

РЕАЛИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.В. Окунева, А.А. Агамирзоев, К.Б. Корнеев

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Окунева В.В., Агамирзоев А.А., Корнеев К.Б., 2020

Аннотация. Рассмотрена одна из самых перспективных технологий для решения задачи балансировки системы с распределенной генерацией – виртуальная подстанция. Отмечено, что, используя технологии распределенных вычислений и «Интернета вещей», можно реализовать эффективный механизм децентрализованного управления элементами энергосистемы.

Ключевые слова: электроэнергетика, подстанция, виртуализация, автоматизация, распределенная генерация, «умный» учет.

DOI: 10.46573/2658-7459-2020-3-51-59

ВВЕДЕНИЕ

Человечество с каждым годом все больше и больше наращивает производство и потребление электроэнергии. В настоящее время особое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии.

Многие ресурсы нашей планеты ограничены. Поэтому большинство стран стремится наращивать долю возобновляемых источников энергии. Будущее человечества зависит от альтернативной энергетики. Однако альтернативная энергетика, несмотря на все свои достоинства, не может обеспечить постоянный уровень производства электроэнергии (иногда ее больше, иногда меньше). Солнечные батареи работают только днем, их эффективность зависит от погодных условий и времени года. Ветряные фермы простаивают во время сезона перелета птиц. Эти и другие факторы являются проблемами, обусловленность которыми отличает рассматриваемую энергетику от традиционной. По мере возрастания доли альтернативной электроэнергии эти проблемы обостряются. На данном этапе исторического развития придумали конкретное их решение – виртуальные электростанции (ВЭС).

КОНСТРУКЦИЯ И ФУНКЦИИ ВЭС

Виртуальная электростанция – это высокотехнологичная система, которая объединяет электроэнергию сразу от нескольких производителей и потребителей [1]. Можно сказать, что ВЭС фактически управляет поведением как производителей, так и потребителей. Производителями в данном случае могут выступать объекты распределенной генерации, солнечные панели, биогазовые, ветровые станции, когенерация, небольшие гидроустановки и т. п.; потребителями – потребители электроэнергии, владеющие холодильными установками, кондиционерами, дренажными насосами, дробильными установками и т.д. Необходимо заметить, что такие объекты потребителей и производителей должны обладать гибкостью в производстве или потреблении электроэнергии. Виртуальная электростанция не вмешивается непосредственно в производственный процесс [2]: она регулирует объекты, обеспечивая поддержку энергосистеме, когда производство и потребление теряют баланс (возникают пиковые нагрузки и т. п.). Для работы ВЭС необходима «умная» инфраструктура: «умные» системы учета электроэнергии; коммуникация, например связь через Интернет; специальное программное обеспечение, которое будет обеспечивать баланс между доступными источниками электроэнергии за счет «сглаживания» пиковых нагрузок в системе.

Виртуальная электростанция может играть роль стабилизатора энергосистемы. При постоянном поступлении информации в реальном времени о возможностях разгрузки мощностей каждого из подключенных к системе потребителя она получает сигнал от регулятора и системного оператора [3]. По предварительной и общей договоренности контролирует потребление каждого потребителя, тем самым сглаживает общий график пиковой нагрузки и стабилизирует сеть [4].

Проект ВЭС не может быть типовым, так как структура возобновляемых источников энергии и их потребителей всегда индивидуальна и уникальна и зависит от различных факторов, таких как географическое положение и демографические особенности региона. Но стоит отметить, что в любой ВЭС есть обязательные элементы:

- 1) источник энергии;
- 2) потребитель электричества;
- 3) система накопления мощности;
- 4) датчики для сбора информации и управления работой;
- 5) программно-аппаратный комплекс, управляющий работой энергосети [5].

Энергосистемам, в которых распределение энергии производится без ВЭС, приходится резервировать энергию (не менее 15 % этой энергии в норме не используется). Поэтому снижается выгода выработки электроэнергии. В системах с ВЭС количество ненужных резервов намного меньше. Различные программные алгоритмы и связь с различными локальными устройствами сбора и обработки информации (так называемого «Интернета вещей» – Internet of Things, IoT) позволяет более гибко применять энергию [6].

КОМПОНЕНТЫ ИДЕАЛЬНОЙ ВЭС

Идеальная ВЭС состоит из нескольких технологических стадий [7, 8]:

1. Технология генерации. В настоящее время доступен широкий диапазон технологий, требующих, однако, жесткой спецификации.

2. Технологии накопления энергии. Системы накопления энергии могут рассматриваться сегодня как новое средство для адаптации изменений спроса на электроэнергию до заданного уровня выработки электроэнергии. В контексте использования возобновляемых источников энергии или других распределенных источников энергии, они могут быть использованы также в качестве дополнительных источников или в качестве энергетических буферов в случае неконтролируемой (стохастической) генерации, например топливные элементы и фотоэлектрические технологии (особенно в слабых сетях в связи с распределенными объектами генерации и возобновляемыми источниками энергии).

3. Информационно-коммуникационные технологии. Крайне важны для ВЭС, наличие коммуникационных технологий и инфраструктура – обязательное требование для рассматриваемой электростанции.

В зависимости от целей управления можно выделить три категории электростанций с разными уровнями использования коммуникационных технологий в них [9, 10].

На данный момент существует несколько определений ВЭС (различаются в зависимости от того, как описана распределенная генерация). Мы будем считать в рамках этой статьи, что ВЭС подразумевает контроль агрегации нескольких распределенных генерирующих блоков, объединенных сетью передачи электрической энергии и располагающихся вблизи нагрузок. Контроль такой агрегации может выполняться централизованной или децентрализованной системой, поддерживаемой алгоритмом логического управления и связи инфраструктуры, поэтому рассматривается как одна большая электростанция.

Типы ВЭС в зависимости от топологии управления и применения коммуникационных технологий:

1. Централизованная ВЭС (рис. 1а). В этом режиме работы распределенных источников генерирования электрической энергии задаются контрольным координационным центром. Сигналы нагрузок поступают в компьютер и обрабатываются с помощью логического алгоритма. После этого сигналы направляются в каждый блок контроллера распределенной генерации и в соответствии с ними осуществляется генерация электроэнергии. При наличии координационного центра ВЭС способна выполнять как технические, так и экономические функции, что позволяет получить преимущества от агрегирования распределенной генерации.

2. Децентрализованная ВЭС (рис. 1б). В топологии децентрализованной системы каждое подразделение распределенной генерации локально контролируется местными контроллерами. В основном активная выходная мощность распределенной генерации контролируется контроллером распределенной генерации, а сам этот контроллер – местным контроллером, который имеет свои логические алгоритмы.

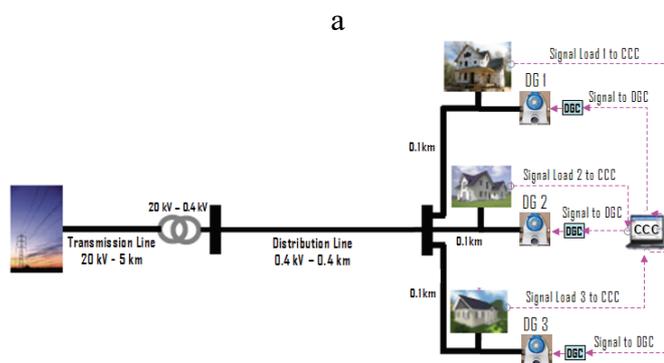


Рис. 1. Виртуальная электростанция: а – централизованная; б – децентрализованная; Transmission Line – линия электропередачи напряжением 20 кВ длиной 5 км; Distribution Line – линия распределения на напряжении 0,4 кВ длиной 0,4 км; Signal load 1, 2, 3 to CCC – передача сигнала на компьютер

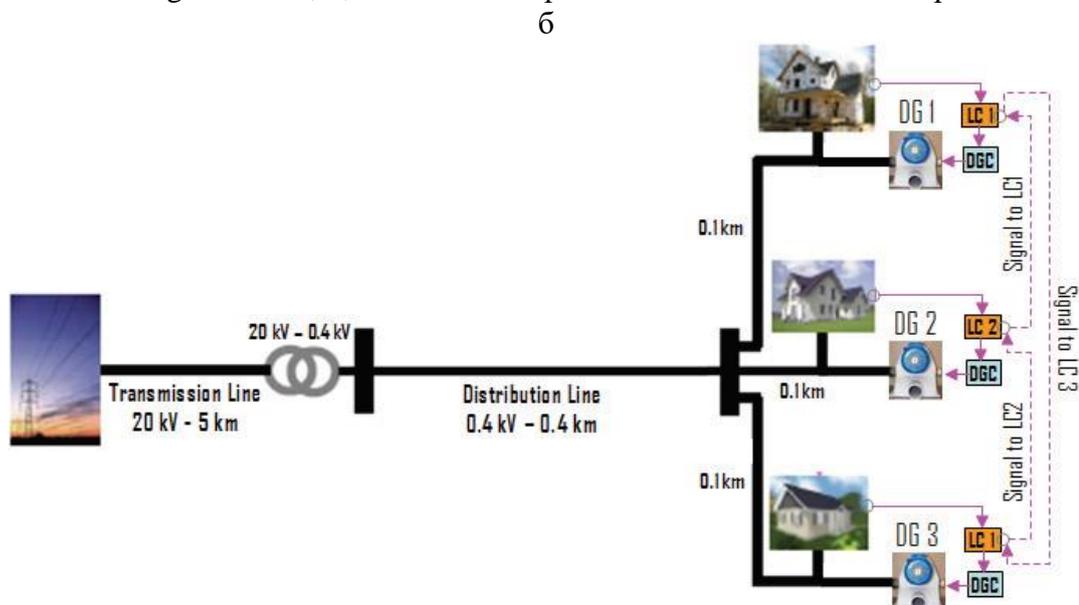


Рис. 1. Продолжение

Для выполнения комплексной системы локальные контроллеры связаны друг с другом (образуют кольцо [11]). Таким образом, сетевая архитектура рассматривается как единый центр управления.

Различные типы подключения блока DG к энергосистеме делятся на следующие конфигурации:

конфигурация 1 (рис. 2а): сеть направлена на минимизацию экспорта и импорта электроэнергии, т. е. блок DG работает параллельно с сетью; обеспечивает пиковую или базовую нагрузку для всех или некоторых нагрузок;

конфигурация 2 (рис. 2б): сеть предназначена для обеспечения экспорта электроэнергии из энергосистемы в сторону клиента, т. е. блок DG работает параллельно с сетью, обеспечивает пиковую или базовую нагрузку для нагрузки и экспортирует энергию в сеть, устройство может обеспечивать дополнительное или резервное питание;

конфигурация 3 (рис. 2в): сеть предназначена для построения энергосистемы с передачей электроэнергии в систему энергоснабжения, т. е. блок DG обеспечивает пиковую, базовую нагрузку или резервное питание для коммунального предприятия, работает параллельно с сетью;

конфигурация 4 (рис. 2г): сеть предназначена для организации реверса или изолирования участка системы с помощью автоматической системы передачи.

В конфигурации 4 два источника питания никогда не соединяются вместе и только один из двух поставщиков всегда подключен к нагрузке в любой момент времени [12]. В этом случае краткий перерыв в электроснабжении происходит во время переключения, а также всякий раз, когда происходит сбой в основной сети и переключение питания на альтернативный генератор обеспечивает питание изолированной пользовательской нагрузки (нагрузка 2); снабжающая компания подает питание потребителю на нагрузку 1 (Load 1) и иногда на нагрузку 2 (Load 2); генератор не работает параллельно.

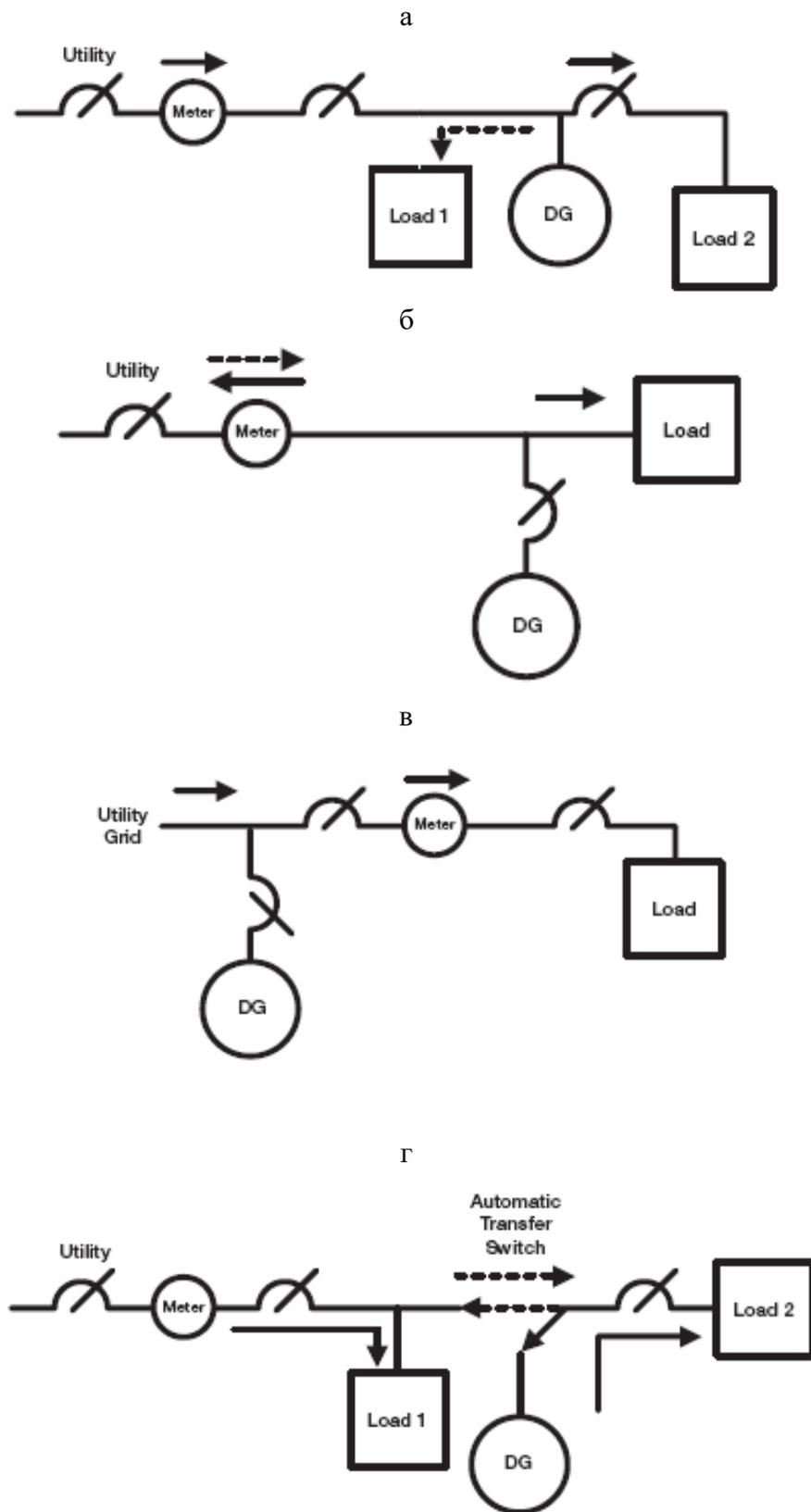


Рис. 2. Конфигурации: а – 1; б – 2; в – 3; г – 4

ФИНАНСОВЫЙ АСПЕКТ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ВЭС

Рынок ВЭС является достаточно перспективным. Об этом свидетельствует количество вложенных в него финансов. В 2016 году мировой рынок ВЭС составлял около 200 млн долл. США. По прогнозам на 2021 год, доля вырастет до 711 млн долл. США. С совершенствованием технологий произойдет рывок в развитии данной отрасли. В

настоящее время все основные проекты ВЭС либо реализуются, либо уже работают, но пока в тестовом режиме [13, 14].

Развитие ВЭС замедляет существующее законодательство. Правом на реализацию электроэнергии потребителям в большинстве стран обладает только государство, которое, в свою очередь, закупает ее у частных производителей. Из-за этого организовать частную распределительную сеть без вмешательства государства не представляется возможным.

В нашей стране наблюдается медленный прогресс в рассматриваемой области. В 2017 году Правительство РФ утвердило документ под названием «План мероприятий по стимулированию развития генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии с установленной мощностью до 15 кВт». Он подразумевает полноценную работу малых возобновляемых источников энергии, таких как частные ветродвигатели и солнечные панели [15].

Главный недостаток ВЭС – относительная дороговизна внедрения; затраты на возведение ВЭС достаточно тяжело спрогнозировать. Иными словами, часто необходимо субсидирование альтернативных электростанций, требуются установка и синхронизация различных датчиков, которые, в свою очередь, не будут нормально функционировать при низком качестве интернет-соединения. Отметим, что с распространением и совершенствованием сетей 5G, которые уже начинают завоевывать рынки развитых стран, данная проблема исчезнет.

Необходимы также программно-аппаратный комплекс и его постоянное обслуживание. Обзор всех перечисленных проблем позволяет сделать вывод, что реализации проекта ВЭС часто невысказана без поддержки государства или иного крупного инвестора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Виртуальные электростанции с каждым годом развиваются, что заставляет правительство во многих государствах пересматривать имеющееся законодательство. Постепенно возникает новый рынок электроэнергии (его формирование, как прогнозируется, завершится к 2024 году). В нем будут тесно переплетены ВЭС, «умное» распределение энергетических резервов, оптимизация всех участков рынка. По имеющейся информации, к 2024 году в некоторых странах (США, Японии и др.) завершатся проекты по строительству передовых ВЭС. Эффективные системы «умного» перераспределения электроэнергии будут стимулировать весь мир увеличивать долю альтернативной энергетики, что, в свою очередь, повлечет за собой сокращение потребления невозобновляемых природных ресурсов и улучшение экологии. Изменится энергетическая инфраструктура, что приведет к децентрализации сети, т. е. будущие энергосистемы будут гораздо меньше страдать от природных катаклизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Altaher A. Implementation of a dependability framework for smart substation automation systems: application to electric energy distribution // *Electric power. Université Grenoble Alpes*. 2018.
2. Bakken D., Bose A., Hauser C., Whitehead D., Zweigle G. Smart generation and transmission with coherent, real-time data // *Proc. IEEE (Special Issue on Smart Grids)*. 2011. Vol. 99. No. 6, pp. 928–951.
3. Кечкин А.Ю., Соснина Е.Н., Шалухо А.В. Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе Micro-Grid // *Вестник НГИЭИ*. 2015. № 4 (47). С. 50–55.
4. Новых А.В., Свириденко И.И., Гоголев Г.В. Повышение эффективности гибридной электростанции с помощью виртуальной электростанции // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2019. Т. 19. № 2. С. 87–96.
5. Корнеев К.Б., Окунева В.В., Павлова Ю.М. Открытость и защищенность протоколов передачи критической информации на объектах энергетики // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2019. № 2 (2). С. 50–57.
6. Sosnina E.N., Shalukho A.V., Lipuzhin I.A., Kechkin A.Y. Optimization of virtual power plant electrical network // *IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference. ISGT*. 2019. P. 8791638.
7. Sosnina E.N., Shalukho A.V., Kechkin A.Y. Optimization of virtual power plant with a distributed generation // *MATEC Web of Conferences*. 2017. P. 01057.
8. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Кечкин А.Ю. Вопросы создания виртуальных электростанций на основе объектов распределенной генерации // *Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI Международной научно-технической конференции* / отв. ред. В.В. Тютиков. Иваново: ИГЭУ, 2015. С. 360–365.
9. Уколова Е.В. Виртуальные электростанции – контроль распределенной генерации // *Молодежный вестник ИРГТУ*. 2016. № 1. С. 25.
10. Аристова Н.И., Чадеев В.М. Виртуальные электростанции – идеи и решения // *Автоматизация в промышленности*. 2019. № 11. С. 9–13. DOI: 10.25728/avtprom.2019.11.03
11. Денисюк С. П., Базюк Т. Н. Анализ влияния источников распределенной генерации на электросети и особенности построения виртуальных электростанций // *Электрификация транспорта*. 2012. № 4. С. 23–28.
12. Суслов К.В. Развитие систем электроснабжения изолированных территорий России с использованием возобновляемых источников энергии // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2017. Т. 21. № 5 (124). С. 131–142.
13. Андрианова Л.П. Тенденции развития электроэнергетики на базе распределенной генерации электроэнергии // *Достижения науки и инновации – аграрному производству: материалы национальной научной конференции*. Уфа: БашГАУ, 2017. С. 68–74.
14. Hrochová M. Virtual power plant concept – idea vs. reality // *Экономика и предпринимательство*. 2016. № 1-1 (66). С. 57–61.
15. Сенчук Д.А., Цырук С.А., Орлова К.В. Перспективы внедрения в России программ по управлению спросом на электроэнергию // *Промышленная энергетика*. 2016. № 10. С. 30–36.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ОКУНЕВА Виктория Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

АГАМИРЗОЕВ Артур Айндинович – магистрант кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

КОРНЕЕВ Константин Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: Energy-tver@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Окунева В.В., Агамирзоев А.А., Корнеев К.Б. Реализация распределенной генерации посредством создания виртуальных электростанций // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 3 (7). С. 51–59.

IMPLEMENTING DISTRIBUTED GENERATION BY CREATING VIRTUAL POWER PLANTS

V.V. Okuneva, A.A. Agamirzoev, K.B. Korneev
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. We consider one of the most promising technologies for solving the problem of balancing a system with distributed generation is a virtual substation. It is noted that using the technologies of distributed computing and the «Internet of things», it is possible to implement an effective mechanism for decentralized control of power system elements.

Keywords: electric power, substation, virtualization, automation, distributed generation, «smart» accounting.

REFERENCES

1. Altaher A. Implementation of a dependability framework for smart substation automation systems: application to electric energy distribution. *Electric power. Université Grenoble Alpes*. 2018.
2. Bakken D., Bose A., Hauser C., Whitehead D., Zweigle G. Smart generation and transmission with coherent, real-time data. *Proc. IEEE (Special Issue on Smart Grids)*. 2011. Vol. 99. No. 6, pp. 928–951.
3. Kechkin A.Y., Sosnina E.N., Shalukho A.V. Issues of creation of virtual power plants on the scale of Micro-Grid. *Vestnik NGIEI*. 2015. No. 4 (47), pp. 50–55. (In Russian).
4. New A.V., Sviridenko I.I., Gogolev G.V. Improving hybrid power plant efficiency with a virtual power plant. *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika..* 2019. Vol. 19. No. 2, pp. 87–96.
5. Korneev K.B., Okuneva V.V., Pavlova Yu. Openness and security of protocols of transmission of critical information at energy facilities. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo. Elektrotekhnika i himicheskie tekhnologii»*. 2019. No 2 (2), pp. 50–57. (In Russian).
6. Sosnina E.N., Shalukho A.V., Lipuzhin I.A., Kechkin A.Y. Optimization of virtual power plant electrical network. *IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference. ISGT*. 2019. P. 8791638.
7. Sosnina E.N., Shalukho A.V., Kechkin A.Y. Optimization of virtual power plant with a distributed generation. *MATEC Web of Conferences*. 2017. P. 01057.
8. Sosnina E.N., Shalukho A.V., Kechkin A.Y. Issues of creation of virtual power plants on the basis of distributed generation objects. *Electric power industry through the eyes of youth works of the VI International Scientific and Technical Conference*. Ivanovo: IGEU, 2015, pp. 360–365. (In Russian).

9. Ukolova E.V. Virtual power plants – control of distributed generation. *Molodezhnyj vestnik IRGTU*. 2016. No. 1, pp. 25. (In Russian).
10. Aristova N.I., Chadeev V.M. Virtual power plants – ideas and solutions. *Automation in industry*. 2019. No. 11, pp. 9–13. DOI: 10.25728/avtprom.2019.11.03.
11. Denisyuk S.P., Bazyuk T.N. Analysis of the influence of distributed generation sources on power grids and peculiarities of virtual power plants construction. *Electrification of transport*. No. 4. pp. 23–28. 2012 (In Russian).
12. Suslov K.V. Development of power supply systems of isolated territories of Russia using renewable energy sources. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017. Vol. 21. No. 5 (124), pp. 131–142. (In Russian).
13. Andrianova L.P. Trends of development of electric power industry on the basis of distributed power generation. *Achievements of science and innovation – agricultural production: materials of the national scientific conference*. Ufa: BashGAU, 2017. pp. 68–74. (In Russian).
14. Hrochová M. Virtual power plant concept – idea vs. reality. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2016. No. 1-1 (66), pp. 57–61.
15. Senchuk D.A., Tsyruk S.A., Orlova K.V. Prospects for implementation of electricity demand management programs in Russia. *Industrial energy*. 2016. No. 10, pp. 30–36. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

OKUNEVA Viktoria Velerjevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

AGAMIRZOEV Arthur Aindinovich – graduate student of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

KORNEEV Konstantin Borisovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: energy-tver@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Okuneva V.V., Agamirzoev A.A., Korneev K.B. Implementing distributed generation by creating virtual power plants // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 3 (7), pp. 51–59.