

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-150-156

Пути снижения потерь электроэнергии в питающих горные предприятия линиях

Анциферов Н. С.

«СК КаскадСтрой», Москва, Россия, ✉nikita-anciferov@rambler.ru

Аннотация: Электрическая энергия является наиболее удобным и универсальным видом энергии. Ее можно производить в больших количествах вблизи источников энергии, передавать на большие расстояния, легко распределять между потребителями и преобразовывать в механическую, тепловую и световую энергии. Обеспечение надежного и экономичного энергоснабжения электроэнергией заданного качества предприятий горной промышленности при наиболее эффективном использовании энергетических ресурсов является одной из важнейших задач, стоящих перед энергетиками страны. В Российской Федерации достигнута высокая степень концентрации мощностей на электрических станциях. Основные мощности сосредоточены на электростанциях с установленной мощностью более 1 млн кВт. Высокий уровень значимости электроэнергетики определяется инфраструктурным характером отрасли и прямой зависимостью между экономическим ростом страны и уровнем эффективности ее развития. Одной из наиболее актуальных проблем современного электроснабжения является проблема обеспечения качества электроэнергии. Основная причина ухудшения качества электроэнергии – широкое распространение нелинейных нагрузок, создающих при своей работе токи несинусоидальной формы, несимметрия напряжений. Несимметрия напряжений вызывается чаще всего наличием несимметричной нагрузки. Несимметричные токи нагрузки, протекающие по элементам системы электроснабжения, вызывают в них несимметричные падения напряжений. Вследствие этого на выводах ЭП появляется несимметричная система напряжений. Отклонения напряжения у ЭП перегруженной фазы могут превысить нормально допустимые значения, в то время как отклонения напряжения у ЭП других фаз будут находиться в нормируемых пределах. Кроме ухудшения режима напряжения у ЭП, при несимметричном режиме существенно ухудшаются условия работы как самих ЭП, так и всех элементов сети, снижается надежность работы электрооборудования и системы электроснабжения в целом. В статье рассматриваются вопросы снижения потери напряжения питающих электрических сетей посредством улучшения качества электроэнергии.

Ключевые слова: качество электроэнергии, энергоэффективность, нелинейная нагрузка, высшие гармоники, несимметрия нагрузки, потери мощности, отклонения напряжения.

Для цитирования: Анциферов Н. С. Пути снижения потерь электроэнергии в питающих горные предприятия линиях. *Горные науки и технологии*. 2019;4(2):150-156. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-150-156.

Ways to Reduce Power Losses in Mining Power Supply Lines

N. S. Antsiferov

Leading Design Engineer "SK Kaskadstroy", Moscow, Russia, ✉nikita-anciferov@rambler.ru

Abstract: Electric energy is the most common and universal form of energy. It can be produced in large quantities near energy sources, transmitted to large distances, easily distributed between consumers and converted into mechanical, thermal, and light energy. Ensuring reliable and economical quality electric energy supply to mining enterprises with the optimal use of energy resources is one of the most important tasks facing the country's energy sector. In the Russian Federation, high degree of concentration of generating capacities at power plants has been achieved. The main capacities are concentrated in power plants

with installed capacity of more than 1 million kW. High importance of the electric power industry is determined by the infrastructural nature of the industry and the direct relationship between the country's economic growth and the level of its development effectiveness. One of the most pressing problems of modern electricity supply is the problem of ensuring the quality of electric energy. The main reason for the deterioration in the electricity quality is widespread non-linear loads that create non-sinusoidal currents and voltage unbalance during their operation. The voltage unbalance is most often caused by the presence of an unbalanced load. Unbalanced load currents flowing through the elements of the power supply system cause unbalanced voltage losses in them. This results in appearance of unbalanced voltages on the terminals of electric apparatus. The voltage deviations at electric apparatus overdriven phase may exceed the normally acceptable values, while the voltage deviations at electric apparatus other phases may remain within the normal limits. In addition to the deterioration of the voltage mode at electric apparatus under the unbalanced voltage conditions, the operating conditions of both the electric apparatus and all the network elements are significantly worsened, and the reliability of the electrical equipment and the power supply system as a whole decreased. The paper considers the issues of reducing the voltage losses in power supply networks by improving quality of electric power.

Keywords: quality of electric power, energy performance, nonlinear load, higher harmonics, load unbalance, power losses, voltage deviation.

For citation: Antsiferov N. S. Ways to reduce power losses in mining power supply lines. *Mining Science and Technology*. 2019;4(2):150-156 (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-150-156.

Высокий уровень значимости электроэнергетики определяется инфраструктурным характером отрасли и прямой зависимостью между экономическим ростом страны и уровнем эффективности ее развития. В РФ сложилась неблагоприятная ситуация с потреблением энергоресурсов: по данным Международного энергетического агентства, энергоёмкость ВВП (внутренний валовой продукт) России в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5–3,5 раза выше, чем в развитых странах: в целом по стране около 35–40 % всех потребляемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) расходуется без отдачи, неэффективно: только прямые потери топливно-энергетических ресурсов достигают 25–30 %. Вследствие этого возрастает себестоимость производимой продукции, снижается ее конкурентоспособность, увеличиваются ежегодные затраты на поддержание в работоспособном состоянии и развитие ТЭК, возрастают издержки населения, бюджетной сферы и производственного сектора на потребляемые топливно-энергетические ресурсы. Все это приводит к снижению энергоэффективности экономики в целом [10].

Если ранее источники искажения качества электроэнергии, кроме частоты и отклонения напряжения, были присущи только промышленным потребителям и потребителям, приравненным к ним, то сейчас они активно появляются и у других видов потребителей [2].

Одним из эффективных мероприятий по энергосбережению, позволяющих экономить до 40–50 % электроэнергии, является использование частотно-регулируемых приводов в котельных, насосных, в том числе и систем горячего водоснабжения зданий, сооружений, а также в технологических установках предприятий, осуществляющих регулируемые виды деятельности [11].

Низкое качество электроэнергии – потенциал энергосбережения. Общеизвестно, что низкое качество электроэнергии приводит к увеличению потерь электроэнергии, а следовательно, к снижению энергетической эффективности электрических сетей. Необходимо определить, насколько велика доля потерь электроэнергии от низкого качества электроэнергии и есть ли смысл рассматривать их как потенциал энергосбережения. В

электрических сетях среднего напряжения с мощными источниками высших гармоник технические потери мощности в силовых трансформаторах связи с энергосистемой существенно увеличиваются [4]. При коэффициенте искажения синусоидальности кривой напряжения, равном 5 % у коммунально-бытовых потребителей, питающихся от сети 0,4 кВ, они составляют 15 % нагрузочных потерь в силовом трансформаторе, а при коэффициенте искажения синусоидальности кривой

напряжения 10 % эти потери увеличиваются от 20 до 60 %.

В качестве примера в табл. 1 приведены значения дополнительных потерь в силовом трансформаторе ТДН-16000/110 при следующих значениях показателя качества электрической энергии (ПКЭ): $K_{2U} = 4 \%$; $K_{U5} = 5 \%$; $K_{U7} = 7 \%$; $K_{U11} = 3 \%$; $K_{U13} = 1 \%$. Потери определялись по методике, приведенной в [4]. Здесь указана доля дополнительных потерь (в %) относительно номинальных потерь [3].

Таблица 1

Дополнительные потери при искажении качества электрической энергии в силовом трансформаторе

Additional losses due to distortion of the quality of electric power in a power transformer

Параметр качества электро- энергии	Нагрузочные потери		Потери холостого хода		Суммарные потери	
	%	кВт	%	кВт	%	кВт
Несимметрия напряжения	14,5	12,325	0,16	0,03	11,9	12,355
Несинусоидальность напряжения	8,86	7,53	0,84	0,16	7,39	7,69

В синхронных и асинхронных двигателях – доля таких потерь может достигать 15–20 % в зависимости от соотношения показателей качества электроэнергии. Приведенные примеры свидетельствуют о том, что дополнительные технические потери электроэнергии, вызываемые низким качеством электроэнергии, можно рассматривать в качестве потенциала энергосбережения [2].

Низкое качество электроэнергии приводит и к появлению дополнительных метрологических потерь электроэнергии, которые не учитываются в оценке экономической эффективности при установке приборов учета электроэнергии. Как известно, в зависимости от расположения источника несинусоидальности или несимметрии напряжений и токов в сети возможен как недоучет, так и переучет отпущенной или потребленной электроэнергии.

Последовательность решения задачи повышения энергоэффективности электрических сетей путем улучшения качества электроэнергии [1]

Первым этапом ее решения является выявление источников искажения качества электроэнергии и мест их расположения. Это возможно сделать следующими путями: энергоаудитом, контролем качества электроэнергии, расчетно-аналитическим путем. Затем по типу источников искажения определяются параметры качества электроэнергии и показатели качества электроэнергии, которые их описывают, либо измерениями, либо расчетом [7].

Производится расчет потенциала энергосбережения, обусловленного низким качеством электроэнергии в зависимости от его структуры. Далее выбираются узлы сети для реализации мероприятий по улучшению качества электроэнергии. Для выбранных узлов вначале определяется возможность применения организационных мероприятий как мало-затратных, выбираются организационные мероприятия, набор которых зависит от показателей качества электроэнергии, не удовлетворяющих требованиям действующего стандарта на качество электроэнергии, производится оценка их экономической эффективности

и определяется доля реализованного потенциала энергосбережения, т.е. процент снижения потерь от низкого качества электроэнергии [1].

Для тиражирования мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности сетей с низким качеством электроэнергии, целесообразно разработать типовые мероприятия по аналогии с существующим перечнем типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и создать библиотеку таких мероприятий [8].

Каждое мероприятие рекомендуется описывать в следующем порядке: аннотация, назначение мероприятия, тип мероприятия, область применения, краткая характеристика мероприятия, нормативные документы, методика оценки экономической эффективности, инструкция к применению [3].

Производство электрической энергии (ЭЭ) во всём мире неуклонно повышается, что обусловлено всё возрастающим её потреблением в различных отраслях хозяйственной деятельности человечества. Так, к 2020 г. количество производимой в мире ЭЭ должно вырасти до 30 трлн кВт·ч, что соответствует темпам роста производства до 2,5–3 % в год в среднем.

Современная система электроснабжения является довольно сложным физико-техническим объектом и неотъемлемой частью Единой энергетической системы страны, регионов. В нынешней экономической ситуации вопрос рационального использования топливно-энергетических ресурсов стоит особо остро. При этом для получения наибольшей эффективности их использования необходимо рассмотреть весь процесс – от добычи первичных энергоресурсов до их потребления.

Электрическая энергия как сертифицируемая продукция обладает целым рядом особенностей, в числе которых неразрывность и одновременность процессов производства и потребления, когда искажающее

влияние на показатели качества электроэнергии может быть оказано как электроприёмниками потребителя, так и принесено извне в виде кондуктивной электромагнитной помехи, распространяемой по общей электрической сети.

Учёт электроэнергии состоит из определения произведённого её количества, количества электроэнергии, потреблённой электроприёмниками, а также количества электроэнергии, потерянной при её передаче.

Электроэнергия является единственным видом продукции, транспортировка которой осуществляется за счёт расхода определённой части самой продукции, то есть потери электроэнергии при её передаче неизбежны.

Первоочередной задачей экономии ТЭР электроэнергетики является снижение потерь электроэнергии в электрических сетях, которые достигают 15–20 % от общего отпуска электроэнергии.

Анализ структуры потерь электроэнергии в действующих электрических сетях показывает, что потери в линиях 0,38 кВ составляют 31,33 % от общих потерь. С учётом потерь электроэнергии в трансформаторах 10/0,4 кВ потребительских ТП потери в электрических сетях 0,38 кВ составляют более 50 % от общих потерь. Поэтому снижение потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ позволит добиться снижения общих потерь в электрических сетях.

Исследованиями установлено, что в сетях с коммунально-бытовыми и смешанными нагрузками возникает значительная несимметрия токов, т.е. режимы работы сельских сетей 0,38 кВ являются объективно несимметричными. Несимметрия токов в сети вызывает несимметрию напряжений на зажимах трёхфазных электроприёмников, которая во многих случаях превышает в 2–2,5 раза допустимое ГОСТ 13109–97 значение. При величине коэффициентов несимметрии токов обратной и нулевой последовательности в сети, равной 25–30 %, потери мощности и электрической энергии в линиях 0,38 кВ и

трансформаторах потребительских ТП возрастают на 30–50 % по сравнению с симметричным режимом работы.

Кроме того, несимметрия токов и напряжений в сетях приводит к увеличению в узлах нагрузки отклонения напряжения от допустимого значения, сокращению срока службы электродвигателей агропромышленного комплекса и другим негативным явлениям в сетях и приёмниках электроэнергии.

Работа распределительных сетей с постоянной несимметрией нагрузки является причиной довольно значительного ущерба в хозяйственной деятельности. Это определяется дополнительными потерями электроэнергии в сетях и нагрузке, с одной стороны, и снижением эффективности использования оборудования и сокращением срока службы электрических установок – с другой.

Анализ проблемы несимметрии в сетях 0,38 кВ показал, что существующие методы расчёта показателей несимметрии и потерь электроэнергии в этих сетях не позволяют установить закономерности их изменения от параметров нагрузки и сети, провести анализ потерь при различных режимах работы электроприёмников и разработать наиболее эффективные способы и средства снижения несимметрии и обусловленных ею потерь, так как в этих методах несимметрия токов в сетях учитывается приближёнными способами. Кроме того, большинство научных работ не рассматривают проблему качества электрической энергии в целом. Так, например, повышение качества напряжения за счёт снижения уровня несимметрии напряжений рассматривалось в отрыве от проблемы снижения потерь мощности и энергии в сети, и, наоборот, вопросы снижения потерь не затрагивали проблему несимметрии напряжений. Вместе с тем, до настоящего времени не разработаны общие методы расчёта сетей с несимметричными рассредоточенными нагрузками. От-

сутствие комплексности в подходе к решению проблемы несимметрии приводило в отдельных случаях к недостаточно верным выводам и рекомендациям по способам и средствам для снижения потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ, обусловленных несимметрией токов.

Недостаточность знаний об уровне несимметрии токов и напряжений в низковольтных сетях 0,38 кВ, а также о способах и технических средствах её снижения, не позволяют составить достоверной картины о действительном характере изменения потерь электрической энергии в этих сетях, а без этого невозможно разработать и применить на практике мероприятия по снижению потерь электрической энергии и повышению её качества.

Таким образом, решение задач энергосбережения и улучшения качества электрической энергии в низковольтных сетях 0,38 кВ тесно связано с проблемой снижения несимметрии токов в этих сетях. Поэтому актуальным и своевременным является рассмотрение вопросов, связанных с разработкой способов снижения несимметрии токов и подготовкой практических рекомендаций по эффективности использования МСП.

Выводы

1. Показана целесообразность использования в качестве типовых мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности электрических сетей, мероприятия по улучшению качества электроэнергии.

2. Разработан порядок реализации потенциала энергосбережения в электрических сетях, обусловленного низким качеством электроэнергии.

3. Предложено создать библиотеку типовых мероприятий по повышению энергоэффективности электрических сетей путем улучшения качества электроэнергии, и показана методика ее реализации.

Библиографический список

1. Sidea D. Weather-based assessment of the overhead line conductors thermal state // PowerTech. IEEE Eindhoven, 2015, pp. 1-6.
2. Mir V. Ali. Evolution of heating units: from Ingalls to Jinmao // Electronic J. of Structural Engineering, 2001, vol. 1, no. 1, pp. 2-14.
3. Ignotas A. Lithuanian legal and regulatory framework for district heating. Presented at IEA workshop «District heating policy in transition economies», Prague, February 2004, 167 p.
4. Georgiadis M. C., Kikkinides E. S., Pistikopoulou E. N. Energy Systems Engineering // WILEY-VCH, Weinheim-2008, 337 p.
5. McGranagham M., Blevins J., Samotyj M. Оптимальное решение для качества электроэнергии и повышения надёжности // Transmission & Distribution World, 2004, no. 2, С. 48-52.
6. Ананичева С. С., Мызин А. Л. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей: уч. пос.; 6-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ. 2012. 80 с.
7. Латыпов И. С., Сушков В. В. Снижение потерь электроэнергии в распределительной сети напряжением 6–35 кВ в системе электроснабжения потребителей нефтегазовой отрасли // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф. Нижневартовск. 2016. Ч. II. С. 107-111.
8. Вендин С. В., Щербинин И. А. К расчету распространения электромагнитного импульса при СВЧ обработке диэлектрических сред / Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2015. № 2. С. 204-206.
9. Виноградов А. А., Соловьев С. В. Математические задачи электроэнергетики / Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов направления 140400 // Электроэнергетика и электротехника. Белгород: БГТУ им Шухова. 2013. 37 с.
10. Повышение эффективности воздушных линий электропередачи напряжением 110–220 кВ в гололедных районах: монография / Г. Г. Угаров, Н. Ю. Шевченко, Ю. В. Лебедева, А. Г. Сошинов. М.: Перо, 2013. 186 с.
11. Электрические системы. Т. 2. Электрические сети: уч. пос. / Под ред. В. А. Веникова. М.: Высш. шк., 1971. 440 с.
12. Электрические системы. Режимы работы электрических систем и сетей: уч. пос. / Под ред. В. А. Веникова. М.: Высш. шк., 1975. 344 с.
13. Блок В. Н. Электрические сети и системы: уч. пос. М.: Высш. шк., 1986. 430 с.
14. Электрические системы и сети: уч. пос. / Под ред. Г. И. Денисенко. Киев: Вища школа, 1986. 82 с.
15. Frichel I. S. Influence of electric power quality on avionic design and weapon system effectiveness // Power Cond. Specialists Conf. Rec. (Pasadena, Cal., 1971). New York, 1971, p. 173.
16. Sciubidio E. Spadke napiecia i straty mocy czynnj w liniach 4-przewodowych niskiego napiecia przy niesymetrycznym obciazeniu // Energetyka (DHL). 1975, 29, no. 2, pp. 63-64.
17. Айзенберг Б. Л. Влияние неравномерности нагрузки фаз городской сети 0,4 кВ на напряжение в установках потребителей и его экономическая оценка. – В кн.: Регулирование напряжения в электрических сетях. М.: Энергия, 1968. С. 130-135.
18. Волков Э. П., Баринов В. А., Маневич А. С. Основные направления развития электроэнергетики России с учётом долгосрочной перспективы и совершенствования рыночных отношений. Изв. Академии наук – Энергетика, 2000. № 5. С. 3-40.
19. Вайнштейн Л. М., Жуков Л. А. Несимметрия напряжений в электрических системах и симметрирование режима. – В кн.: Регулирование напряжения в электрических сетях. М.: Энергия, 1968. С. 444-450.
20. Васильев В. Г., Ганиходжаев Н. Г., Васильева С. П. Регрессионный метод для оценки величины потерь электроэнергии в воздушных линиях сельских электрических сетей 0,38 кВ. – В сб.: Вопросы электрификации сельского хозяйства Уз. ССР. М., 19079. С. 101-119.
21. Goela S. C. Discussion on the Paper: Allowable output from a 3-phase induction motor connected to unsymmetrical supply by N. N. Roy. Author's reply. I.Inst. Eng. (India). Elec. Eng., Div. 1969. 49. Pt. 3. K. 6, pp. 812–816.
22. Frichel I. S. Influence of electric power quality on avionic design and weapon system effectiveness // Power Cond. Specialists Conf. Rec. (Pasadena, Cal., 1971). New York, 1971, p. 173.

References

1. Sidea D. Weather-based assessment of the overhead line conductors thermal state // PowerTech. IEEE Eindhoven, 2015, pp. 1-6.

2. Mir V. Ali. Evolution of heating units: from Ingalls to Jinmao // *Electronic J. of Structural Engineering*. 2001, vol. 1. no. 1, pp. 2-14.
3. Ignotas A. Lithuanian legal and regulatory framework for district heating. Presented at IEA workshop «District heating policy in transition economies», Prague, February 2004, 167 p.
4. Georgiadis M. C., Kikkinides E. S., Pistikopoulou E. N. *Energy Systems Engineering* // WILEY-VCH, Weinheim-2008, 337 p.
5. McGranagham M., Blevins J., Samotyj M. Optimal solution for improving electric energy quality and reliability // *Transmission & Distribution World*. 2004. № 2. С. 48-52.
6. Ananicheva S. R., Myzin A. L. Substitution schemes and established modes of electrical networks: work-book; 6th ed., revised, Yekaterinburg, UrFU Publ., 2012, 80 p. (in Russ.).
7. Latypov I. S., Sushkov V. V. Reducing power losses in a power distribution network of 6–35 kV voltage in the power supply system for consumers in the oil and gas industry. *Proc. of the 5th Int. scientific-practical conf. Culture, science, education: problems and prospects*, Nizhnevartovsk, 2016, pp. 107-111 (in Russ.).
8. Vendin S. V., Shcherbinin I. A. On the calculation of the propagation of electromagnetic pulse in the process of microwave processing of dielectric media. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*, 2015, no. 2, pp. 204-206 (in Russ.).
9. Vinogradov A. A., Soloviev S. B. Mathematical problems of electric power industry. Methodological guidelines for course paper for students of discipline 140400. *Electrical Power Engineering and Electrical Engineering*. Belgorod, BSTU named after Shukhov, 2013, 37 p. (in Russ.).
10. Ugarov G. G., Shevchenko N. Yu., Lebedeva Yu. V., Soshinov A. G. Improving the efficiency of overhead power lines of voltage of 110-220 kV in icing areas. Moscow: Pero Publ., 2013, 186 p. (in Russ.).
11. *Electrical systems. v. 2. Electrical power networks: work-book*. Ed. Venikov V. A., Moscow, Vyshchaya Shkola Publ., 1971, 440 p. (in Russ.).
12. *Electrical systems. Operating modes of electrical systems and networks*. Ed. V.A. Venikov. Moscow, Higher school, 1975, 344 p. (in Russ.).
13. Block V. N. *Electrical power networks and systems. Student training manual*. Moscow, Vyshchaya Shkola Publ., 1986, 430 p. (in Russ.).
14. *Electrical systems and networks. Student training manual*. Ed. Denisenko G. I. Kiev, Vyshchaya Shkola Publ., 1986, 82 p. (in Russ.).
15. Frichtel I. S. Influence of electric power quality on avionic design and weapon system effectiveness // *Power Cond. Specialists Conf. Rec. (Pasadena, Cal., 1971)*. New York, 1971. P. 173.
16. Sciubidio E. Spadke napiecia i straty mocy czynnj w liniach 4-przewodowych niskiego napiecia przy niesymetrycznym obciazeniu // *Energetyka (DHL)*. 1975, 29, № 2, pp. 63-64.
17. Aizenberg B. L. Effect of uneven load on phases in a municipal network of 0.4 kV on consumer installation voltage and its economic assessment. In the book: *Regulation of voltage in electrical networks*. Moscow, Energiya Publ., 1968, pp. 130-135 (in Russ.).
18. Volkov, E. P., Barinov, V. A., Manevich, A. S. The main lines of electric power industry development in Russia, taking into account long-term prospects and improving market relations. *Izvestiy Akademii Nauk – Energetika [Proceedings of the Russian Academy of Sciences – Power Engineering]*, no. 5, 2000, pp. 3-40 (in Russ.).
19. Wainstein L. M., Zhukov L. A. Voltage unbalance in electrical power systems and mode balancing. In the book: *Regulation of voltage in electrical networks*. Moscow: Energiya Publ., 1968, pp. 444-450 (in Russ.).
20. Vasiliev V. G., Ganikhodjaev N.G., Vasilieva S. P. Regression method for assessing the power losses of electricity in overhead lines of rural networks of 0.38 kV. In *Composite Book: Problems of Electrification of Agriculture of Uzbeksky SSR*. Moscow, 1979, pp. 101-119 (in Russ.).
21. Goela S. C. Discussion on the Paper: Allowable output from a 3-phase induction motor connected to unsymmetrical supply by N. N. Roy. Author's reply. *I. Inst. Eng. (India). Elec. Eng., Div.* 1969. 49. Pt. 3. K. 6, pp. 812–816.
22. Frichtel I. S. Influence of electric power quality on avionic design and weapon system effectiveness // *Power Cond. Specialists Conf. Rec. (Pasadena, Cal., 1971)*. New York, 1971, p. 173.

Информация об авторе

Анциферов Никита Сергеевич – ведущий инженер-проектировщик «СК Каскадстрой», Москва, Россия, nikita-anciferov@rambler.ru.

Information about the Author

Nikita S. Antsiferov – Leading Design Engineer "SK Kaskadstroy", Moscow, Russia, nikita-anciferov@rambler.ru.