

Разработка эксплуатационных мероприятий поддержания номинального значения напряжения сети однофазных потребителей садовых некоммерческих товариществ

Сергей Мударисович Бакиров¹, Фярид Кинжаевич Абдразаков¹, Владимир Александрович Стрельников¹, Юлия Викторовна Иванкина¹, Илья Максимович Кусякин²

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²СНТ «Лотос», Саратовская область, Россия

e-mail: s.m.bakirov@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены проблемы низкого качества электрической энергии при электро-снабжение садовых некоммерческих потребителей в сети 0,4 и 0,22 кВ. Представлены особенности потребительской сети двух садовых некоммерческих товариществ в Саратовской области с указанием удаленности потребителей электроэнергии. Анализ показал, что максимальная удаленность конечного потребителя от трансформаторной подстанции составляет 1400 м. Для данных технических параметров линии рассмотрена зависимость потерь напряжения в линии от мощности и сечения провода. Установлено, что для сохранения качества электрической энергии по отклонению от номинального значения (не более 10 %) потребителям в линии с сечением провода 50 мм² и с равномерным распределением нагрузки потребителей по всей длине 1400 м следует потреблять мощность не более 500 Вт. Предложены варианты повышения эффективности эксплуатации линий электроснабжения напряжением 0,4 и 0,22 кВ садовых участков.

Ключевые слова: номинальное напряжение; отклонение напряжения; однофазный потребитель; потребляемая мощность; электроснабжение

Для цитирования: Бакиров С. М., Абдразаков Ф. К., Стрельников В. А., Иванкина Ю. В., Кусякин И. М. Разработка эксплуатационных мероприятий поддержания номинального значения напряжения сети однофазных потребителей садовых некоммерческих товариществ // Аграрный научный журнал. 2024. № 1. С. 110–115. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp110-115>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Development of operational measures for maintaining the rated value of voltage in the network of single-phase consumers of garden non-profit partnership

Sergey M. Bakirov¹, Fyared K. Abdrazakov¹, Vladimir A. Strelnikov¹, Yulia V. Ivankina¹, Ilya M. Kussyakin²

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²Gardening non-profit partnership “Lotos”, Saratov region, Russia

e-mail: s.m.bakirov@mail.ru

Abstract. The work examines the problems of low quality electrical energy when supplying garden non-commercial consumers in the 0.4 and 0.22 kV network. The features of the consumer network of two gardening non-profit partnerships in the Saratov region are presented, indicating the remoteness of electricity consumers. The analysis showed that the maximum distance of the end user from the transformer substation is 1400 m. For these technical parameters of the line, the dependence of the voltage losses in the line on the power and cross-section of the wire was considered. It has been established that in order to maintain the quality of electrical energy in terms of deviation from the nominal value (no more than 10 %), consumers in a line with a wire cross-section of 50 mm² and with a uniform distribution of the consumer load along the entire length of 1400 m should consume power of no more than 500 W. Options for increasing the efficiency of operation of power supply lines with voltages of 0.4 and 0.22 kV in garden plots are proposed.

Keywords: rated voltage; voltage deviation; single-phase consumer; power consumption; power supply



For citation: Bakirov S. M., Abdrazakov F. K., Strelnikov V. A., Ivankina Yu. V., Kusyakin I. M. Development of operational measures for maintaining the rated value of voltage in the net-work of single-phase consumers of garden non-profit partnership. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = *Agrarian Scientific Journal*. 2024;(1):110–115. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp110-115>.

Введение. Электроснабжение потребителей садовых некоммерческих товариществ осуществляется с помощью распределительных линий 10 кВ [5]. Как правило, потребительские трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ устанавливают в центре электрических нагрузок с соблюдением строительных норм и правил для такого рода объектов [1]. Однако для садовых некоммерческих товариществ (СНТ) данное правило не всегда выполняется, так как земельные участки имеют небольшие размеры, и садоводы используют каждый квадратный метр земли для возделывания сельскохозяйственных культур или сада. Поэтому часто трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (ТП) располагаются вдоль основных дорог СНТ или непригодных для возделывания земель.

Такая особенность расположения ТП приводит к тому, что протяженность линий напряжением 0,4 кВ может достигать до 2 км. На рис. 1 показана удаленность крайнего потребителя от ТП в СНТ Саратовской области.

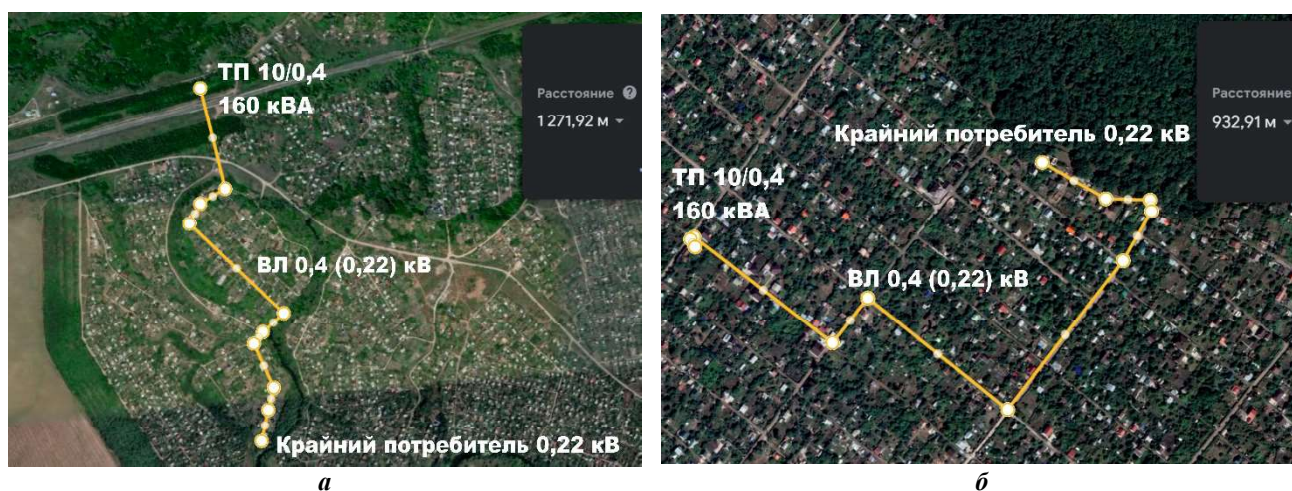


Рис. 1. Удаленность крайнего однофазного потребителя от трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ:

а – СНТ «Лотос» п. Дубки Саратовского района; б – СНТ «Дружба-59» г. Саратова

Fig. 1. Distance of the outermost single-phase consumer from the 10/0.4 kV transformer substation:

а – SNT “Lotos” in Dubki, Saratov district; б – SNT “Druzhba-59”, Saratov

Вместе с этим конфигурация потребительских сетей 0,4 кВ не всегда выполнена по правилам проектирования [1, 3] из-за территориальных особенностей садовых некоммерческих товариществ (рис. 2). Эта особенность увеличивает длину линий в 1,1–1,5 раза.

В совокупности все особенности условий эксплуатации линий электроснабжения садовых некоммерческих товариществ негативно влияют на потребителя электрической энергии, приводя к снижению ее качества. Это проявляется в виде низкого напряжения – ниже допустимого, например, менее 190 В, что в дальнейшем ведет к недополучению требуемой мощности электроприемников: остановка работы компрессора холодильника, увеличенное в 2–7 раз время нагрева воды в электрическом чайнике и т.п.

Причем в садовых товариществах нагрузка на линию изменяется резко. Число абонентских потребителей в выходные дни резко возрастает в 2–10 раз. В весенне-осенний период преобладает нагрузка при использова-

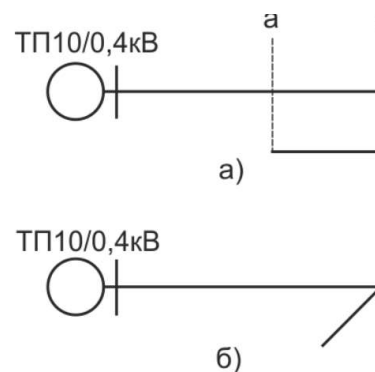


Рис. 2. Неправильная конфигурация проектирования линий электропередач: а – линия не должна возвращаться в сторону трансформаторной подстанции; б – отпайка не должна располагаться под углом меньше 90° от направления магистральной линии

Fig. 2. Incorrect design configuration of power lines: а – the line should not return towards the transformer substation; б – the tap should not be located at an angle less than 90° from the direction of the main line





нии средств местного электрообогрева, а в летний период нагрузка работы холодильников и систем кондиционирования воздуха.

На основании вышеизложенного целью данной работы является разработка эксплуатационных мероприятий, способствующих поддержанию номинального значения напряжения сети однофазных потребителей садовых некоммерческих товариществ.

Материалы и методы. Исследования проводятся на основе теории проектирования и эксплуатации систем электроснабжения с применением основных методов научного познания: наблюдение, измерение, анализ и системный подход.

Результаты исследований. Потребительские линии 0,4 и 0,22 кВ характеризуются техническими и эксплуатационными параметрами. К техническим параметрам относят: мощность трансформаторной подстанции (кВА), длина отходящей линии (м), сечение провода (мм²), тип провода (изолированный/голый), материал провода (медь, алюминий), номинальный ток (А) и тип расцепителя аппарата защиты, количество абонентских потребителей. К эксплуатационным параметрам относят: равномерность распределения нагрузки по фазам, качество контактных соединений проводов в линии и присоединений отпаяк потребителей, исправность приборов контроля и учета электроэнергии, качество просек под линиями, наличие и периодичность повторного заземления и т.п. [4, 6]. На основе оценки технических и эксплуатационных параметров можно оценить состояние линии.

Садовые участки ничем не отличаются от жилых помещений, поэтому характер нагрузки соответствует бытовому с подобным составом электроприемников (лампа, электрический чайник, стиральная машина и т.п.). Оценим для таких потребителей возможные потери напряжения в линии при различных технических и эксплуатационных параметрах (см. таблицу).

Распределение потерь напряжения в линии при различных технических параметрах и удаленности потребителя 1400 м от ТП

Distribution of voltage losses in the line for various technical parameters and consumer distance of 1400 m from the transformer substation

Тип потребителя	Мощность P , Вт	1 потребитель		5 потребителей		10 потребителей	
		$s=25 \text{ мм}^2$	$s=50 \text{ мм}^2$	$s=25 \text{ мм}^2$	$s=50 \text{ мм}^2$	$s=25 \text{ мм}^2$	$s=50 \text{ мм}^2$
		ΔU_1 , %	ΔU_2 , %	ΔU_1 , %	ΔU_2 , %	ΔU_1 , %	ΔU_2 , %
Лампа	60	0,146	0,073	0,729	0,365	1,458	0,729
Лампа	100	0,243	0,122	1,215	0,608	2,431	1,215
Холодильник	150	0,365	0,182	1,823	0,911	3,646	1,823
Компьютер	400	0,972	0,486	4,861	2,431	9,722	4,861
ТЭН мал.	600	1,458	0,729	7,292	3,646	14,583	7,292
Чайник	1000	2,431	1,215	12,153	6,076	24,306	12,153
Чайник	1200	2,917	1,458	14,583	7,292	29,167	14,583
Утюг	1500	3,646	1,823	18,229	9,115	36,458	18,229
Обогреватель	2000	4,861	2,431	24,306	12,153	48,611	24,306

Примечание: s – сечение провода, ΔU – потери напряжения.
Анализ проведен для однофазного потребителя (240 В – напряжение в начале линии), материал провода – алюминий.

Анализ данных таблицы показывает, что для одного удаленного на расстояние 1400 м от ТП потребителя в линии с любым запасом мощности, с начальным напряжением 240 В возникают незначительные потери в пределах допустимого значения [2]. Это в случае если линия не имеет потерь в местах соединения проводов, то есть считаем, что провод выполнен как одно целое. Если же на конце линии расположено пять потребителей, то в тех же условиях при одновременном включении электрических чайников мощностью 1 кВт потери в проводе сечением 25 мм² составят больше допустимого значения 10 %, тогда потребитель имеет право не платить за электроэнергию [2]. Если же линия выполнена сечением 50 мм² и более – потери напряжения будут в пределах нормативного значения.

Однако в таблице представлено так, что все потребители одновременно включают электроприемники, находясь в конце линии. В реальных условиях нагрузка распределяется по линии от начала до конца. Тогда общие потери в линии составят

$$\Delta U = \int_0^l \int_0^P \frac{100 P \rho l}{U^2 S} dP dl,$$

где U – напряжение в начале линии, В (рис. 3); P – мощность, потребляемая абонентом, Вт; l – общая длина линии, как сумма длин участков (например, 50 м) линии между абонентами, м; ρ – удельное электрическое сопротивление материала (алюминий), $\rho = 0,025 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; S – сечение провода, мм^2).

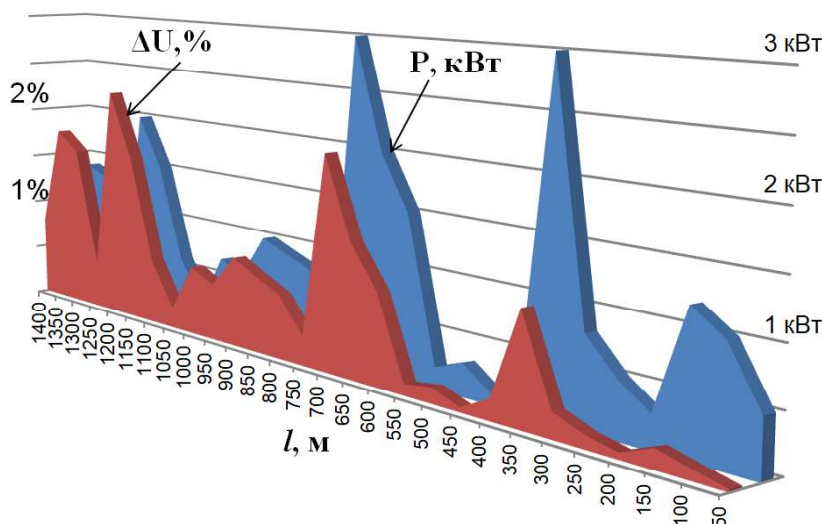


Рис. 3. Оценка потерь напряжения (красная фигура) по длине линии с разной потребляемой мощностью абонентов при условии: сечение провода 50 мм^2 , провод алюминиевый

Fig. 3. Estimation of voltage losses (red figure) along the length of the line with different power consumption of subscribers, provided: wire cross-section 50 мм^2 , aluminum wire

По рис. 3 видно, что каждый потребитель имеет случайную нагрузку, при которой образуются потери. При суммарной нагрузке $27,3 \text{ кВт}$ на линии длиной 1400 м образуются суммарные потери $19,25 \%$ (см. рис. 3). При среднем потреблении абонентами 975 Вт по всей длине линии потери составят $18,71 \%$, что на $2,9 \%$ ниже случайного характера нагрузки, но оба значения не соответствуют требованиям качества электроэнергии.

Рассмотрим при каких условиях потери напряжения будут соответствовать требованиям нормативных документов по отклонению (рис. 4).

Если линия общей длиной 1400 м выполнена алюминиевым проводом сечением 35 мм^2 (синяя линия, см. рис. 4), то для сохранения качества электрической энергии по отклонению от номинального значения (не более 10%) потребителям следует потреблять мощность не более 350 Вт . Однако при тех же условиях, если выполнить линию сечением 70 мм^2 , то для потребителей диапазон потребляемой мощности расширяется в два раза (зеленая линия, см. рис. 4) при сохранении качества электрической энергии.

Одним из известных способов снижения потерь напряжения является использование схемы кольцевания (рис. 5), в которой нулевой проводник двух отходящих линий соединяется в конце участка. Эта схема позволяет существенно улучшить качество напряжения для однофазных потребителей.

На образование потерь также влияют такие факторы [7–10], как качество бандажных скруток на опорах, касание голых проводов веток деревьев, исключить влияние которых можно путем качественного и своевременного обслуживания линий.

Заключение. Таким образом, на основе вышеизложенного предложены варианты повышения эффективности эксплуатации линий электроснабжения напряжением $0,4$ и $0,22 \text{ кВ}$ садовых участков.

Обрезка деревьев по всей длине линии с голыми проводами. На практике встречаются линии с голыми алюминиевыми проводами, которые касаются токопроводящей частью листьев, веток



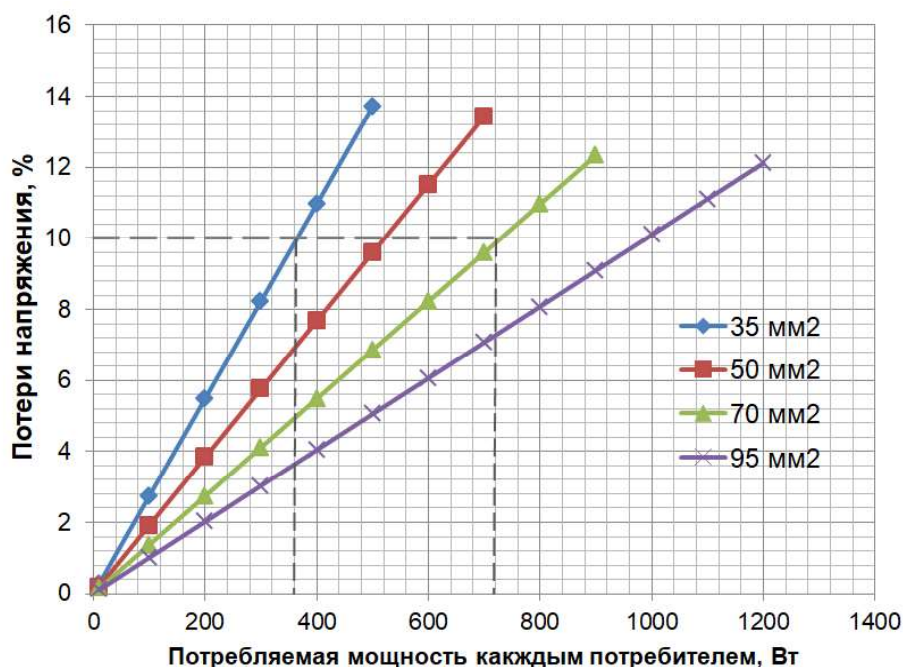


Рис. 4. Зависимость потребляемой мощности каждым абонентом по всей длине линии каждые 50 м (до 1400 м)

Fig. 4. Dependence of power consumption by each subscriber along the entire length of the line every 50 m (up to 1400 m)

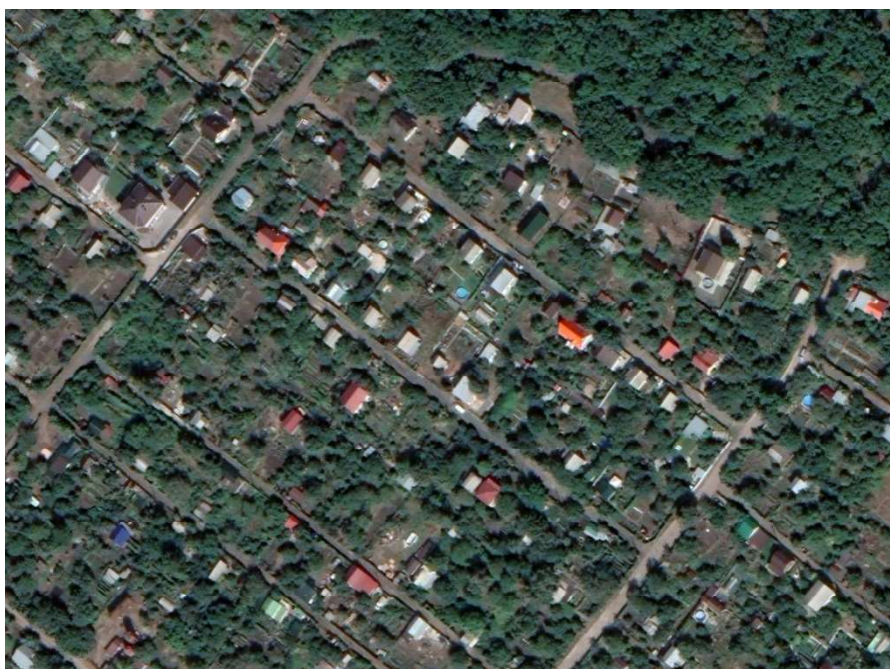


Рис. 5. Выполнение линии напряжением 0,22 кВ по кольцевой схеме

Fig. 5. Construction of a 0.22 kV line using a ring circuit

деревьев. В дождливый день проводимость этих контактов резко увеличивается, что приводит к значительным токам утечки.

Замена проводов и кабелей низкого сечения на провода и кабели большего сечения. Данное мероприятие увеличивает пропускную способность линии, сокращая общий ток в линии.

Диагностирование и проведение технического обслуживания контактных соединений в местах подключения потребителей к линии. На практике встречаются недопустимые случаи соединения алюминиевых проводов линии с медными кабелями потребителей. При высокой плотности тока (выше 5 А/мм²) в таких местах соединения данный контакт служит не более 1 года.

Выполнение электроснабжения участков напряжением 0,22 и 0,4 кВ по кольцевой схеме. Например, в линиях напряжением 0,22 кВ нулевой рабочий проводник одной и другой улиц объединяют, тем самым в два раза увеличивают сечение нулевого проводника.

Введение организованных мер временного ограничения включения мощных электроприемников или включение электроприемников абонентских потребителей по согласованному графику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варганова А. В., Ирихов А. С. САПР расчета и анализа технико-экономических показателей элементов системы электроснабжения с источниками малой генерации // Автоматизированные технологии и производства. 2021. № 2 (24). С. 4–6.
2. ГОСТ 32144-2013 «Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» // СПС «Гарант».
3. Основные направления развития системы технического регулирования и стандартизации в электроэнергетике РФ / А. К. Джинчарадзе [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. 2014. № 1 (24). С. 2–18.
4. Повышение пропускной способности и управляемости электропередач переменного тока / В.М. Постолатий [и др.] // Проблемы региональной энергетики. 2008. № 3. С. 86–103.
5. Солдатов В. А., Смирнов С. В. Определение места повреждения в электрических сетях 6 кВ при использовании модулей и фаз напряжений и токов в начале линии // Аграрный вестник Нечерноземья. 2023. № 1 (9). С. 64–69.
6. Фомин И. Н., Беликов Р. П. Особенности эксплуатации воздушных линий электропередачи // Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции. 2021. С. 160–163.
7. Шведов Г. В., Щепотин А. С. Анализ погрешностей расчетов нагрузочных потерь электроэнергии в проводах воздушных линий электропередачи // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2017. №. 6. С. 75–85.
8. Bhatia A. Power factor in electrical energy Management // PDH online course E. 2012. Vol. 144.
9. Khan S. U. D. Techno-economic analysis of solar photovoltaic powered electrical energy storage (EES) system // Alexandria Engineering Journal. 2022. Vol 61. No. 9. P. 6739–6753.
10. Li F., Pan J., Chao H. Marginal loss calculation in competitive electrical energy markets // 2004 IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings. IEEE. 2004. Vol. 1. P. 205–209.

REFERENCES

1. Varganova A. V., Irikhov A. S. CAD for calculation and analysis of technical and economic indicators of elements of the power supply system with small-scale generation sources. *Automated Technologies and Production*. 2021;2(24):4–6. (In Russ.).
2. GOST 32144-2013 “Interstate standard. Electric Energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems”. Available at: <https://www.garant.ru/>. (In Russ.).
3. Dzhincharadze A. K. Main directions of development of the system of technical regulation and standardization in the electric power industry of the Russian Federation. *Reliability and Safety of Energy*. 2014;1(24):2–18. (In Russ.).
4. Postolaty V. M. Increasing the throughput and controllability of AC power transmission. *Problems of Regional Energy*. 2008;3:86–103. (In Russ.).
5. Soldatov V. A., Smirnov S. V. Determination of the location of damage in 6 kV electrical networks when using modules and phases of voltages and currents at the beginning of the line. *Agrarian Bulletin of Non-Black Earth Region*. 2023;1(9):64–69. (In Russ.).
6. Fomin I. N., Belikov R. P. Features of operation of overhead power lines. *Resource-saving Technologies for Storage and Processing of Agricultural Products*. 2021:160–163. (In Russ.).
7. Shvedov G. V., Shchepotin A. S. Analysis of errors in calculations of load losses of electricity in the wires of overhead power lines. *Bulletin of the Moscow Energy Institute. Bulletin of MPEI*. 2017;6:75–85. (In Russ.).
8. Bhatia A. Power factor in electrical energy management. *PDH online course E*. 2012;144.
9. Khan S. U. D. Techno-economic analysis of solar photovoltaic powered electrical energy storage (EES) system. *Alexandria Engineering Journal*. 2022;61(9):6739–6753.
10. Li F., Pan J., Chao H. Marginal loss calculation in competitive electrical energy markets // 2004 IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings. IEEE. 2004;1:205–209.

Статья поступила в редакцию 11.09.2023; одобрена после рецензирования 15.10.2023; принята к публикации 20.10.2023.

The article was submitted 11.09.2023; approved after reviewing 15.10.2023; accepted for publication 20.10.2023.

