



УДК 658.382

## ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

П.С.ОРЛОВ

*Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Ярославль, Россия*

В статье рассматривается проблема обеспечения надежности электроснабжения объектов строительства, предлагаются способы снижения потерь в распределительных сетях, повышающих надежность электроснабжения.

Основное внимание уделено повышению пропускной способности распределительных электрических сетей, надежности электроснабжения и безопасности однофазных потребителей электрического тока.

Инженерно-техническое предложение относится к области электротехники, в частности к электроснабжению однофазных потребителей от трехфазных сетей, в том числе потребителей строительной отрасли, и может быть использовано в трехфазных трех-, четырех- и пятипроводных распределительных электрических сетях переменного тока.

**Ключевые слова:** электроснабжение; надежность электроснабжения; строительное производство; строительные объекты; симметричное распределение однофазной нагрузки; симметрирующее устройство.

**Как цитировать эту статью:** Орлов П.С. Инженерно-технические мероприятия по повышению надежности электроснабжения объектов строительства // Записки Горного института. 2016. Т. 222. С. 845-851. DOI 10.18454/PMI.2016.6.845

**Актуальность проблемы обеспечения надежности электроснабжения строительной площадки.** Современное общество трудно представить без использования электрической энергии. Она применяется во всех отраслях народного хозяйства, в том числе и в строительстве.

Для нормального электроснабжения потребителей созданы объединенные электроэнергетические системы, к функционированию которых предъявляются высокие требования по надежности электроснабжения и качеству электрической энергии.

Нарушения работоспособности электроэнергетических систем сопровождаются комплексом отрицательных явлений, последствия которых носят социально-экономический характер. Перебои электроснабжения и недоотпуски электроэнергии потребителям строительного производства служат причиной возникновения существенных потерь: недоиспользование или непроизводительный расход ресурсов, недовыпуск или снижение качества продукции, порча оборудования, дополнительные расходы на средства производства, пожары, взрывы и т.д.

Эти потери принято называть ущербами от нарушения электроснабжения. Ущерб представляет собой комплексный экономический показатель надежности электроснабжения потребителей и является одной из важнейших характеристик, определяющих понятие надежности и качества в электроэнергетике.

Известно, что в отдельных энергетических системах в современных российских условиях число аварий достигает нескольких десятков в год, а годовой недоотпуск электрической энергии в результате аварий – миллионов киловатт-часов. При такой высокой аварийности оценка надежности отдельных элементов электрических сетей, оборудования и установок и поиск возможных путей повышения их надежности, как в процессе эксплуатации, так и при проектировании, становится первоочередной задачей [11].

Любые, даже кратковременные и редкие нарушения надежности и качества функционирования электроснабжающих систем, могут приводить к длительным расстройствам процесса строительства, остановке производства строительных конструкций и материалов и другим последствиям.

Низкая надежность электроснабжения потребителей обусловлена в первую очередь устаревшими требованиями правил устройства электроустановок в части длительности допустимых перерывов электроснабжения электропотребителей второй и третьей категорий. Кроме того, перестало обновляться оборудование, прекратилось строительство новых линий электропередач взамен аварийных и вышедших из строя, сократились темпы сетевого строительства, уменьшилось финансирование средств на реконструкцию и техническое перевооружение сетей, что сопровождается ростом износа основных фондов предприятий электрических



сетей, необходимостью эксплуатировать воздушные линии и трансформаторные подстанции, которые отработали нормативные сроки службы. Все это привело к повышению аварийности оборудования и снижению надежности электроснабжения [4,11].

Большинство работ, выполняемых при строительстве и обслуживании линий электропередач, относится к работам с повышенной опасностью, поэтому в монтажных и обслуживающих воздушные линии (ВЛ) электропередач организациях достаточно высок риск травматизма работников. В процессе строительства ВЛ и подстанций напряжением до 35 кВ 23,2 % всех травм приходится на строительно-монтажные работы, 26,8 % травм связано с эксплуатацией подъемно-транспортного оборудования, в процессе производства ремонтных и подсобных работ травматизм достигает 35,7 % [9].

Основное количество электротравм происходит в электрических сетях – 84 % всех случаев, 56 % из которых смертельные, поэтому электротравматизм наиболее опасен, поскольку чаще других причин приводит к смертельному исходу. По статистическим данным разных стран электротравмы составляют менее 1 % от общего числа несчастных случаев, но являются причиной гибели и тяжелых увечий 50 % получивших электротравму.

Анализ причин электротравматизма в РФ показывает, что 40-45 % электротравм связано с нарушением правил эксплуатации электрооборудования, что приводит к снижению сопротивления изоляции, появлению напряжения на нетоковедущих проводящих частях оборудования; 25-30 % электротравм вызвано несоответствием оборудования рабочего места требованиям безопасности, нарушением должностных инструкций; 30-35 % – нарушением требований проекта при монтаже конструкций (отсутствие ограждений, сигнализации, блокировки, наличие открытых токоведущих частей) [9].

Все это свидетельствует о том, насколько актуальна проблема надежности электроснабжения, в том числе и в строительной отрасли.

**Электроснабжение объектов строительства.** Задача электроснабжения объектов строительства – непрерывное обеспечение электроэнергией электрических приемников, оптимизация параметров систем энергоснабжения путем правильного выбора номинальных напряжений, условий присоединения к энергосистеме, выбор электрооборудования на основе расчета электрических нагрузок, компенсация реактивных нагрузок, рациональное распределение электроэнергии, обеспечение защиты электроустановок, а задачей электропотребления является организация безопасных и экономичных режимов работы при минимальных финансовых затратах и сокращение потерь электроэнергии.

Потребителями электрической энергии в строительстве являются строительные площадки, которые условно можно разделить на крупные (строительство крупных промышленных предприятий и комплексов), средние (строительство средних по объемам промышленных предприятий) и мелкие (строительство жилых зданий, объектов социально-культурного назначения) [12].

В целом площадки строительства в соответствии с требованиями, предъявляемыми к составу стройгенплана, должны содержать: сеть временного электроснабжения, площадки укрупнительных сборок, временные производственные здания, склады и другие сооружения, необходимые и используемые на период строительно-монтажных работ, осветительные и бытовые установки, строительно-монтажные краны, станки в ремонтных мастерских, строительные машины, механизмы, инструмент и другое, что является потребителем электроэнергии.

К основным потребителям электроэнергии, используемым на строительных объектах, можно отнести следующее оборудование: электрические двигатели подъемных и вспомогательных машин; сварочные аппараты; нагревательные устройства; приборы освещения и т.д.

Расходы на электроэнергию в общей стоимости строительно-монтажных работ колеблются в пределах от 0,5 до 1,5 %. Большая часть электроэнергии (до 70 %) расходуется на питание электродвигателей строительных машин и механизмов, около 20 % приходится на технологические нужды (электросварку, электропрогрев бетона и монтажных стыков в зимнее время, электрокалориферную сушку помещений при отделочных работах и т.п.) и 10 % расходуется на наружное и внутреннее освещение территории строительной площадки, мест производства работ в темное время, строящихся зданий и сооружений, административных, культурно-бытовых, подсобных и складских помещений [5].



Кроме строительной площадки в надежном электроснабжении нуждаются заводы строительной индустрии (железобетонных, металлических и деревянных конструкций и изделий), предприятия по производству кирпича, бетона, раствора, лакокрасочных покрытий, ремонтные цеха.

Электрические сети, используемые на строительных объектах, могут быть запитаны как от подземных, так и воздушных линий электропередач (ЛЭП). Учитывая специфику строительных работ, подразумевающих постоянную смену местоположения основных потребителей, электроснабжение объекта предпочтительнее организовывать посредством воздушных ЛЭП. Подземные линии подводятся к строительной площадке только в тех случаях, когда использование воздушных ЛЭП создает опасность для строителей.

При отсутствии районных высоковольтных сетей и невозможности получения электроэнергии от электростанций промышленных предприятий, расположенных поблизости от строительной площадки, прибегают к установке временных стационарных или передвижных электростанций. К ним относятся локомобильные и дизельные электростанции мощностью от 28 до 258 кВт, а также энергопоезда, представляющие собой мощные передвижные тепловые электростанции, монтируемые в 8-12 вагонах.

Электроприемниками являются электродвигатели приводов строительных машин и механизмов, технологические установки электропрогрева бетона, нагреватели, сварочные агрегаты, выпрямительные устройства, высокочастотные установки, электрические лампы осветительных установок, радиоэлектронная аппаратура.

Все приемники могут быть включены в распределительную сеть одного напряжения или в электрические сети разных напряжений.

Электрические сети строительных площадок и предприятий по производству строительных материалов могут быть постоянного и временного использования. Они должны обеспечивать: надежность электроснабжения; качество передаваемой электроэнергии; безопасность электротехнического и неэлектротехнического персонала при эксплуатации сетей и электроустановок; экономичность, т.е. снижение затрат при сооружении и эксплуатации сетей и установок; изменение конфигурации сетей в связи с изменением технологии строительного производства; снижение потерь электроэнергии в сетях; экологичность, т.е. отсутствие вредного влияния на окружающую среду.

Известно, что по степени надежности электроснабжения правилами устройства электроустановок предусмотрено три категории электроприемников [8, 10, 12].

К первой категории относятся электроприемники и комплексы электроприемников, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой значительный ущерб, повреждение основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство технологического процесса. Эти приемники должны иметь возможность обеспечения электроэнергией не менее чем от двух независимых источников питания. Нарушение их электроснабжения допускается только на время автоматического восстановления электроснабжения от второго источника.

На строительной площадке к первой категории электроприемников можно отнести насосы и установки спринклерного пожаротушения и пожарных гидрантов; системы пожарной сигнализации; комплекс средств охранной сигнализации; системы оповещения и эвакуации при пожаре; эвакуационное и аварийное освещение; общепромышленные установки, в том числе используемые в строительстве, а также насосы, компрессоры и т.п.

Ко второй категории относятся электроприемники и их комплексы, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недовыпуску продукции, простоям рабочих и механизмов. Они должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания. Перерыв в электроснабжении допускается на время, необходимое для оперативного переключения на второй источник, дежурным персоналом.

К электроприемникам второй категории, занятых в процессе строительства или производства строительных материалов и конструкций, относятся: строительные машины и механизмы; электротехнологические установки, в том числе электронагревательные установки, установки электроискровой и ультразвуковой обработки металлов, электросварочное оборудование, электроустановки, в том числе для передачи и распределения электроэнергии, состоящие из трансформаторных подстанций и распределительных устройств, соединенных электрическими линиями, обеспечивающими их связь с приемниками электроэнергии, для электроосвещения терри-



тории строительства, приобъектных складов, дорог, проездов; некоторые вентиляционные и компрессорные станции, а также электродвигатели насосов и вентиляторов, не относящихся к первой категории, рабочее электроосвещение, электробытовые приборы.

Нарушение электроснабжения потребителей второй категории связано с простоями рабочих, механизмов и транспорта, возникновением брака.

К третьей категории относятся электроприемники и их комплексы, не попадающие под определения первой и второй категорий. Электроснабжение их может осуществляться от одного источника питания. Перерыв электроснабжения допускается на время проведения восстановительных работ, но не более одних суток.

Так, например, к третьей категории объектов, обеспечивающих процесс строительства, относятся отдельные точки наружного освещения, электрифицированный инструмент и др.

### **Проблемы надежности электроснабжения объектов строительства и пути решения.**

Как отмечалось выше, строительные машины и механизмы, без которых невозможно строительство зданий и сооружений, относятся ко второй категории электроприемников. Большинство строительных машин оборудованы асинхронными двигателями: грузоподъемные машины с электроприводом оснащены асинхронными электродвигателями трехфазного переменного тока; на грузоподъемных машинах большой мощности применяют асинхронные двигатели с фазовым ротором, позволяющим регулировать частоту их вращения и осуществлять мягкую посадку груза; конвейеры, работающие длительное время с постоянной нагрузкой и при значительных изменениях атмосферных условий в разное время года, большой запыленности и влажности, оснащены асинхронными двигателями, удовлетворяющими данным условиям эксплуатации (в них используются асинхронные двигатели с коротко-замкнутым ротором повышенного скольжения при однодвигательном приводе и двигатели с фазовым ротором при необходимости плавного пуска или регулирования скорости); на бетоно- и растворосмесителях небольшой мощности устанавливают асинхронные короткозамкнутые электродвигатели переменного тока, а на машинах повышенной мощности – электродвигатели с фазовым ротором; бетоно- и растворонасосы поршневого типа оборудуют асинхронными электродвигателями с фазовым ротором, в которых скорость регулируют включенным в цепь ротора резистором и контроллерным переключением ступеней сопротивления; во вспомогательных механизмах бетоно- и растворонасосов применяют короткозамкнутые асинхронные двигатели; в компрессорах небольшой мощности используют асинхронные короткозамкнутые двигатели, в компрессорах большой мощности – асинхронные двигатели с фазовым ротором и синхронные двигатели; в электроинструментах и отделочных машинах применяют асинхронные трехфазные электродвигатели с частотой тока 50 и 200 Гц и универсальные коллекторные электродвигатели однофазного переменного или постоянного тока [1]; с использованием асинхронных двигателей работают вентиляторы в вытяжной вентиляции, лифты, насосы, подающие воду для водоснабжения или отопления и другие машины и оборудование.

Современное состояние парка асинхронного электропривода выдвигает ряд технико-экономических и научных проблем, связанных с моральным старением и физическим износом парка электрооборудования, обеспечивающего электропривод в строительной отрасли, несоответствия его структуры условиям эксплуатации, высоким уровнем потерь электроэнергии в строительстве Российской Федерации, низким качеством диагностики и ремонта электродвигателей. Следствием этого является высокий расход строительными предприятиями и организациями оплаты электрической энергии, внеплановые ремонты и замена асинхронных машин, компенсация затрат, связанных с простоем технологического оборудования.

Основными причинами потерь электроэнергии и преждевременный выход из строя асинхронных электродвигателей являются несимметричные режимы их работы, прежде всего несимметричные режимы работы электрических сетей, а также физический износ электродвигателей, широкая распространенность неполнофазных режимов у трехфазных электродвигателей и широкое применением электродвигателей, питающихся от однофазной сети.

При допустимом значении (ГОСТ 13109-97) постоянно действующего напряжения симметричных составляющих обратной последовательности в 4 % срок безаварийной эксплуатации электродвигателей сокращается наполовину. Вместе с тем нередки случаи, когда симметричные составляю-



щие обратной последовательности достигают 15-20 %. Принимая во внимание ежегодный выход из строя около 20 % парка асинхронных машин, сумма ущерба от несимметричных режимов в масштабе РФ составляет свыше 15 млрд руб. в год [2].

Физическому износу способствуют наличие агрессивной внешней среды (газов, резких суточных и сезонных колебаний температуры и влажности воздуха), низкое качество электроэнергии длинных и маломощных электрических сетей, широкое распространение однофазных и нелинейных нагрузок, частые переходные процессы, низкое качество ремонта и обслуживания электродвигателей, неукомплектованность ремонтных баз современным диагностическим и испытательным оборудованием.

Все это приводит к высокому уровню потерь электрической энергии, интенсивному износу и выходу из строя электрических машин [7].

В Белорусском техническом университете (г.Минск) разработано и начинает все шире применяться в системе электроснабжения Белоруссии специальное симметрирующее устройство для симметричного распределения нагрузки по фазам трехфазной сети (рис.1), представляющее собой дополнительную обмотку, наматываемую поверх всех трех фазных обмоток трансформатора  $Y/Y_n$ , включаемую в разрыв нулевого провода. Обмотка симметрирующего устройства рассчитана на длительное протекание номинального тока трансформатора (на полную однофазную нагрузку) и включена таким образом, что создаваемые ей в магнитопроводе трансформатора магнитные потоки  $F_{0к}$  нулевой последовательности полностью компенсируют противоположно направленные магнитные потоки нулевой последовательности  $F_{0р}$  в рабочих обмотках трансформатора, предотвращая перекося фазных напряжений [7].

Тем не менее это симметрирующее устройство, как и трансформатор с обмотками, включенными по схеме «зигзаг», только уменьшает генерирование магнитных потоков нулевой последовательности, снижая перекося фазных напряжений, а устранить асимметрию нагрузки по фазам не может.

Автором статьи и др. разработано и подтверждено патентом РФ устройство, позволяющее повысить пропускную способность распределительных электрических сетей, надежность электроснабжения и безопасность однофазных потребителей электрического тока [6].

Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети представляет собой трехфазный разделительный одно- или многообмоточный (во вторичной цепи) трансформатор потребителя, вторичные обмотки которого имеют независимые от основной обмотки дополнительные витки, предназначенные для компенсации падения напряжения на линии. Каждый из потребителей многообмоточного разделительного трансформатора запитан от своей или от общей (для однообмоточного трансформатора) вторичной обмотки, в которой линии потребителей запитаны от трехфазных катушек трансформатора, соединенных последовательно, при этом любые две из них включены согласованно, а третья – встречно (рис.2).

Включение трехфазных катушек каждой вторичной обмотки трансформатора последовательно, любые две из которых включены согласованно, а третья – встречно позволяет получить однофазное переменное напряжение с равномерно распределенной нагрузкой по фазам трехфазной сети и обеспечивает абсолютную симметрию нагрузки линии и трансформатора подстанции независимо от того, отбирает однофазную нагрузку один или несколько потребителей, или все потребители одновременно потребляют различную мощность.

Симметричная нагрузка линии и трансформатора подстанции позволяет увеличить пропускную способность электрической сети при пиках нагрузки, исключить перегрузку одной из фаз и предотвратить протекание тока по нулевому проводу.

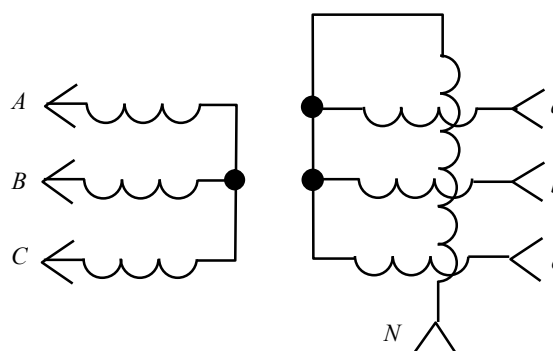


Рис.1. Симметрирующее устройство

$A, B, C$  – выходы первичной обмотки специального симметрирующего устройства;  $a, b, c$  – выходы вторичной обмотки;  $N$  – вывод нейтрали, в разрыв которой включена дополнительная обмотка (магнитопровод устройства условно не показан)

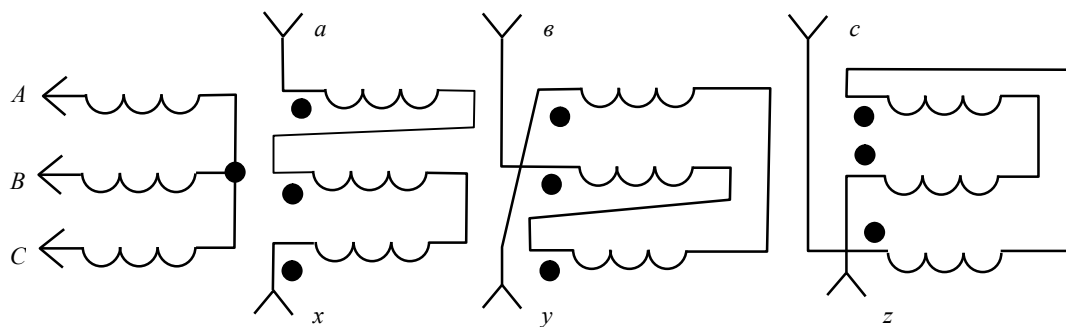


Рис.2. Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки

*A, B, C* – выводы первичной обмотки устройства для симметричного распределения напряжения по фазам трехфазной сети;  
*a, b, c, x, y, z* – выводы вторичной обмотки; (магнитопровод устройства условно не показан)

Устройство имеет ряд существенных новых признаков:

- у каждой из вторичных обмоток имеются дополнительные витки, независимые от основных обмоток, которые позволяют получить три ступени регулирования напряжения вверх и при необходимости три – вниз, что повышает качество электроснабжения;
- питание каждого из потребителей от своей обмотки многообмоточного трансформатора полностью исключает гальваническую связь с другими электропотребителями, повышает качество и безопасность электроснабжения;
- питание потребителя через разделительный трансформатор обеспечивает гальваническую развязку потребителя от внешней мощной сети и повышает безопасность электроснабжения;
- симметричная нагрузка по фазам исключает перекося фаз и появление симметричных составляющих обратной последовательности и появление обратного крутящего момента у асинхронных машин;
- питание каждой однофазной обмотки одновременно от трех фаз позволит получить одинаковый угол сдвига тока по всем фазам, снизить расходы на приборы учета потребления электрической энергии и повысить точность учета израсходованной электрической энергии;
- при исчезновении напряжения на любой из фаз питание однофазной обмотки одновременно от трех фаз обеспечит электроснабжение от оставшихся двух фаз, включенных встречно друг к другу, на уровне 0,95 от номинального напряжения сети при числе дополнительных витков, составляющем 10 % от числа витков обмотки, что повысит качество и надежность электроснабжения.

Данное устройство позволит обеспечить повышение надежности всех защитных мероприятий, так как обеспечивает защиту сети от «отгорания» нулевого провода.

## Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Актуальность рассматриваемой проблемы вызвана масштабом потерь электроэнергии в электроэнергетике и высоким уровнем электротравматизма в производственных отраслях РФ, в том числе и в строительной отрасли.
2. Замена устаревшего оборудования на энергоэффективное позволит снизить материальные потери.
3. Решать задачу повышения эффективности электроснабжения следует законодательно, в частности, в правила устройства электроустановок необходимо внести требование по обеспечению преобразования однофазной нагрузки в симметричную трехфазную для каждого вновь возводимого объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Добронравов С.С. Строительные машины и оборудование: Справочник / С.С.Добонравов, М.С.Добонравов М.: Высш. шк., 2006. 445 с.
2. Курилин С.П. Развитие теории несимметричных режимов и энергетических процессов асинхронных двигателей сельскохозяйственных электроустановок: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / ГОУ ВПО МЭИ ТУ. Смоленск, 2005. 44 с.
3. Орлов П.С. Мероприятия по повышению эффективности энергообеспечения и снижению электротравматизма электропотребителей / В.С.Шкрабак, П.С.Орлов, Л.А.Голдобина, Р.В.Шкрабак // Аграрный научный журнал. 2014. N 5. С. 46 -56.



4. Орлов П.С. Мероприятия по повышению надежности электроснабжения // Энергосбережение в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. труд. междунаrod. науч.-практ. конф. / ЯГСХА. Ярославль, 2016. С. 49-64.
5. Организация строительного производства. Организация строительной площадки. Новое строительство / ЦНИОМТП М., 2012. 70 с.
6. Патент РФ № 2506676 H02J 3/00. Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети / П.С.Орлов, Л.А.Голдобина, В.С.Шкрабак, Н.Р.Казиловка, С.П.Орлов, С.А.Парамонов, К.А.Челышев // Оpubл. 10.02.14. Бюл. № 4.
7. Сердешнов А. Симметрирующее устройство для трансформаторов. Средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ / А.Сердешнов, И.Протосвицкий, Ю.Леус, П.Шумра // Новости электротехники: Информационно-справочное издание. N 1 (31). 2005. С.38-44.
8. Стандарт организации. Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Категорийность электроприемников промышленных объектов ОАО «Газпром». СТО Газпром 2-6.2-149-2007 (взамен ВРД 39-1.21-072-2003) / ВНИИГАЗ. М., 2008. 17 с.
9. Тимашов А. Работы повышенной опасности / А.Тимашов, М.Ротфельд // Охрана труда и социальное страхование. 2012. № 1. С. 43-48.
10. Хрусталеv Ю.В. Инженерные системы зданий и сооружений. Электроснабжение с основами электротехники / Ю.В.Хрусталеv, В.Н.Осовской / ВоГУ. Вологда, 2014. 42 с.
11. Чернов Д.В. Исследование влияния надежности системы электроснабжения на качество электроэнергии на шинах сельских потребителей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ИрГСХА. Иркутск, 2009. 25 с.
12. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение объектов строительства / Е.Ф.Щербаков, Д.С.Александров, А.Л.Дубов / УлГТУ. Ульяновск, 2011. 404 с.

**Автор П.С.Орлов**, д-р техн. наук, профессор, [p.orlov@yarscx.ru](mailto:p.orlov@yarscx.ru) (Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Ярославль, Россия).

Статья принята к публикации 03.11.2016.