



Виртуальные электростанции и целесообразность их использования в России

Доля возобновляемой энергетики в мире неуклонно растёт. Так, в 2015 году объём ввода объектов возобновляемой энергетики превысил объём ввода объектов традиционной энергетики. С учётом существования систем государственной поддержки ВИЭ в более чем 170 странах в 2018 году (45 стран в 2006 году) и Парижского соглашения 2015 года в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, целью которого является удержание роста средней температуры за счёт снижения эмиссии углекислого газа, можно сделать вывод о наличии очевидного тренда на замещение традиционных источников энергии возобновляемыми.

Несомненным преимуществом возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является их неистощаемость и относительная, по отношению к органическому топливу, экологическая безопасность [1]. Однако, если доля использования ВИЭ в общем балансе производства электрической энергии оказывается существенной, это приводит к определённым рискам, сложностям и дополнительным потерям в энергосистеме [2].

Эффективным решением данных проблем и многих других может быть применение виртуальной электростанции (ВЭ). Виртуальная электростанция — это «умная» система, которая эффективно агре-

гирует сразу несколько производителей и/или потребителей электроэнергии (рис. 1), что позволяет повысить надёжность сети, обеспечить энергетическую безопасность, оптимизировать баланс электроснабжения в пиковые часы за счёт технологий «управления спросом» (demand response), максимизировать доход, получаемый с оптового и розничного рынка, вывести на оптовый рынок объекты распределённой генерации, участвовать на рынке системных услуг, что, в свою очередь, может положительно отразиться как на поставщиках электроэнергии, так и на её покупателях (концепция win-win) — рис. 1.

Виртуальная электростанция — «умная» система, которая эффективно агрегирует сразу несколько производителей и/или потребителей электроэнергии

Функционирование виртуальной электростанции основано на современном программном обеспечении и технологиях Smart Grid. За последнее десятилетие началась успешная интеграция виртуальных электростанций в энергосистемы развитых стран, таких как США, Германия, Австралия и т.д.

Рецензия эксперта на статью получена 13.12.2021 [The expert review of the article received on December 13, 2021].

УДК 621.311. Научная специальность: 05.14.08.

Виртуальные электростанции и целесообразность их использования в России

В. А. Зубакин, д.э.н., профессор, заведующий кафедрой (базовой) возобновляемых источников энергии; **А. И. Величко**, магистрант, [Губкинский университет \(РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва\)](#)

В данной работе был проанализирован международный опыт применения виртуальных электростанций и их бизнес-модели. Были определены основные виды классификации моделей виртуальных электростанций. Также была проанализирована возможность имплементации виртуальной электростанции в России, оценены основные преимущества и недостатки для зон оптового рынка электроэнергии и мощности на изолированных территориях.

Ключевые слова: виртуальная электростанция, возобновляемые источники энергии, модели со стороны спроса/предложения, оптовый рынок электроэнергии и мощности, распределённая генерация, системы хранения энергии, «умные» сети, управление спросом, энергобезопасность.

UDC 621.311. The number of scientific specialty: 05.14.08.

Virtual power plants and the feasibility of their use in Russia

V. A. Zubakin, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department (basic) of Renewable Energy Sources; **A. I. Velichko**, undergraduate student, [Gubkin University of Oil and Gas Industry](#) (Moscow city)

In this paper, the international experience of using virtual power plants and their business model was analyzed. The main types of models of virtual power plants were identified. The possibility of implementing a virtual power plant in Russia was also analyzed, the main advantages and disadvantages for the zones of the wholesale electricity and capacity market in isolated territories were assessed.

Key words: virtual power plant, renewable energy sources, supply side-based and demand response-based models, wholesale electricity and capacity market, distributed generation, energy storage systems, smart grids, demand management, Energy Security.

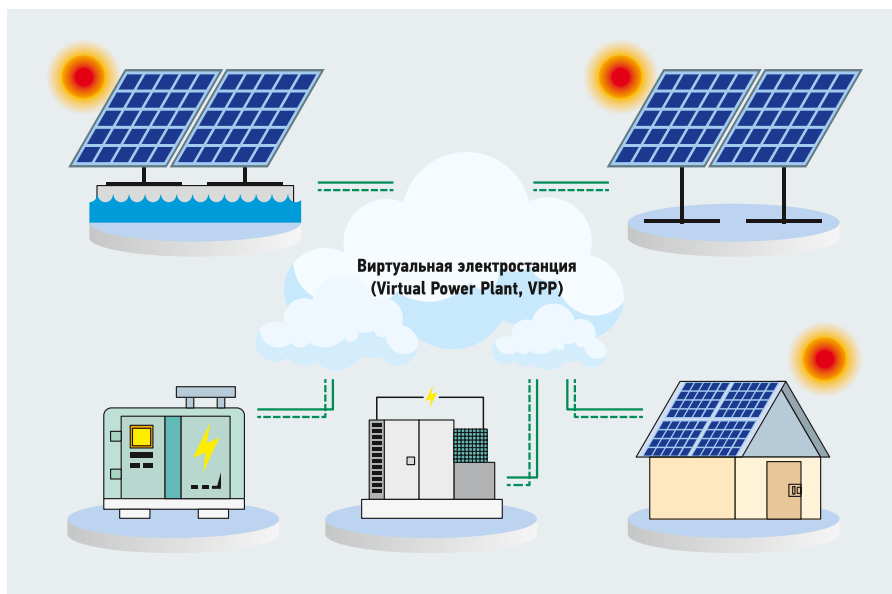


Рис. 1. Виртуальная электростанция

В большинство моделей существующих виртуальных электростанций входят следующие объекты:

- объекты распределённой генерации;
- управляемая нагрузка;
- системы хранения энергии;
- объекты ВИЭ большой мощности.

Однако не существует единственной правильной модели виртуальной электростанции. Например, предложенная модель виртуальной электростанции в Западной Австралии, мировом лидере по доле распределённой генерации в энергосистемах [3], включает 67 домов с установленными солнечными панелями, «умной» техникой и тепловыми насосами, а также аккумуляторными батареями, в которых использован окислительно-восстановительный потенциал ванадия.

Учёными из Университета Мердока (Murdoch University, город Перт, Западная Австралия) были проанализированы четыре различных сценария осуществления виртуальной электростанции:

1. Виртуальная электростанция с тепловыми насосами, с управлением спросом.
2. Виртуальная электростанция с тепловыми насосами, без управления спросом.
3. Виртуальная электростанция без тепловых насосов, с управлением спросом на часть «умной» техники (посудомойки, сушилки и стиральные машины).
4. Виртуальная электростанция без тепловых насосов и без управления спросом.

В результате анализа учёные пришли к выводу о снижении конечной цены для потребителей в случае использования виртуальной электростанции [4].



Одним из лидеров в области виртуальных электростанций является немецкая компания Next kraftwerke, которая начала работу в 2009 году, а в 2013-м достигла финансовой безубыточности, работая в восьми странах мира. Компания Next kraftwerke включает в себя 9966 объектов генерации с установленной мощностью более 8 ГВт [5].

Что касается отечественного бизнеса, то виртуальная электростанция в городе Плоешти (Румыния) является пока единственной такой электростанцией, находящейся в собственности у российской компании. В состав этой виртуальной электростанции, принадлежащей предприятию Lukoil Energy & Gas Romania, на данный момент входят ТЭЦ-2 совокупной установленной электрической мощностью 61 МВт, выполняющая основную работу по покрытию ошибок прогноза производства ВИЭ и потребления электроэнергии, и солнечная электростанция

В большинство моделей существующих виртуальных электростанций входят следующие объекты: объекты распределённой генерации, управляемая нагрузка, системы хранения энергии, объекты использования ВИЭ большой мощности. Однако не существует единственной правильной модели виртуальной электростанции

(СЭС) мощностью 9 МВт. Они расположены в Плоешти на площадях НПЗ «Петротел-Лукойл». С целью обеспечения эффекта естественного нивелирования недостаточной выработки СЭС на 9 МВт были подобраны ещё четыре СЭС общей мощностью 4,156 МВт. Территориальная диверсификация этих солнечных электростанций исключает возможность влияния ошибок прогнозирования одного метеорологического фактора единовременно на все агрегированные СЭС.

В результате анализа международного опыта применения виртуальных электростанций [6–10] можно выделить несколько видов структуризации бизнес-моделей виртуальной электростанции. Так, данные бизнес-модели делят на коммерческие и технологические. Также бизнес-модели различают на:

- модели со стороны спроса (demand response-based);
- модели со стороны предложения (supply side-based);
- комбинированные модели (mixed asset).

Компания Next kraftwerke имеет свою классификацию бизнес-моделей виртуальных электростанций (табл. 1). Также существует классификация бизнес-моделей виртуальной электростанции с точки зрения влияния на рынок. Так, виртуальная электростанция может быть «ценоприниматель» (price taker) или «ценоустановитель» (price maker) [11].

Выбор оптимальной модели виртуальной электростанции зависит от следующих факторов:

1. Структура рынка (наличие рынка мощности, возможный размер ценовой заявки, развитость рынка системных услуг и т.д.).
2. Бизнес-драйверы (цель создание виртуальной электростанции, предполагаемый уровень напряжения и т.д.).
3. Технологии (объём ВИЭ в энергобалансе, уровень электрификации, уровень ИТ-технологий).
4. Регуляторные ограничения (уровень либерализации рынка, система государственной/частной поддержки возобновляемой энергетики, структура механизма поддержки управления спросом).



В российской электроэнергетике выделяют три вида территорий с точки зрения электроснабжения и ценообразования: ценовые зоны, неценовые зоны, изолированные территории.

Так как выбор оптимальной бизнес-модели виртуальной электростанции в значительной степени зависит от принципа ценообразования, пропускной способности сетей и т.д., целесообразность имплементации виртуальной электростанции нужно оценивать для каждого вида территорий.

Так, для изолированных территорий, которые не подключены к ЕЭС и на которых отсутствует рыночное ценообразование, ключевыми аспектами являются объём объектов распределённой генерации, развитость технологий «умных сетей»

Модели ВЭ компании Next kraftwerke

табл. 1

№	Модель	Место использования
1	ВЭ с управлением спроса	Европа, Северная Америка, Австралия
2	ВЭ с объединением просьюмеров и потребителей	Европа, Северная Америка, Австралия
3	ВЭ с прогнозированием, торговлей и регулированием производства объектов ВИЭ	Европа
4	ВЭ с оптимизацией работы элементов распределённой генерации	Европа, Северная Америка, Австралия

Недостатки и преимущества имплементации виртуальной электростанции в России табл. 2

Зоны	Преимущества	Недостатки
Ценовые	Наличие большого потенциала у технологии управления спросом, потенциальная возможность интеграции микрогенерации в оптовый рынок, возможность предоставления системных услуг	Низкая волатильность «рынка на сутки вперёд» (PCB), бедность распределительных сетей, малый объём использования ВИЭ в энергобалансе, отсутствие физических прямых договоров
Неценовые	–	Отсутствие экономических стимулов у объектов потребления, малый объём ВИЭ
Изолированные	Наличие большого потенциала у технологий Smart Grid	Низкая плотность населения, малый объём ВИЭ

(Smart Grid) и т.д. А для ценовых зон оптового рынка ключевыми факторами являются законодательство в области управления спросом, волатильность спотовых рынков и другие. В табл. 2 представлены основные недостатки и пре-

Изолированные территории наиболее целесообразно рассматривать как площадку для интеграции виртуальной электростанции на базе технологий «умных» сетей, например, первым пилотным проектом виртуальной электростанции в Российской Федерации является проект на острове Русский [12].

1. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика — основа устойчивого развития [Электр. текст]. Режим доступа: energosovet.ru. Дата обращения: 08.05.2021.
2. Муратов В.П., Мартиросов С.Н. Экономическая оценка возобновляемой энергетики для автономного электроснабжения // Возобновляемая энергия, 1997. №1. С. 52–53.
3. Зарубежная электроэнергетика [Электр. текст]. НП «Совет рынка». Режим доступа: pr-sr.ru. Дата обращения: 08.05.2021.
4. Behi B., Baniyadi A., Aferi A., Gorji Ar., Jennings Ph., Pivrikas A. Cost-benefit analysis of a virtual power plant including solar PV, flow battery, heat pump, and demand management: A Western Australian case study. Energies. 2020. Vol. 13. Issue 10.
5. Компания Next Kraftwerke [Электр. текст]. Режим доступа: next-kraftwerke.com. Дата обращения: 08.05.2021.
6. Wang Y.-W., Lin X., Xiao J.-W. Residential virtual power plant with photovoltaic output forecasting and demand response. Asian Journal of Control. 2019. Vol. 21. Issue 4.
7. Zhao Z., Luo J., Tian S., Gao Y., Yang W., Yang Y. Optimal operation modes of virtual power plants based on typical scenarios considering output evaluation criteria. Energies. 2018. Vol. 11. Issue 10.
8. Wang Q., Zhang C., Ding Y., Xydis G., Wang J., Østergaard J. Review of real-time electricity markets for integrating distributed energy resources and demand response. Applied Energy. 2015. Vol. 138.
9. Bakari El K., Kling W.L. Integration of distributed energy resources with virtual power plants technical, regulatory and socio-economic considerations. International Journal of Energy and Power. 2014. Vol. 3. Issue 3.
10. Компания kiwipower [Электр. текст]. Режим доступа: kiwipowered.com. Дата обращения: 08.05.2021.
11. Сеть электроснабжения острова Русский как экспериментальная площадка для отработки технологий Virtual Power Plant, MicroGrid и MultiAgent [Электр. текст]. Портал «Энергопрорыв», проект «Гридология». Режим доступа: gridology.ru. Дата обращения: 08.05.2021.
12. Baringo L., Rahimiyan M. Virtual power plants and electricity markets: Decision making under uncertainty. 1st edition. Springer. 2020. 393 p.

References — see page 96.

Virtual power plants and the feasibility of their use in Russia. Pp. 93–95.

Vasily A. Zubakin, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department (basic) of Renewable Energy Sources; **Alexander I. Velichko**, undergraduate student, [Gubkin University of Oil and Gas Industry](#) (Moscow city)

1. P.P. Bezrukih. *Vozobnovljaemaja jenergetika — osnova ustojchivogo razvitiya* [Renewable energy is the basis for sustainable development]. Web-source: energosovet.ru. Access data: May 8, 2021. [In Russian]
2. V.P. Murugov, S.N. Martirosov. *Jekonomicheskaja ocenka vozobnovljaemoj jenergetiki dlja avtonomnogo jelektrosnabzhenija* [Economic assessment of renewable energy for autonomous power supply]. *Vozobnovljaemaja jenergiya* ["Renewable energy" Magazine]. 1997. No. 1. Pp. 52–53. [In Russian]
3. *Zarubezhnaja jelektroenergetika* [Foreign electric power industry]. NP "Sovet rynka" [Association "Nonprofit Partnership Council for Organizing Efficient System of Trading at Wholesale and Retail Electricity and Capacity Market" (Association "NP Market Council")]. Web-source: np-sr.ru. Access data: May 8, 2021. [In Russian]
4. B. Behi, Al. Baniasadi, Al. Aferi, Ar. Gorjy, Ph. Jennings, Al. Pivrikas. Cost-benefit analysis of a virtual power plant including solar PV, flow battery, heat pump, and demand management: A Western Australian case study. *Energies*. 2020. Vol. 13. Issue 10.
5. Next Kraftwerke. Web-source: next-kraftwerke.com. Access data: May 8, 2021.
6. Y.-W. Wang, X. Lin, J.-W. Xiao. Residential virtual power plant with photovoltaic output forecasting and demand response. *Asian Journal of Control*. 2019. Vol. 21. Issue 4.
7. Z. Zhao, J. Luo, S. Tian, Y. Gao, W. Yang, Y. Yang. Optimal operation modes of virtual power plants based on typical scenarios considering output evaluation criteria. *Energies*. 2018. Vol. 11. Issue 10.
8. Q. Wang, C. Zhang, Y. Ding, G. Xydis, J. Wang, J. Østergaard. Review of real-time electricity markets for integrating distributed energy resources and demand response. *Applied Energy*. 2015. Vol. 138.
9. K. El Bakari, W.L. Kling. Integration of distributed energy resources with virtual power plants technical, regulatory and socio-economic considerations. *International Journal of Energy and Power*. 2014. Vol. 3. Issue 3.
10. kiwipower. Web-source: kiwipowered.com. Access data: May 8, 2021.
11. *Set' jelektrosnabzhenija ostrova Russkij kak jeksperimental'naja ploshhadka dlja otrabotki tehnologii Virtual Power Plant, MicroGrid i MultiAgent* [The power supply network of the Russkiy Island as an experimental platform for testing Virtual Power Plant, MicroGrid and MultiAgent technologies]. "An energy breakthrough" ("Jenergoproryv") web-portal. The "Gridologia" Project. Web-source: gridology.ru. Access data: May 8, 2021. [In Russian]
12. L. Baringo, M. Rahimiyan. *Virtual power plants and electricity markets: Decision making under uncertainty*. 1st edition. Springer. 2020. 393 p.