

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Ирина Михайловна Кирпичникова**<sup>1</sup>, [kirpichnikovaim@susu.ru](mailto:kirpichnikovaim@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4078-8790>  
**Сергей Сергеевич Шипилов**<sup>2</sup>, [shipil0819@yandex.ru](mailto:shipil0819@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6351-6643>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Учебно-авиационная база, Челябинск, Россия

**Аннотация.** В статье рассмотрена необходимость обеспечения надежного электроснабжения высокотехнологичных предприятий для двух вариантов их расположения: вблизи города или ЛЭП и на отдаленной от нее территории. Показана проблема использования только одного источника питания для таких предприятий в случае нестабильности тока по частоте и при изменении напряжения, а также планового или внепланового отключения питания в сети ЛЭП. В качестве резервного источника предлагается вариант автоматизированной системы электроснабжения (АСЭ), включающей в себя питание переменным током от внешней сети и питание от комбинированной ветро-солнечной установки (ВСУ). Предложены схемы совместного использования ВСУ и внешних источников для предприятий, расположенных вблизи ЛЭП и схема совместного использования ВСУ с рекуператорами и термоэлектрическими генераторами для варианта, когда предприятия расположены вне зоны досягаемости ЛЭП. Результатом данного предложения является достижение постоянного, высококачественного и бесперебойного электроснабжения высокотехнологичных энергоустановок в любое время года и при любых погодных условиях.

**Ключевые слова:** высокотехнологичные предприятия, надежность электроснабжения, энергосбережение, фотоэлектрические установки, ветрогенераторы, автоматизированная система электроснабжения

**Для цитирования:** Кирпичникова И.М., Шипилов С.С. Обеспечение бесперебойного электроснабжения высокотехнологичных предприятий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2022. Т. 22, № 1. – С. 55–61. DOI: 10.14529/power220106

Original article  
DOI: 10.14529/power220106

## ENSURING UNINTERRUPTED POWER SUPPLY TO HIGH-TECH POWER ENTERPRISES

**Irina M. Kirpichnikova**<sup>1</sup>, [kirpichnikovaim@susu.ru](mailto:kirpichnikovaim@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4078-8790>  
**Sergey S. Shipilov**<sup>2</sup>, [shipil0819@yandex.ru](mailto:shipil0819@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6351-6643>

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> Training aviation base, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** The article considers the need to ensure reliable power supply to high-tech enterprises, taking into account two location options: near the city or power lines, and in a territory remote from it. The problem of using only one power source for such enterprises is connected to current instability in frequency and voltage changes, as well as planned or unscheduled power outages in the power transmission line network. A variant of an automated power supply system is proposed as a backup source. This includes AC power from an external network and power from a combined wind-solar installation. The study proposes schemes for the joint use of wind-solar installations and external sources for enterprises located near power lines. It further proposes a scheme for the joint use of power lines with recuperators and thermoelectric generators, in those cases when enterprises are located beyond the reach of power lines. The result of this proposal is a constant, high-quality and uninterrupted power supply to high-tech power plants at any time of the year and under any weather conditions.

**Keywords:** high-tech enterprises, power supply reliability, energy saving, photovoltaic installations, wind turbines, automated power supply system

**For citation:** Kirpichnikova I.M., Shipilov S.S. Ensuring uninterrupted power supply to high-tech power enterprises. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2022;22(1):55–61. (In Russ.) DOI: 10.14529/power220106

### Введение

Как в мире, так и в России, увеличивается количество высокотехнологичных предприятий, выпускающих инновационную продукцию с использованием новейших технологий, методов, процессов и средств производства. Продукция таких предприятий отличается высокой конкурентоспособностью и поэтому к ней предъявляются повышенные требования [1]. Одно из требований – обеспечение предприятия бесперебойным и качественным электропитанием. Это актуально в том числе и для предприятий, имеющих резервный источник питания на случай аварийных ситуаций и отключений, поскольку простой оборудования или долгий переход на резервное питание может повлечь серьёзные экономические потери.

Данные предприятия могут располагаться как вблизи города или высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП), так и на отдалённой территории от них, куда вести данные линии физически невозможно или экономически не целесообразно. В этом случае предлагается два способа реализации обеспечения указанных производств бесперебойным и постоянным электропитанием.

Рассмотрим вариант расположения предприятия вблизи ЛЭП, которые в основном используются для передачи переменного тока на короткие и дальние расстояния. В большинстве случаев различные предприятия в качестве основного источника питания используют именно их. Электропитание высокотехнологичных сетевых объектов осуществляется с использованием передового микропроцессорного оборудования релейной защиты и автоматики, устройствами телемеханики и связи. Данный вид электропитания является основным, и вместе с тем он имеет несколько серьёзных недостатков, которые нужно учитывать при работе высокотехнологичных энергоустановок:

- нестабильность тока по частоте и при изменении напряжения;
- плановое или внеплановое отключение питания в сети ЛЭП.

Данные недостатки создают некоторые проблемы при питании предприятия только от одного централизованного источника. Для эксплуатации высокотехнологичных объектов требуется существенно сократить время на восстановление электропитания, количество отключений и снизить потери электроэнергии. Для таких случаев необходимо предусмотреть переключение объекта на питание от другого (резервного) источника. При этом принципиально важно, чтобы мощность резервных источников покрывала нужды объекта на весь период восстановления электропитания.

В качестве резервного источника предлагается использовать местные возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [2].

Анализ ветроэнергетического потенциала территории России показал, что среднегодовая

скорость ветра составляет 5 м/с, при этом прибрежные районы страны имеют более высокие скорости, чем на материке. Следовательно, использование только ветрогенераторов не сможет обеспечить стабильное энергоснабжение в течение всего года. Выработка энергии от фотоэлектростановок в среднем по России превышает 500 кВт·ч в месяц, в период с марта по сентябрь. Остальное время наблюдается серьёзный дефицит энергии [3–5]. В то же время южные районы, характеризующиеся высокой солнечной активностью, имеют невысокие средние скорости ветра.

Это относится к большинству регионов страны, где ветровая и солнечная активности находятся в корреляционной связи (рис. 1а, б)

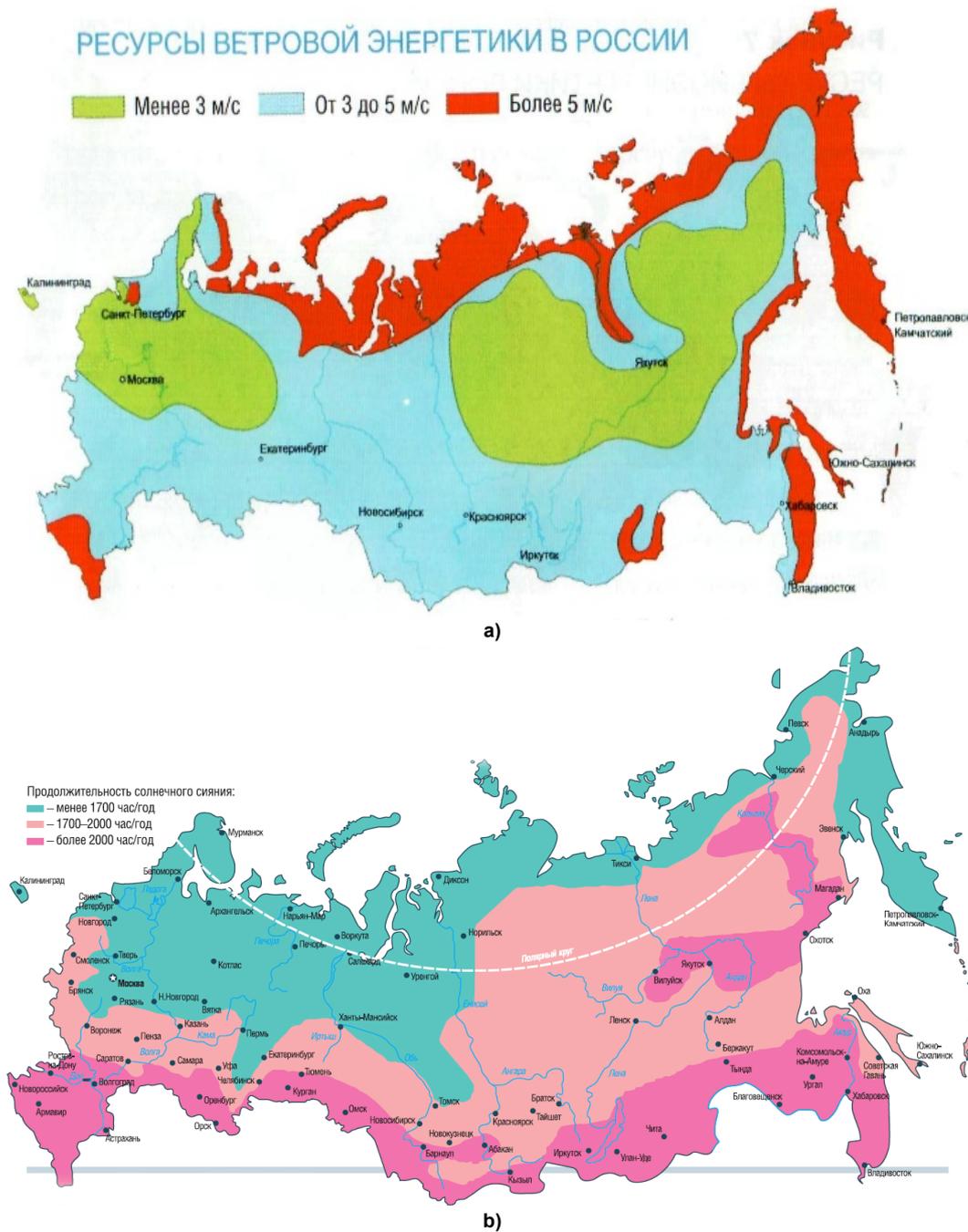
Следовательно, целесообразно рассмотреть в качестве резервного источника комбинированную ветро-солнечную энергоустановку (ВСУ), которая была бы универсальным источником для многих высокотехнологичных производств [2, 6, 7]. При этом надо понимать, что применение только такой установки не позволит обеспечить предприятие надёжным и стабильным электропитанием.

Поэтому предлагается вариант автоматизированной системы электропитания (АСЭ), включающей в себя питание переменным током от внешней сети и питание от ВСУ в качестве дополнительного источника. При этом система управления должна обеспечивать надежное переключение между этими источниками. В солнечную и ветреную погоду полное или частичное питание предприятия осуществляется от резервного источника, недостаток энергии восполняется энергией от аккумуляторных батарей. При остатке заряда аккумуляторных батарей ниже 30 % происходит совместное питание от ВСУ и внешнего источника.

Питание извне должно осуществляться от двух независимых подстанций с применением надежного коммутационного и технологического оборудования и систем управления.

Применение мультиточечных коммуникационных систем (МКС), имеющих две независимые контактные группы управления, позволяет изменить конфигурацию сети, повысить надёжность электропитания потребителей, снизить период простоя потребителей из-за отсутствия электроэнергии. По данным [8], надёжность электрической сети по показателю сокращения времени аварийных переходов с использованием МКС увеличилась более чем в 7 раз по сравнению с радиальной схемой электропитания.

Для такой схемы целесообразно использование внутрицехового электропитания, которое представляет собой централизованный мощный трехфазный преобразователь переменного тока в постоянный и такие же индивидуальные преобразователи, и внутрицеховую сеть постоянного тока. Такой вариант будет экономически выгоднее, так как он дешевле и проще полнокомплектных



**Рис. 1. Зоны ветровой (а) и солнечной (б) активности на территории России**  
**Fig. 1. Zones of wind (a) and solar (b) activity in Russia**

преобразователей частоты [9, 10]. Интеллектуальная система энергосбережения, снабжающая мощный централизованный выпрямитель, позволит получить более высокий КПД.

Для повышения надежности работы предлагается использовать блочно-модульную систему [11].

Применение аморфных трансформаторов позволит сократить потери холостого хода в 4–5 раз. Несмотря на то что их стоимость выше, чем у трансформаторов со стальным сердечником, при дистанционном использовании они становятся выгоднее [12, 13].

Решением вопроса снижения потерь может стать применение сверхпроводников высокой температуры в виде кабелей переменного и постоянного тока. Потери в системе можно уменьшить также за счет управляемости в сети при нормальных и аварийных режимах, а ситуационное управление нагрузкой повысит надежность электроснабжения объектов [14].

Предлагаемый вариант схемы электроснабжения показан на рис. 2. Работа схемы происходит следующим образом. Солнечные батареи совместно с ветрогенераторами через управляемый ключ К1

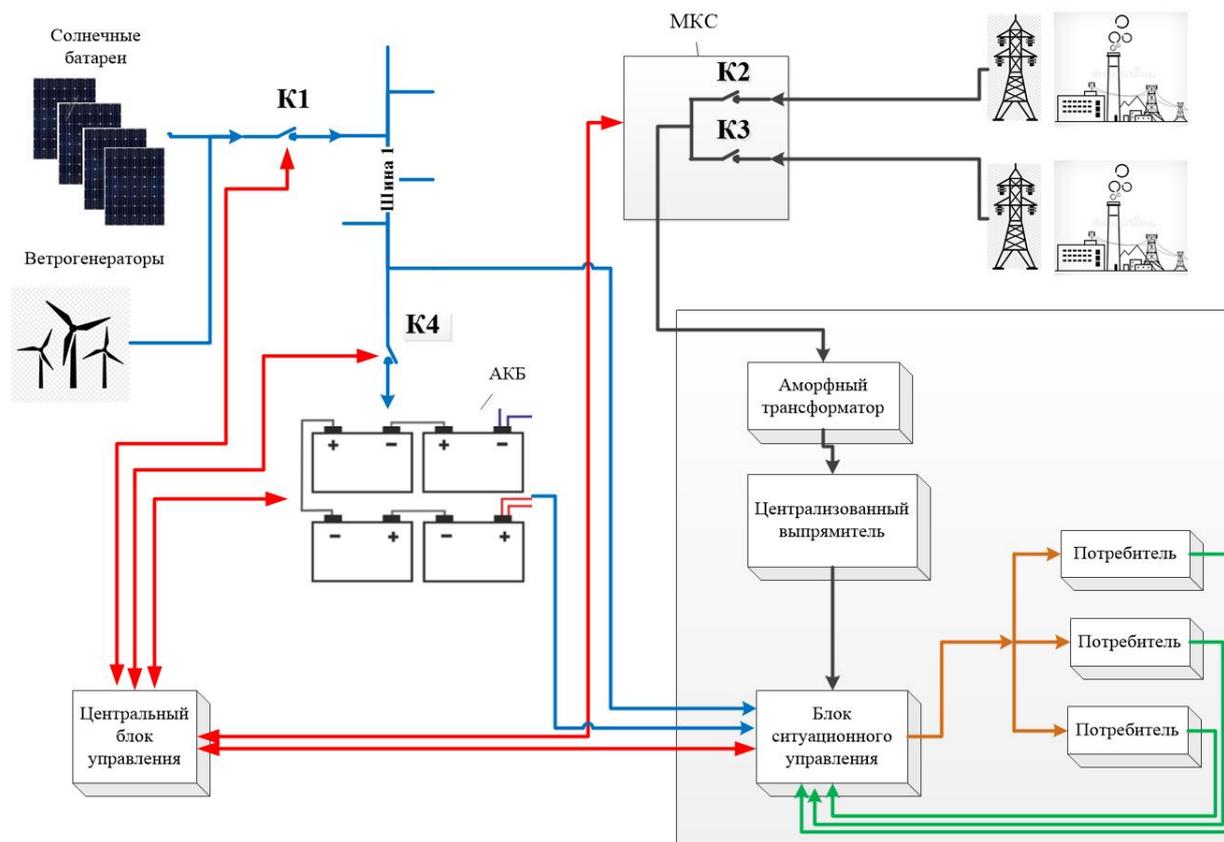


Рис. 2. Совместное использование ВСУ и внешних источников  
Fig. 2. Joint use of APU and external sources

подают питание на централизованный выпрямитель и одновременно заряжают аккумуляторные батареи (АКБ). Мультикомплексная контакторная система (МКС) обеспечивает постоянное подключение к одному из внешних источников питания.

Аморфный трансформатор понижает высоковольтное напряжение до стандартного 220 В. Централизованный выпрямитель осуществляет преобразование переменного тока в постоянный. Далее постоянный ток либо от ВСУ, либо от выпрямителя поступает в ситуационный блок управления, который в зависимости от нагрузки потребителей дозированно распределяет энергию по ним, а также по команде ЦБУ (центральный блок управления) осуществляет переключение между источниками питания. ЦБУ осуществляет общее управление всей системой. Он следит за количеством энергии, вырабатываемой от ВСУ, зарядом АКБ, постоянством питания от внешних источников, анализирует полученные данные и подаёт команды на включение/отключение ключей K1...K4. Отдельной линией является блок ситуационного управления, который осуществляет совместное питание от ВСУ и внешних источников.

Реализация данной системы позволит обеспечить постоянное и качественное электроснабжение, решить вопросы энергосбережения и полу-

чить предприятию экономическую выгоду от реализации данного проекта.

Второй вариант, когда предприятия расположены вне зоны досягаемости ЛЭП. В этом случае основной упор делается на ВИЭ [15]. Как известно, основной проблемой использования возобновляемых источников энергии является их непостоянство во времени, а следовательно и электроснабжения от них. Поэтому круглогодичное обеспечение бесперебойным электропитанием обеспечивается за счёт увеличения количества солнечных батарей, ветрогенераторов и аккумуляторных батарей, а также максимального снижения потерь на всём участке цепи от источников питания до потребителя. В случае неблагоприятной погоды (штиль, пасмурно) резервное питание должно осуществляться от АКБ. В случае низкого заряда аккумуляторных батарей аварийное питание должно переключиться на дизель-генератор.

Для такой схемы необходим предварительный анализ баз данных внешней среды по солнечной радиации и ветровой активности.

Снижение потерь в линии достигается так же, как и в первой схеме, за счёт применения кабелей постоянного и переменного тока на базе высокотемпературных сверхпроводников и ситуационного управления нагрузкой. [14]. Применение термоэлектрических установок и рекуператоров позво-

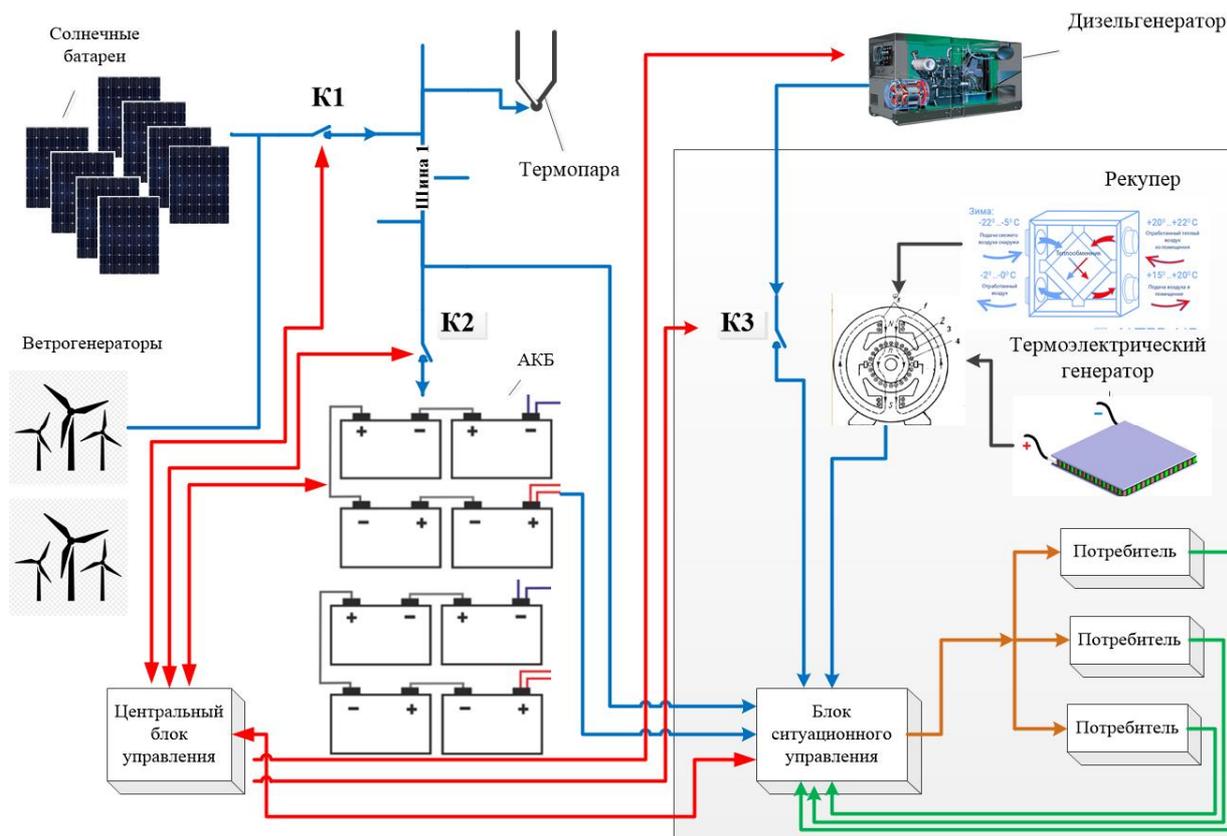


Рис. 3. Совместное использование ВСУ с рекуператорами и термоэлектрическими генераторами  
Fig. 3. Joint use of APU with recuperators and thermoelectric generators

лит экономить и получать дополнительную энергию [15].

Данная схема электроснабжения высокотехнологичных установок с применением ВИЭ целесообразна для небольших предприятий с малыми мощностями. Структурная схема с использованием ВСУ с рекуператорами и термоэлектрическими генераторами показана на рис. 3.

Работа схемы: солнечные батареи совместно с ветрогенераторами через управляемый ключ K1 подают питание на централизованный выпрямитель и одновременно заряжают АКБ.

Постоянный ток либо от ВСУ, либо от дизель-генератора (аварийный режим) поступает в ситуационный блок управления, который в зависимости от нагрузки потребителей дозированно распределяет энергию по ним, а также по команде ЦБУ осуществляет переключение между источниками питания. ЦБУ осуществляет общее управление всей системой. Он следит за количеством энергии, вырабатываемой ВСУ, зарядом

АКБ, анализирует полученные данные и подаёт команды на включение/отключение ключей K1...K3. Блок ситуационного управления осуществляет совместное питание от ВСУ и внешних источников. Рекуператор и термоэлектрический генератор преобразуют энергию нагретого воздуха от потребителей и термопар в электрическую энергию.

### Выводы

Предложенные варианты реализации схемы надежного электроснабжения высокотехнологичных предприятий в виде совместного использования ветро-солнечной установки и внешней сети, а также схемы с использованием ВСУ с рекуператорами и термоэлектрическими генераторами позволят осуществить качественное и бесперебойное электроснабжение предприятий в течение всего года. Это позволит предприятиям полностью исключить простой оборудования и исключить энергетические и экономические потери.

### Список литературы

1. Турко Д.А. Анализ методических подходов к формированию организационно-экономического механизма принятия решений в высокотехнологичном производстве // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2013. № 1-2. С. 32–38.
2. Целесообразность применения возобновляемых источников энергии на промышленных предприятиях / М.А. Лебедева, Э.Ф. Идиятуллина, М.С. Чухлатый, А.В. Набоков // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9. С. 3–11.

3. Выбор структуры фотоэлектрической системы электроснабжения / Б.Н. Лобов, П.Г. Колпахчан, С.А. Белокопытов, А.М. Аль Джурнир Агхад // *Электротехника*. 2015. № 7. С. 36–41.
4. Дубов В.А., Чебодаев А.В. Оценка эффективности использования ФЭС для автономного электроснабжения крестьянско-фермерского хозяйства // *Вестник ИрГСХА*. 2015. № 68. С. 89–94.
5. Козюков Д.А. Применение фотоэлектрических станций для резервного электроснабжения нагрузок сельскохозяйственных потребителей // *Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием*. 2015. С. 113–117.
6. Звягинцев Ю.М., Юфев Л.Ю. Система автономного электроснабжения фермерского хозяйства на территории АР Крым // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. № 1 (11). С. 100–103.
7. Пятибратов В.В. Структурная схема ветро-солнечной установки для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей // *Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции*. 2019. С. 144–146.
8. Виноградов А.В. Методика определения надёжности электроснабжения потребителей в схемах электроснабжения, содержащих мультиконтактные коммутационные системы // *Вестник БГАУ*. 2020. № 2 (54). С. 73–84. DOI: 10.31563/1684-7628-2020-54-2-73-84
9. Зернов А.И., Тростиков А.А. Перспективы применения постоянного тока в системах электроснабжения // *Информационные технологии, энергетика и экономика: сб. тр. XVI междунар. конф. студентов и аспирантов*. В 3 т. Смоленск: Универсум, 2019. Т. 1. С. 28–31.
10. Змиева К.А. Моделирование сети электроснабжения промышленного предприятия с использованием постоянного тока // *Электротехника*. 2015. № 5. С. 2–9.
11. Винников А.В., Григораш О.В., Чумак М.С. Об особенностях модульного построения систем бесперебойного электроснабжения // *Образование и наука в современных условиях*. 2015. № 4 (5). С. 181–184.
12. Казанцев А.А., Солдусова Е.О., Проничев А.В. Анализ режимов при проектировании инновационных систем электроснабжения // *Евразийский союз ученых*. 2018. № 3-2 (48). С. 64–69.
13. Проценко П.П., Барас А.В. Снижение потерь электроэнергии при электроснабжении предприятий на основе внедрения усовершенствованных силовых трансформаторов // *Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов, ученых*. 2016. Т. 4, № 1. С. 201–205.
14. Солопов И.А. Проблема безопасности электроснабжения в мегаполисах // *Молодежь и XXI век – 2015: сб. материалов V Междунар. молодеж. науч. конф. в 3 т. / отв. ред. А.А. Горохов*. 2015. С. 235–237.
15. Крамарчук А.С. Перспективы использования возобновляемых источников энергии при электроснабжении промышленных предприятий // *Инновации. Интеллект. Культура: материалы XXII Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф. / отв. ред. О.А. Новоселов*. 2015. С. 78–80.

### References

1. Turko D.A. Analysis of methodological approaches to the formation of organizational and economic decision-making in high-technology manufacturing. *Modern Science: actual problems of theory and practice. Ser. Economics and Law*. 2013;(1-2). (In Russ.)
2. Lebedeva M.A., Idiyattullina E.F., Chuhlatyj M.S., Nabokov A.V. The feasibility of using renewable energy in industrial enterprises. *Engineering Journal of Don*. 2019;(9):3–11. (In Russ.)
3. Lobov B.N., Kolpakhch'yan P.G., Belokopytov S.A., Ali Madzhid A.D.R. A choice of the structure of the photovoltaic system for power supply. *Russian Electrical Engineering*. 2015;86(7):398–402.
4. Dubov V.A., Chebodaev A.V. [Evaluation of the effectiveness of the use of fes for autonomous power supply of a peasant farm]. *Vestnik IrGSHA*. 2015;(68):89–94. (In Russ.)
5. Kozyukov D.A. [The use of photovoltaic plants for backup power supply of loads of agricultural consumers]. *Sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem* [Collection of materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists with International Participation]; 2015. P. 113–117. (In Russ.)
6. Zvyagintsev Yu.M., Yuferev L.Yu. [Autonomous power supply system for a farm in the territory of the Autonomous Republic of Crimea]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015; 1(11):100–103. (In Russ.)
7. Pyatibratov V.V. [Structural diagram of a wind-solar installation for the power supply of agricultural consumers]. *Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Collection of materials of the X International Scientific and Practical Conference]; 2019. P. 144–146. (In Russ.)
8. Vinogradov A.V. Procedure for determining the reliability of power supply to consumers in electrical layouts containing multi-contact switching systems. *Vestnik BGAU*. 2020;2(54):73–84. (In Russ.) DOI: 10.31563/1684-7628-2020-54-2-73-84
9. Zernov A.I., Trostikov A.A. [Prospects for the use of a constant eye in power supply systems]. *Informatsionnye tekhnologii, energetika i ekonomika. Sbornik trudov XVI mezhdunarodnoy konferentsii studentov i*

*aspirantov. T. 1* [Information technology, energy and economics. Proceedings of the XVI International Conference of Students and Postgraduates. Vol. 1]; 2019. P. 28–31. (In Russ.)

10. Zmieva K.A. [Simulation of the power supply network of an industrial enterprise using direct current]. *Electrical engineering*. 2015;(5):2–9. (In Russ.)

11. Vinnikov A.V., Grigorash O.V., Chumak M.S. [On the features of the modular construction of uninterruptible power supply systems]. *Obrazovanie i nauka v sovremennykh usloviyakh*. 2015;4(5):181–184. (In Russ.)

12. Kazantsev A.A., Soldusova E.O., Pronichev A.V. [Analysis of modes in the design of innovative power supply systems]. *Eurasian Union of Scientists*. 2018;3-2(48):64–69. (In Russ.)

13. Protsenko P.P., Baras A.V. [Reducing electricity losses in the power supply of enterprises based on the introduction of improved power transformers]. *Energo- i resursoberezhenie v teploenergetike i sotsial'noy sfere: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov, uchenykh* [Energy and resource saving in thermal power engineering and social sphere: materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates, Scientists]. 2016;4(1):201–205. (In Russ.)

14. Solopov I.A. [The problem of power supply security in megacities]. *Molodezh' i XXI vek – 2015: sbornik materialov V Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii* [Youth and XXI century – 2015. Collection of materials In the International Youth Scientific Conference]; 2015. P. 235–237. (In Russ.)

15. Kramarchuk A.S. [Prospects for the use of renewable energy sources in the power supply of industrial enterprises]. *Innovatsii. Intellect. Kul'tura. Materialy XXII Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovation. Intelligence. Culture. Materials of the FIAC All-Russian (with international participation) scientific and practical conference]; 2015. P. 78–80. (In Russ.)

#### **Информация об авторах**

**Кирпичникова Ирина Михайловна**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Электрические станции, сети и системы электроснабжения», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kirpichnikovaim@susu.ru.

**Шипилов Сергей Сергеевич**, инженер группы регламента и ремонта электрооборудования. Учебно-авиационная база, Челябинск, Россия; shipil0819@yandex.ru.

#### **Information about the authors**

**Irina M. Kirpichnikova**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department “Power Plants, Networks and Power Supply Systems”, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; kirpichnikovaim@susu.ru.

**Sergey S. Shipilov**, Engineer of the group of electrical equipment regulations and repair, Training aviation base, Chelyabinsk, Russia; shipil0819@yandex.ru.

**Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 31.01.2022; принята к публикации 31.01.2022.**

**The article was submitted 10.01.2022; approved after reviewing 31.01.2022; accepted for publication 31.01.2022.**