

ОЦЕНКА СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ
В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

EVALUATION OF WAYS TO REDUCE VOLTAGE LOSSES IN RURAL POWER SUPPLY SYSTEMS

Ключевые слова: системы сельского электро-снабжения, электрические сети 0,38 кВ, потери напряжения.

Проблемы низкого уровня напряжения в электрических сетях касаются не только многих потребителей, но и являются источником постоянных нареканий и претензий к энергоснабжающим организациям. Негативные последствия пониженного напряжения проявляются в неустойчивой работе различных электротехнических устройств, повторяющихся сбоях в их работе и отключениях, как самый крайний случай – выход из строя электрооборудования. В наибольшей степени эти отрицательные последствия ощущают потребители, подключённые к участкам линии электропередачи, существенно удалённым от трансформаторных подстанций. Действующий ГОСТ на качество электрической энергии устанавливает в точке передачи электрической энергии потребителям допустимые отклонения напряжения от номинального значения в диапазоне не более $\pm 10\%$ (для электрических сетей 0,38 кВ в фазном выражении это $198 \div 242$ В). Как показывают исследования и опыт эксплуатации, требования данного ГОСТ нередко не выполняются. Причинами этого чаще всего являются непрерывное возрастание мощности электрических нагрузок электрических сетей за счёт подключения новых потребителей; запаздывание темпов реконструкции электрических сетей, в частности, линий электропередачи, пропускная способность которых не соответствуют реальной мощности, потребляемой современными нагрузками. Обобщая сказанное, можно сказать, что проблема качества электрической энергии, особенно в сельских электрических сетях, является одной из главных и требующей к себе постоянного внимания. В качестве рекомендуемых вариантов снижения потерь напряжения могут быть рассмотрены следующие. Кардинальным решением проблемы является реконструкция линии с переходом на провода с лучшими техническими характеристиками (СИП 2). Как временное решение, до проведения реконструкции линии, можно рассматривать установку вольтодобавочного трансформатора. Окончательное решение

должно приниматься после проведения полного технико-экономического сравнения вариантов, что в данной статье не проводилось.

Keywords: rural power supply systems, electrical networks 0.38 kV, voltage losses.

The problems of low voltage in electrical networks concern not only many consumers, but are also a source of constant complaints against energy supply organizations. The negative consequences of low voltage are manifested in the unstable operation of various electrical devices, repeated failures in their operation and shutdowns, and, as the most extreme case, failure of electrical equipment. Mostly these negative consequences relate to consumers connected to the power transmission lines that are significantly remote from transformer substations. The current national standard of electrical energy quality establishes the permissible voltage deviations from the nominal value for the point of electrical energy transmission to consumers in the range of no more than $\pm 10\%$ (for electrical networks of 0.38 kV in phase terms, this is $198 \div 242$ V). But as studies and operating experience show, the requirements of this national standard are often broken. Among the most popular reasons are the following ones: the continuous increase in the power of electrical networks loads due to new consumers connections; the delay of electrical networks reconstructions, in particular, of power lines, the throughput of which does not correspond to the real power consumed by modern loads. To sum up, we may say that the problem of electrical energy quality, especially in rural electrical networks, is vital and requires constant attention. The following may be considered as recommended options for reducing voltage losses. The cardinal solution to the problem is the reconstruction of the line with the transition to wires with better technical characteristics. As a temporary solution, before the reconstruction of the line, it is possible to consider the installation of an additional transformer. The final decision should be made after a full technical and economic comparison of options which is not discussed in this paper.

Белый Владимир Борисович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: vladimir-belyi@inbox.ru.

Куницын Роман Александрович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: kynizin_roman@mail.ru.

Belyi Vladimir Borisovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: vladimir-belyi@inbox.ru.

Kunitsyn Roman Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: kynizin_roman@mail.ru.

Введение

Для электрических сетей, являющихся элементами системы сельского электроснабжения, проблемы потерь напряжения являются актуальными по ряду причин. Так, рынок, на котором работают электросетевые предприятия, за последние годы претерпел кардинальные изменения, пройдя путь от муниципальной подчиненности до частной собственности. Многие сельскохозяйственные потребители за это же время по своему уровню электрификации приблизились к уровню высокотехнологичных производств, требующих более строгих норм качества электроэнергии [1] и надежности электроснабжения. Но при этом и электросетевые компании и потребители электрической энергии работают в системе электроснабжения, сформированной еще в 70-80-х годах прошлого столетия.

Таким образом, вопросы управления передачей, распределением и потреблением электрической энергии являются общими как для предприятий электрических сетей, так и для потребителей [2].

Цель исследования: на основе анализа работы системы электроснабжения одного из сельских населенных пунктов Алтайского края дать оценку мероприятиям, способствующим снижению потерь напряжения в электрических сетях 0,38 кВ.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих **задач**:

- 1) дать оценку существующим потерям напряжения в рассматриваемом участке электрической сети (фидер № 2) и соответствие их ГОСТ 32144-2013;
- 2) провести сравнительную оценку способов снижения потерь напряжения.

Объекты и методы

Объектом исследования являются электрические сети Первомайских РЭС Филиала ПАО "Россети Сибирь" – "Алтайэнерго" системы сельского электроснабжения населенного пункта Первомайского района Алтайского края. Предмет исследования – способы улучшения качества электроэнергии и снижения потерь напряжения в нормальных режимах работы сети сельского электроснабжения с помощью дополнительных технических устройств в схеме сети. Метод исследования – методы и приемы статистического анализа, аналитические методы расчета электрических цепей.

Экспериментальная часть

В работе использованы экспериментальные материалы, позволяющие подтвердить корректность использования аналитических методов.

Результаты исследований и их обсуждение

Рассматривалась электрическая сеть 0,38 кВ одного из сельских населенных пунктов Алтайского края. Сеть питает бытовые потребители и эксплуатируется более 30 лет. За это время электрические нагрузки сети значительно возросли как за счет роста электропотребления в быту, так и за счет подключения новых потребителей. При этом каких-либо значимых ремонтов за это время на линии не производилось. Наиболее проблемным, с точки зрения потерь напряжения, является фидер № 2 (Ф-2), схема которого приведена на рисунке 1.

Особенностью данного фидера является значительная его протяженность (порядка 1,44 км) и наличие по длине двух сечений (25 и 16 мм²) [3].

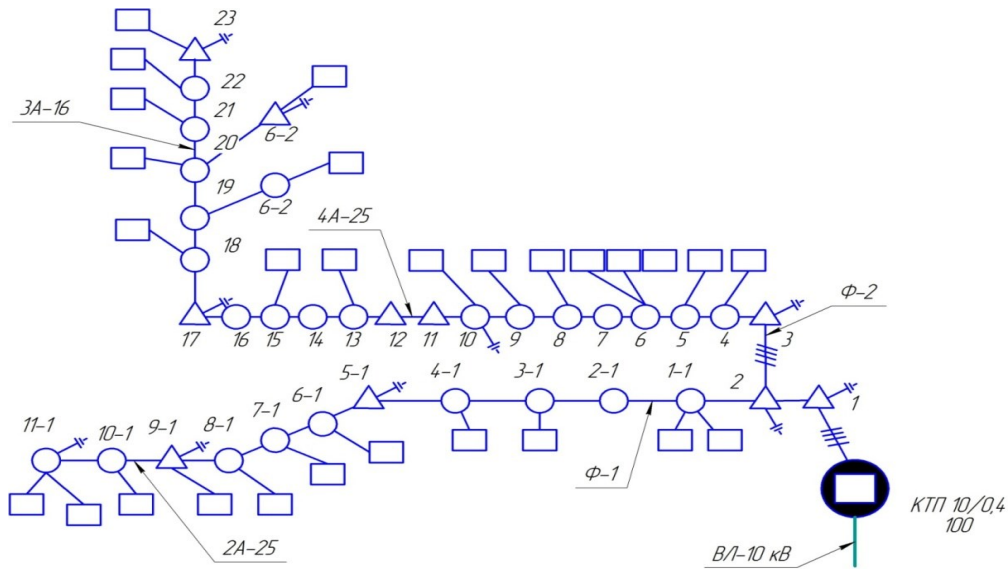
Как показывают выборочные замеры на опоре № 6-2 фидера № 2, проведенные электротехнической лабораторией Первомайского РЭС, потери напряжения достигают более 20% (рис. 2).

Такие значительные перепады напряжения, особенно в сторону снижения, естественно, отражаются на работе электроприемников. Доказательством тому служат многочисленные жалобы населения на качество электроэнергии.

Возможные решения проблемы следующие.

1. Реконструкция существующей линии электропередачи с заменой на провода другой марки (СИП-2) и большего сечения, соответствующего передаваемой по сети мощности.
2. Установка батарей конденсаторов на потребительской подстанции (УКРМ).
3. Установка в электрическую сеть специализированных устройств – вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ), поддерживающих нормируемый ГОСТом уровень напряжения в электрической сети [4, 5].

Все три варианта практически равнозначны с точки зрения возможного снижения потерь напряжения в линии и улучшения качества электрической энергии. Но они могут значительно отличаться как по эффективности результата, так и по величине затрат на реализацию проекта.



Условные обозначения

- | | | | |
|--|--|---------------------|--|
| | ТП-10/0,4 кВ; | | Воздушная линия электропередачи 0,4 кВ; |
| | Деревянная опора ВЛ-0,4 кВ с подкосом; | | 1 Номер опоры магистральной линии; |
| | Одностоичная деревянная опора; | | 1-1 Номер опоры на отпаечной ВЛ, начиная от магистральной; |
| | Одностоичная деревянная опора с заземляющим устройством; | | Ввод в здания однофазный; |
| | Воздушная линия электропередачи 10 кВ; | <i>3А-16</i> | Количество марка и сечение провода |
| | | <i>0,63 (11-23)</i> | Длина участка (номер опор) |

Рис. 1. Поопорная схема сети фидера № 2

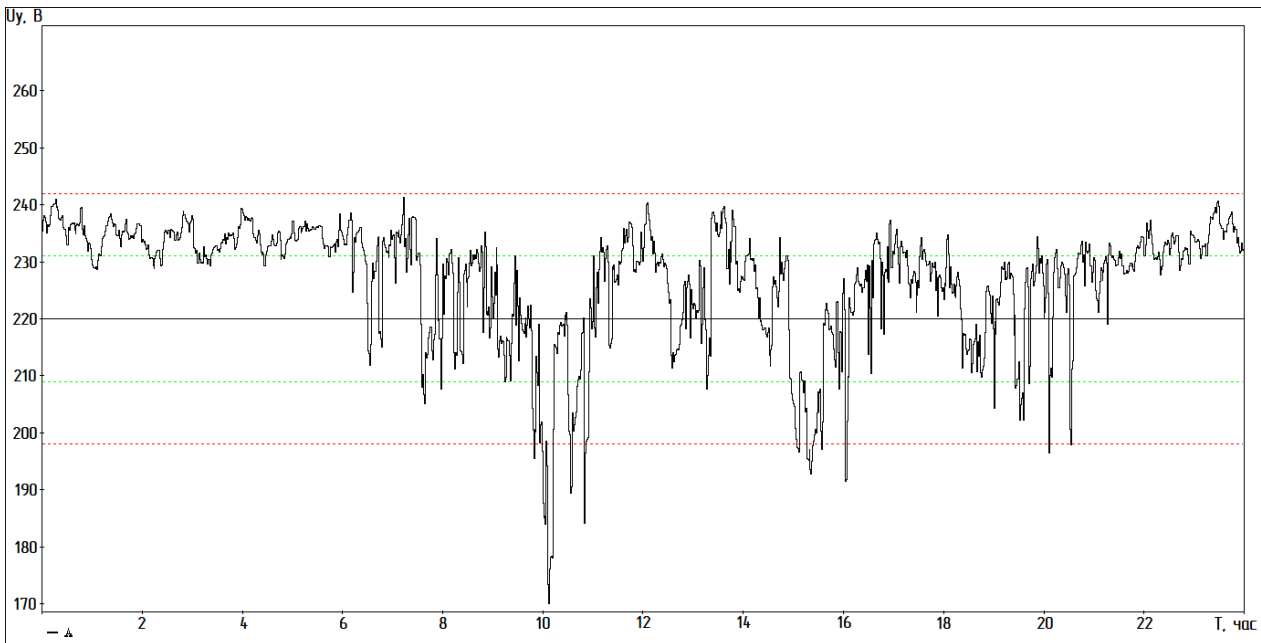


Рис. 2. Результаты измерения напряжения на опоре № 6-2 фидера № 2

Кроме того, при выборе варианта следует учитывать и такие факторы, как возможности автоматизации процессов регулирования напряжения в сети и влияние на компенсацию несимметрии напряжения.

Естественно, в данной ситуации возникает вопрос о выборе более предпочтительного варианта решения проблемы качества электрической энергии. Для ответа на данный вопрос были проведены следующие технико-экономические расчеты.

В первую очередь были рассчитаны потери напряжения вдоль линии и построены их эпюры для линии с существующими параметрами и для линии при реализации трех предлагаемых вариантов решения снижения потерь напряжения (рис. 3).

Расчет напряжений проводился по формуле:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_1 \cdot R + Q_1 \cdot X}{U_1} \cdot 0,001 \text{ кВ},$$

где U_1 – напряжение в начале линии, кВ;

U_2 – напряжение в конце линии, кВ;

P_1 – активная мощность в начале линии с учетом потерь в линии, кВт;

Q_1 – реактивная мощность в начале линии с учетом потерь в линии, квар;

R – активное сопротивление линии, Ом;

X – реактивное сопротивление линии, Ом.

Как видно из графиков, наибольшие потери напряжения, достигающие порядка 33% на конечном потребителе, наблюдаются в действующей линии (рис. 3 а). Это объясняется, в первую очередь, несоответствием сечений проводов существующим нагрузкам и большой длиной линии.

Далее были проведены расчеты ожидаемых потерь напряжения в линии при реализации предлагаемых способов снижения потерь напряжения.

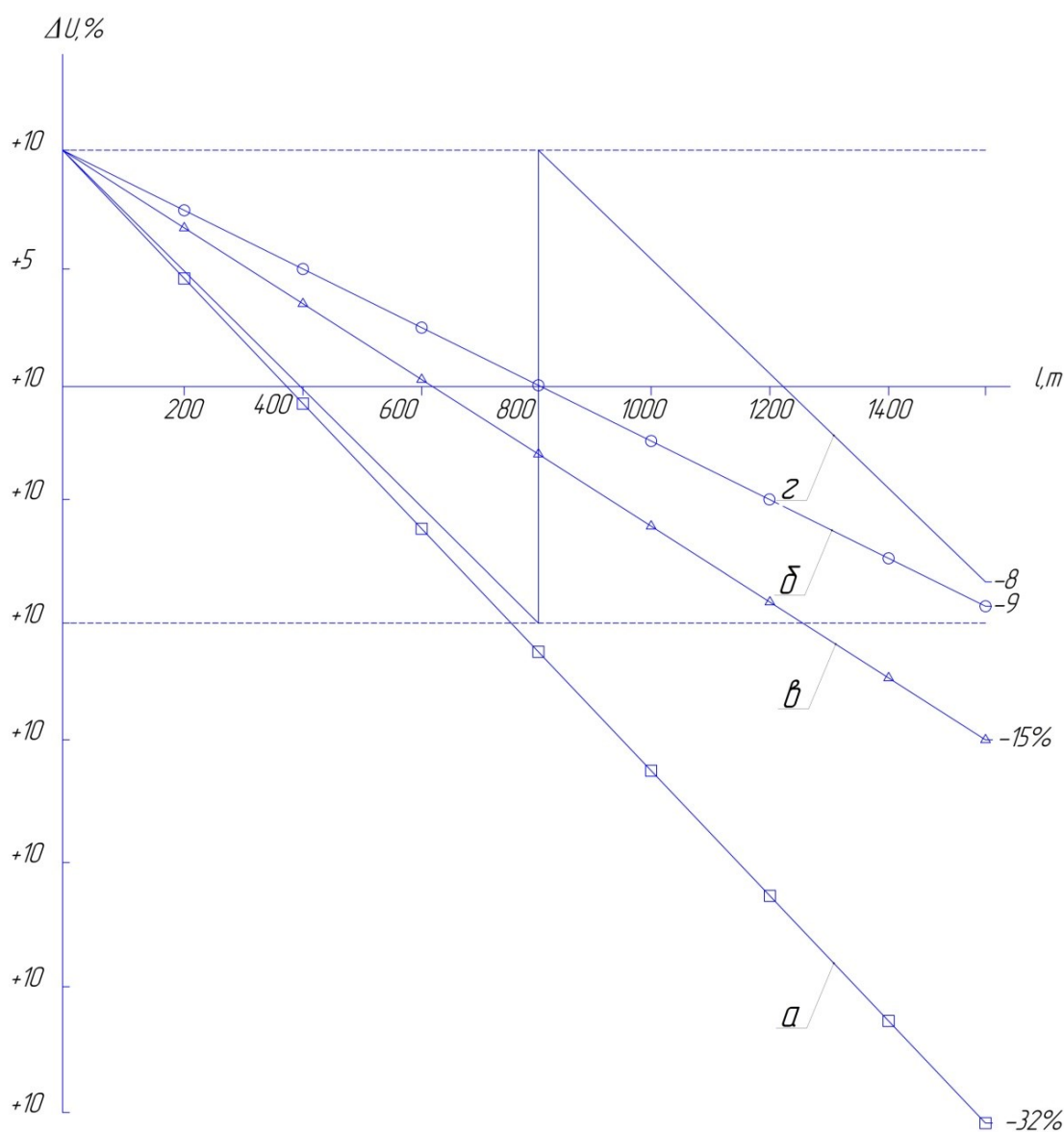


Рис. 3. Эпюры потерь напряжения линии:
а – линия с существующими неизолированными проводами марки А;
б – вариант линии с проводами марки СИП-2; в – вариант установки на подстанции УКРМ;
г – установка на линии ВДТ

Так, замена существующих неизолированных проводов марки А на изолированные провода марки СИП-2 сечением 3х25+1х35 позволит снизить потерю напряжения до 9%. Но это возможно лишь при максимальном симметрировании сети. При этом данный вариант требует значительных капитальных затрат, длительного времени реализации и выполняется электроснабжающими организациями, как правило, лишь при плановых реконструкциях электрических сетей.

Рассмотрение альтернативного замене проводов варианта – установка компенсации реактивной мощности (УКРМ) – основано на следующем. В 2007 г. в РФ требование к минимальному значению коэффициента мощности для точек присоединения потребителя к электрической сети 10(6)-0,4 кВ было значительно ужесточено [6-8]. Например, для сети 0,4 кВ установлен $\cos \varphi = 0,944$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,35$). В настоящее время рассматриваемая сеть работает с $\cos \varphi = 0,85$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,66$). Расчеты показали, что для достижения требуемого значения $\cos \varphi$ необходима УКРМ стандартной мощности 15 квар. При этом снижение потерь активной мощности ΔP составит 2,63%, потери напряжения ΔU снизятся на 11% по сравнению с существующими (рис. 3 в). Достижение предельной компенсации реактивной мощности ($\cos \varphi = 0,99$) потребует установки УКРМ мощностью 25 квар. При этом потери напряжения снизятся на 17% по сравнению с потерями в существующей сети.

Рассмотрение третьего варианта – установка вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) – показало следующее. Во-первых, достаточно большой верхний предел регулирования (до +20%) позволяет эффективно компенсировать потери напряжения в сети. Во-вторых, возможность устанавливать ВДТ в любой точке сети дает возможность рационально подходить к регулированию напряжения в линии. Так, расчеты потерь напряжения в рассматриваемой линии показали, что в районе 16-17 опор достигаются предельные значения $\Delta U = -10\%$ (рис. 3 з).

Установка в этом месте вольтодобавочного трансформатора с предельной уставкой регулирования до +20% позволит восстановить уровень напряжения до +10% от номинального и достичь потерь напряжения в конце линии, не превышающих 8%. В-третьих, применение группы однофазных ВДТ даст возможность повлиять на несимметрию в существующей сети, которая достигает значительной величины.

Оценка экономической эффективности предлагаемых вариантов проводилась по упрощенной методике – только по стоимости необходимого оборудования без учета затрат на проектирование и эксплуатацию. В результате удельная стоимость 1% снижения потерь напряжения составляет:

- использование проводов СИП – 14 тыс. руб/ ΔU %;
- установка УКРМ – 9 тыс. руб/ ΔU %;
- установка ВДТ – 6 тыс. руб/ ΔU %.

Заключение

Система электроснабжения данного сельского населенного пункта является типичной, отражающей многие характерные черты таких систем – использование морально и физически устаревшего оборудования, порою бессистемное развитие сетей, нехватка средств.

Действующая в ПАО "Россети Сибирь" – "Алтайэнерго" стратегия развития электрических сетей в значительной мере направлена на устранение указанных недостатков в качестве электроснабжения потребителей.

Сравнение рассмотренных вариантов снижения потерь напряжения в сети позволяют сказать следующее. Наименее затратным и наиболее эффективным является вариант установки на линии вольтодобавочного трансформатора (ВДТ). Наиболее затратным является вариант реконструкции электрической сети с заменой существующих неизолированных проводов на провода марки СИП. Вариант с компенсацией реактивной мощности (установка УКРМ) можно рассматривать как промежуточный и не особо конкурентноспособный. Сопоставление двух

оставшихся вариантов позволяет сделать следующие выводы. Вариант реконструкции сети с заменой существующих неизолированных проводов на провода марки СИП является выигрышным в перспективе. При наибольших капитальных затратах он дает возможность развития сети, улучшения качества поставляемой электроэнергии, снижения эксплуатационных издержек. Вариант с установкой в сеть вольтодобавочного трансформатора можно рассматривать как промежуточный. Поскольку реконструкция сети – это довольно длительное по времени мероприятие, то снижение потерь напряжения в сети при помощи установки ВДТ позволит на какой-то промежуток времени достаточно эффективно решить проблему.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: дата введения 2013-03-25. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 10.03.2023). – Текст: электронный.
2. Белый, В. Б. Анализ эффективности систем сельского электроснабжения Алтайского края / В. Б. Белый. – Текст: непосредственный // Обеспечение и рациональное использование энергетических и водных ресурсов в АПК: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Москва: Изд-во Российского государственного аграрного заочного университета, 2009. – С. 122-124.
3. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т. Б. Лещинская. – Москва: КолосС, 2006. – 368 с. – Текст: непосредственный.
4. ГОСТ 24126-80 (СТ СЭВ 634-88). Устройства регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой. Общие технические условия (с изменениями № 1, 2): дата введения 1986-12-16. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012420>. – Текст: электронный.

5. ГОСТ Р 52719-2007. Библиографическая ссылка. Трансформаторы силовые. Общие технические условия (с поправкой): дата введения 2007-04-09. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200050072>. (дата обращения: 10.03.2023). – Текст: электронный.

6. ГОСТ Р 55195-2012. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требование к электрической прочности изоляции: дата введения 2012-11-26. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103684> (дата обращения: 10.03.2023). – Текст: электронный.

7. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам (с изменениями № 1, 2): дата введения 1990-05-23. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006969> (дата обращения: 10.03.2023). – Текст: электронный.

8. СТО 34.01-3.2.17-014.1-2020. Методические указания по применению вольтодобавочных трансформаторов (пунктов регулирования напряжения) 6-20 кВ и вольтодобавочных трансформаторов 0,4 кВ в линиях электропередачи распределительных сетей. Том 1.1. Методические указания: дата введения 2020-03-04. – URL: <https://gisprofi.com/gd/documents/sto-34-01-3-2-17-014-2-2020-metodicheskie-ukazaniya-po-primeneniyu.html> (дата обращения: 10.03.2023). – Текст: электронный.

References

1. GOST 32144-2013. Elektricheskaia energiiia. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniiia: data vvedeniia 2013-03-25. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (data obrashcheniia: 10.03.2023).
2. Belyi, V.B. Analiz effektivnosti sistem selskogo elektrosnabzheniia Altaiskogo kraia / V.B. Belyi // Obespechenie i ratsionalnoe ispolzovanie energicheskikh i vodnykh resursov v APK: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-

prakticheskoi konferentsii. – Moskva: Izd-vo RGAZU, 2009. – S. 122-124.

3. Leshchinskaia T.B. Elektrosnabzhenie selskogo khoziaistva / T.B. Leshchinskaia. – Moskva: KolosS, 2006. – 368 s.

4. GOST 24126-80 (ST SEV 634-88). Ustroistva regulirovaniia napriazheniia silovykh transformatorov pod nagruzkoj. Obshchie tekhnicheskie usloviia (s izmeneniiami No. 1, 2): data vvedeniia 1986-12-16. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012420>.

5. GOST R 52719-2007. Bibliograficheskaja sсыlka. Transformatory silovye. Obshchie tekhnicheskie usloviia (s popravkoi): data vvedeniia 2007-04-09. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200050072>. (data obrashcheniia: 10.03.2023).

6. GOST R 55195-2012. Elektrooborudovanie i elektroustanovki peremennogo toka na napriazheniia ot 1 do 750 kV. Trebovanie k elektricheskoi prochnosti izoliatsii: data vvedeniia 2012-11-26. –

URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103684> (data obrashcheniia: 10.03.2023).

7. GOST 17516.1-90 Izdeliia elektrotekhnicheskie. Obshchie trebovaniia v chasti stoikosti k mekhanicheskim vneshnim vozdeistvuiushchim faktoram (s izmeneniiami No. 1, 2): data vvedeniia 1990-05-23. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006969> (data obrashcheniia: 10.03.2023).

8. STO 34.01-3.2.17-014.1-2020 Metodicheskie ukazaniia po primeneniiu voltodobavochnykh transformatorov (punktov regulirovaniia napriazheniia) 6-20 kV i voltodobavochnykh transformatorov 0,4 kV v liniakh elektroperedachi raspredelitelnykh setei. Tom 1.1. Metodicheskie ukazaniia: data vvedeniia 2020-03-04. – URL: <https://gisprofi.com/gd/documents/sto-34-01-3-2-17-014-2-2020-metodicheskie-ukazaniya-po-primeneniyu.html> (data obrashcheniia: 10.03.2023).

