе компенсационную синусоиду напряжения  $U_{\Delta}(t)$ . Данный аспект в условиях требуемой компенсации негативных сетевых возмущений резкопеременного характера не имеет места быть реализованным. В связи с этим, более оптимальным вариантом модуляции, чем ШИМ синусоидального сигнала компенсационного напряжения, является кодоимпульсная модуляция (КИМ). Ширина спектра КИМ – сигнала определяется длительностью элементарного импульса. При кодоимпульсной модуляции каждому значению амплитуды сигнала соответствует определенный набор импульсов, а количество уровней квантования определяется разрядностью двоичного кода. Например, для передачи сигнала с погрешностью квантования, не превышающей 1%, необходимо каждый отчет кодировать шестьюразрядным кодом. Спектр КИМ-сигнала определяется выражением

$$\Delta f_{\text{КИМ}} = 2n f_{\text{и.с.}}, \quad (5)$$

где  $n$  – разрядность кода;  $f_{\text{и.с.}}$  – спектр информационного сигнала.

В целом, к преимуществам КИМ в реализации нормирования напряжения в электрической сети относятся:

- более высокое быстродействие по сравнению с ШИМ;
- большая широкополосность (до 45 МГц);
- охват широкого спектра высших гармоник;
- лучшая помехоустойчивость.

Далее преобразователь формирует компенсационную кривую и подает ее на вход вольтодобавочного трансформатора. С учетом воздействия датчиков синхронизации устройства [14] компенсационное напряжение вводится в сеть, где и происходит компенсация напряжения в динамическом режиме. Замкнутость и отсутствие коммутационных элементов в схеме управления обеспечивает потребителей электроэнергией требуемого качества непрерывно. Данный факт должен существенно повышать безотказность систем электроснабжения промышленных предприятий и отдельных их элементов.

## Выводы

Стоит отметить, что данный подход может быть применим для повышения энергоэффективности практически любых предприятий, в том числе и металлургических. Постоянное возрастание количества промышленных предприятий, модернизация и укрупнение мощностей существующих промышленных производств приводит к тому, что процесс изменения нагрузок в различных территориальных энергосистемах, равно как и появление негативных возмущений в системах электроснабжения, становится всё труднее спрогнозировать [15]. Именно поэтому решение проблемы увеличения качества электроэнергии должно быть основано на максимальном быстром действии, а также воздействовать одновременно на несколько типов сетевых возмущений, чему соответствует разрабатываемое устройство и, в частности, алгоритм формирования управляющего воздействия.

## Литература

1. Фёдоров О.В. Некоторые особенности структуры систем внутрицехового электроснабжения // Надежность и безопасность энергетики. 2015. № 3. С. 30-33
2. Шпиганович А.Н., Рычков А.В. Анализ полной компенсации реактивной мощности при наличии вентильной нагрузки // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. № 2. С. 18-24.
3. Zatsepina V.I., Zatsepin E.P. Reliability of power supply systems under the influence of negative factors // 2017 Int. Conf. on Industrial Engineering, Application and Manufacturing (ICIEAM). 2017. pp.1-4.
4. Wang P., Xu J. Q., Su J. The research of urban distribution network high-reliability power supply construction International conf. on advanced power system automation and protection (Beijing). 2011. pp. 1497-1500.
5. Б.Н. Абрамович и др.; Устройство регулирования отклонений напряжения и реактивной мощности электрической сети. Патент 2453021. Российская Федерация, МПК H02J 3/00 (2006/01) №2011118261/07; опубл. 10.06.2012, Бюл. № 16.
6. Родимов Н.В. Анализ систем повышения качества электрической энергии при активной фильтрации гармонических искажений сети // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 2 (30). С. 198-207.
7. Cebrian J.C., Kagan N. Hybrid Method to Assess Sensitive Process Interruption Costs Due to Faults in Electric Power Distribution Networks // in IEEE Transactions on Power Delivery. 2010. V.25. №3. pp. 1686-1696.
8. Filimonova A.A., Zatsepin E.P., Zatsepina V.I. Multilevel control of power consumption at metallurgical plants // Int. Russian Automation Conf. pp. 1-4, 2018.
9. Грачева Е.И., Копытова Н.А. Анализ потерь электроэнергии систем цехового электроснабжения // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2011. №9-10. С. 78-85.
10. Грунтович Н.В., Грунтович Н.В., Ефремов Л.Г., Федоров О.В. Совершенствование систем управления энергетической эффективностью и экономической безопасностью промышленных предприятий // Вестник Чувашского университета. 2015. № 3. С. 40-48.
11. Xu Q. Analysis and Control of M3C-Based UPQC for Power Quality Improvement in Medium/High-Voltage Power Grid. In IEEE Transactions on Power Electronics. 2016. V.31. N.12 pp.8182-8194.
12. Шпиганович А.Н., Рычков А.В. Оптимизация компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения со специфичной нагрузкой // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. № 1. С. 28-32.
13. Грачева Е.И., Садыков Р.Р. Формирование моделей оценки эксплуатационной надежности систем внутризаводского электроснабжения // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2017. № 1. С. 27-38.
14. Шпиганович А.Н., Зацепин Е.П., Скоморохов П.И. Устройство комбинированного регулирования напряжения сети. Патент № 168544 Российская Федерация, МПК H02J 3/00 (2006/01) опубл. 08.02.2017, Бюл. № 4.
15. Зацепина В.И., Шачнев О.Я., Кушникова А.О. Рациональный анализ нагрузочных характеристик системой управления электроприемниками // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2018. № 2. С. 3-12.

### Авторы публикации

**Зацепина Виолетта Иосифовна** – д-р технических наук, профессор кафедры электрооборудования, Липецкий государственный технический университет.

**Зацепин Евгений Петрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования, Липецкий государственный технический университет.

**Скоморохов Павел Игоревич** – ведущий специалист службы электрических режимов, Филиал АО «СО ЕЭС» Липецкое РДУ.

### References

1. Fedorov OV. Some features of the structure of the internal power supply systems. *Reliability and safety of energy*. 2015;3:30-33.
2. Shpiganovich AN, Rychkov AV. Analysis of full reactive power compensation in the presence of a valve load. *News of Higher Educational Institutions of the Chernozyom Region*. 2018;2:46-57.
3. Zatssepina VI, Zatssepina EP. *Reliability of power supply systems under the influence of negative factors. 2017 Int. Conf. on Industrial Engineering, Application and Manufacturing (ICIEAM)*. 2017. pp. 1-4.
4. Wang P, Xu J. Q, Su J. The research of urban distribution network high-reliability power supply construction. *International conf. on advanced power system automation and protection (Beijing)*. 2011. pp. 1497-1500.
5. Abramovich N. etc. *Ustroistvo regulirovaniya otklonenii napryazheniya i reaktivnoi moshchnosti elektricheskoi seti* Patent RF. Device for control of voltage deviations and reactive power of an electrical network, N. 2453021, 2012.
6. Rodimov NV. Analysis of systems to improve the quality of electrical energy with active filtering of harmonic distortion of the network. *Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet*. Admiral SO. Makarov. 2015;2:198-207.
7. Cebrian JC, Kagan N. Hybrid Method to Assess Sensitive Process Interruption Costs Due to Faults in Electric Power Distribution Networks. *In IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010;25(3):1686-1696.
8. Filimonova AA, Zatssepina EP, Zatssepina VI. *Multilevel control of power consumption at metallurgical plants. Int. Russian Automation Conf.* 2018. pp. 1-4.
9. Gracheva EI, Kopyitova NA. Analysis of power losses of shop power systems. *Proceedings of higher educational institutions. Problems of energy*. 2011;9-10:78-85.
10. Gruntovich NV, Gruntovich NV, Efremov LG, Fedorov OV. Improving the management systems of energy efficiency and economic security of industrial enterprises. *Bulletin of the Chuvash* 2015;3:40-48.
11. Xu Q. Analysis and Control of M3C-Based UPQC for Power Quality Improvement in Medium High-Voltage Power Grid. *In IEEE Transactions on Power Electronics*. 2016;31(12):8182-8194.
12. Shpiganovich AN, Rychkov AV. Optimization of reactive power compensation in power supply systems with a specific load. *News of Higher Educational Institutions of the Chernozyom Region*. 2016;1:28-32.
13. Gracheva EI, Sadykov RR. Formation of models for assessing the operational reliability of internal power supply systems. *News of Higher Educational Institutions of the Chernozyom Region* 2017;1:27-38.
14. Shpiganovich AN, Zatssepina EP, Skomorokhov PI. *Device for combined voltage regulation. Utility Model*. № 168544. 2017
15. Zatssepina VI, Shachnev OYa, Kushnikova AO. Rational analysis of the load characteristics of the control system of electrical receivers. *News of Higher Educational Institutions of the Chernozyom Region*. 2018;2:3-12.

### Authors of the publication

**Violetta I. Zatssepina** – Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.

**Eugeny P. Zatssepina** – Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.

**Pavel I. Skomorokhov** – Branch of JSC «SO UES» Lipetsk RDM, Lipetsk, Russia.

Поступила в редакцию

11 июля 2019г.