

УДК 621.311

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/12>

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

©*Рзаева С. Я.*, Нахчыванский государственный университет,
г. Нахчыван, Азербайджан, sevincrzayeva1969@gmail.com

VIRTUAL POWER PLANTS

©*Rzayeva S.*, Nakhchivan State University,
Nakhchivan, Azerbaijan, sevincrzayeva1969@gmail.com

Аннотация. Представлена информация о виртуальных электростанциях. Станции представляют собой децентрализованную сеть источников энергии, объединенных для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей энергии. Рассматриваются три основные формы этих источников. Эти системы играют важную роль, особенно в интеграции возобновляемых источников энергии (солнца, ветра и т. д.) и в обеспечении стабильности энергосистемы. Основной целью виртуальной электростанции (ВЭС) является объединение различных источников энергии в единую взаимосвязанную систему. К таким источникам могут относиться солнечные и ветровые электростанции, аккумуляторные батареи и другие распределенные энергетические ресурсы. Объединяя несколько источников энергии, VES может предоставлять услуги, которые предоставляют традиционные электростанции, торговать на тех же энергетических рынках и в то же время обеспечивать интеграцию большего количества возобновляемых источников энергии. В виртуальную электростанцию (ВЭС) можно включить множество различных энергетических систем. Виртуальная электростанция (VES) использует энергетические устройства, расположенные в разных местах, по-разному, применяя технологию IoT (Интернет вещей) и помогая поддерживать баланс между спросом и предложением, пытаясь сопоставить предложение со спросом. Системы накопления энергии (аккумуляторные батареи) в составе ВЭС, использующие местную солнечную энергию, могут помочь сократить объемы потребления электроэнергии из сети. Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения повышают эффективность VES. Рассматриваются преимущества виртуальных электростанций, отмечается, что такие станции помогают создать баланс между производством и потреблением за счет объединения различных источников энергии. Эффективное управление виртуальными электростанциями является важным процессом, осуществляемым с целью модернизации и оптимизации энергетических сетей.

Abstract. Provides information on virtual power plants. The plants are a decentralized network of energy sources combined to provide reliable power supply to energy consumers. Three main forms of these sources are considered. These systems play an important role, especially in the integration of renewable energy sources (solar, wind, etc.) and in ensuring the stability of the power system. The main goal of a virtual power plant (wind farm) is to combine various energy sources into a single interconnected system. Such sources may include solar and wind power plants, batteries and other distributed energy resources. By combining multiple energy sources, VES can provide the services that traditional power plants provide, trade in the same energy markets, and at the same time enable the integration of more renewables. Many different energy systems can be

incorporated into a virtual power plant (WPP). A virtual power plant (VES) uses energy devices located in different locations in different ways, applying IoT (Internet of Things) technology and helping to maintain a balance between supply and demand by trying to match supply with demand. Energy storage systems (batteries) in wind farms using local solar energy can help reduce electricity consumption from the grid. Artificial intelligence and machine learning technologies increase the efficiency of VES. The advantages of virtual power plants are considered, it is noted that such stations help to create a balance between production and consumption by combining various energy sources. Efficient management of virtual power plants is an important process to modernize and optimize energy networks.

Ключевые слова: производство энергии, системы хранения энергии, возобновляемые источники энергии, изменение климата, традиционные электростанции.

Keywords: energy production, energy storage systems, renewable energy, climate change, conventional power plants.

Электричество является одним из краеугольных камней современного общества, а его производство, передача и распределение играют основополагающую роль в различных сферах жизни. Однако в последнее время регулирование и оптимизация работы традиционных электростанций стали серьезной проблемой. В ответ на эти вызовы появились новые технологии, такие как виртуальные электростанции (ВЭС). Виртуальные электростанции основаны на интеграции различных объектов генерации энергии, включая возобновляемые источники энергии, системы хранения и потребителей. Вместе они обеспечивают более эффективное и гибкое управление энергопотреблением, а также помогают поддерживать стабильность сети. ВЭС — более быстрая и динамичная система, чем традиционные электростанции. Эти системы позволяют увеличить локальное производство энергии, что, в свою очередь, снижает потери энергии и помогает более эффективно бороться с колебаниями цен на энергетических рынках. В будущем, с более широким распространением и развитием этой технологии, станет возможным создание более устойчивых и экологически чистых энергетических систем (<https://www.enelx.com>).

Виртуальные электростанции — это системы, которые более эффективно управляют производством и потреблением электроэнергии. Эти системы объединяют различные источники выработки электроэнергии, такие как солнечные панели, ветряные турбины и энергосберегающие устройства, и управляют ими как единым блоком выработки энергии. Интеграция виртуальных электростанций в сеть позволяет регулировать производство энергии в соответствии со спросом, снижать затраты на электроэнергию и повышать надежность системы. Такой подход делает энергетические системы более гибкими и устойчивыми за счет широкого использования возобновляемых источников энергии. Такие системы также позволяют более эффективно участвовать в энергетическом рынке, поскольку оптимизируют производство энергии в соответствии со спросом и предложением [3].

Таким образом, виртуальные электростанции — это современные системы, позволяющие более эффективно управлять производством и потреблением электроэнергии. Эти системы пытаются сбалансировать производство энергии путем объединения различных источников энергии. Например, возобновляемые источники, такие как солнечная энергия и энергия ветра, помогают производить больше энергии в периоды повышенного потребления. В то же время эти системы можно комбинировать с решениями по хранению энергии для лучшего удовлетворения энергетических потребностей потребителей.

Виртуальные электростанции также более гибко управляют производством энергии, быстрее реагируя на рыночные условия. Развитие таких систем, повышение эффективности производства и потребления энергии также может оказать положительное влияние на экономику и окружающую среду. Виртуальная электростанция — это сеть децентрализованных источников энергии, объединенных для обеспечения надежного электроснабжения потребителей энергии. Эти источники энергии бывают трех основных видов. Первая группа — это средние по масштабу объекты производства энергии, включающие в себя источники энергии среднего размера, такие как ветряные электростанции и солнечные электростанции. Вторая группа — гибкие потребители энергии, к которым относятся пользователи, способные быстро изменять свое потребление энергии в соответствии с меняющимся спросом и предложением в энергосистеме. Третья — системы накопления энергии. Это технологии хранения энергии, которые способны быстро реагировать на колебания баланса в энергетической системе.

Эти системы играют важную роль, особенно в интеграции возобновляемых источников энергии (солнца, ветра и т. д.) и в обеспечении стабильности энергосистемы. В целом, основная цель виртуальной электростанции — объединить различные источники энергии в единую взаимосвязанную систему. К таким источникам могут относиться солнечные и ветровые электростанции, аккумуляторные батареи и другие распределенные энергетические ресурсы. Хотя эти источники расположены в разных местах, эти энергетические системы связаны между собой через централизованную цифровую платформу. Эта платформа действует как мозг ВЭС, выступая в качестве единой системы управления для мониторинга, координации и управления всеми энергетическими системами. В результате электроэнергия распределяется наиболее оптимальным и эффективным образом, обеспечивая потребителей стабильной и надежной энергией в течение определенного периода времени [2].

Кроме того, энергия, полученная из этой сети энергосистемы, может быть продана на энергетических рынках. Продажа энергии на этих рынках позволяет использовать ее для стабилизации электросети во время колебаний, что приводит к повышению надежности энергосистемы. Это особенно важно в условиях роста использования возобновляемых источников энергии. По мере увеличения использования возобновляемых источников энергии изменения, которые они создают в производстве энергии, можно компенсировать с помощью ВЭС. В одном отношении виртуальные электростанции имеют большое значение для интеграции возобновляемых источников энергии в существующие энергетические системы. По мере изменения энергетических рынков меняются и электростанции. Хотя традиционные электростанции долгое время занимали доминирующее положение, теперь их заменили возобновляемые источники энергии. В результате энергетического перехода доля возобновляемых источников энергии стремительно увеличивается. По прогнозам, к 2026 г 95% прироста мировых энергетических мощностей будет приходиться на возобновляемые источники энергии. По этой причине ВЭС играют важную роль в развитии энергетических систем. В прошлом традиционные электростанции вырабатывали энергию путем сжигания ископаемого топлива и поддерживали баланс электросети. Производство энергии осуществлялось только в одном фиксированном месте. По мере роста спроса на энергию сжигалось больше ископаемого топлива. Обычно такие электростанции работают на 80% мощности, а 20% мощности остаются в резерве для покрытия колебаний спроса. Виртуальные электростанции выполняют ту же функцию децентрализованно. То есть, вместо единого операционного центра, ВЭС обеспечивают стабильность сети, получая энергию из нескольких разных мест (Рисунок). Объединяя несколько источников энергии, ВЭС может предоставлять услуги, предоставляемые традиционными электростанциями,

торговать на тех же энергетических рынках и в то же время обеспечивать интеграцию большего количества возобновляемых источников энергии. В то время как традиционные электростанции работают только на 80% своей мощности, ВЭС могут быстро генерировать энергию из различных источников, когда спрос на нее возрастает.

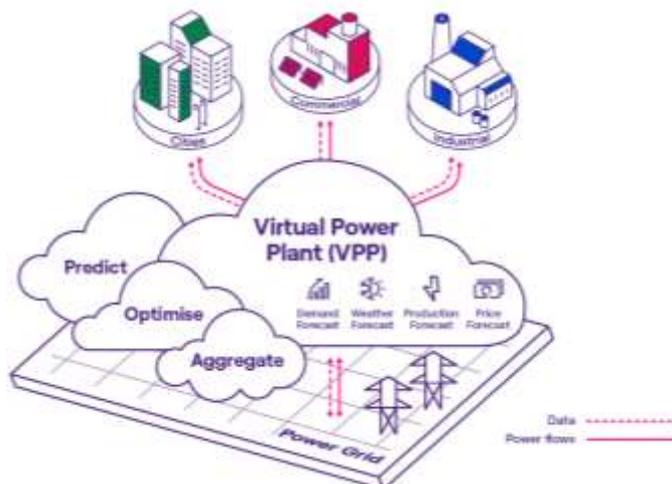


Рисунок. Схема виртуальной электростанции

Как показано на Рисунке, ВЭС обеспечивают экономию энергии за счет прогнозирования, оптимизации и агрегирования выработки электроэнергии. Как известно, традиционные электростанции работают в одном районе и удовлетворяют потребности сети в электроэнергии, в то время как по мере увеличения спроса централизованные электростанции могут обеспечить потребителей большим объемом энергии. С другой стороны, виртуальная электростанция использует энергетические устройства, расположенные в разных местах, по-разному, применяя технологию IoT (Интернет вещей) и помогая согласовывать предложение и спрос, т. е. помогая поддерживать баланс между спросом и предложением. В виртуальную электростанцию можно включить множество различных систем хранения энергии. Системы накопления энергии позволяют потребителям использовать накопленную энергию в периоды низкого ее производства. Системы накопления энергии (аккумуляторные батареи) в составе ВЭС, использующие местную солнечную энергию, могут помочь сократить объемы потребления электроэнергии из сети. На этом этапе излишки произведенной солнечной энергии можно экспортировать обратно в сеть. Системы накопления энергии считаются новым инструментом, позволяющим удовлетворить изменчивый спрос на энергию сегодня. Системы накопления энергии, предназначенные для интеграции в ВЭС, разнообразны. Гидравлическое насосное хранилище энергии (HPES), хранилище энергии сжатого воздуха (CAES), маховиковое хранилище энергии (FWES), сверхпроводящее магнитное хранилище энергии (SMES), система хранения энергии на основе аккумуляторных батарей (BESS), суперконденсаторное хранилище энергии (SCES) и т. д. [4].

Поэтому виртуальная электростанция должна быть интегрирована в энергосистему и ее подключение к сети должно быть обеспечено наиболее оптимальным способом. В это время обмен энергией между различными частями сети будет осуществляться удобно и эффективно. Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения повышают эффективность ВЭС. Эти технологии ускоряют и повышают точность процесса принятия решений, прогнозируя производство и потребление энергии в сети [7].

Важным требованием к ВЭС являются коммуникационные технологии и инфраструктура, которые включают в себя различные коммуникации, медиатехнологии и

системы управления энергопотреблением. Например, создав центр диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) и центр управления распределением (DCC), можно осуществлять мониторинг, контроль и анализ по всей цепочке поставок в энергетической системе. Системы ВЭС обеспечивают стабильность системы, принимая дополнительные меры по защите безопасности сети и снижая влияние любых аварий или отключений электроэнергии в сети. Виртуальные электростанции оптимизируют поток энергии в соответствии со спросом, более динамично регулируя производство и потребление энергии. Это также помогает снизить затраты на электроэнергию и повысить надежность системы [3]. Более широкое использование возобновляемых источников энергии является одним из главных преимуществ этих систем. Таким образом, источники солнечной и ветровой энергии распределяются более эффективно между различными производителями и потребителями энергии. В результате энергетические системы становятся более устойчивыми, а также играют важную роль в борьбе с изменением климата. Это способствует дальнейшему развитию производства энергии в будущем и формированию устойчивой энергетической среды с меньшим углеродным следом. Эти системы анализируют спрос и предложение в режиме реального времени и соответствующим образом корректируют производство энергии. В результате производители энергии могут более гибко реагировать на рыночные цены и потребности потребителей. Это помогает более эффективно использовать энергию и предоставлять потребителям более выгодные цены на энергоносители. В то же время виртуальные электростанции также способствуют созданию более прозрачной и справедливой рыночной среды между независимыми производителями и потребителями. Таким образом, эти системы создают условия для более динамичного и стабильного рынка энергии [1].

Преимущества виртуальных электростанций перечислены ниже. Сочетание различных источников энергии помогает создать баланс между производством и потреблением. Эффективное управление виртуальными электростанциями является важным процессом, проводимым с целью модернизации и оптимизации энергетических сетей. ВЭС позволяет управлять различными источниками энергии малого и среднего масштаба (возобновляемые источники энергии, распределенные энергетические системы и т. д.) как единой системой в сети. Такой тип управления обеспечивает более быстрое, стабильное и эффективное распределение энергии. ВЭС предлагают потребителям более точный выбор цен на энергоносители. Например, осуществляя прямые закупки энергии между производителями и потребителями, они делают цены на энергоносители более конкурентоспособными на рынке и предлагают потребителям доступные цены [5].

ВЭС сокращают перебои в поставках электроэнергии в сеть и создают более устойчивую систему с локальным производством энергии, что обеспечивает большую безопасность потребителей энергии во время стихийных бедствий или других проблем с поставками. Современные технологии автоматизации и аналитики, используемые при управлении операциями ВЭС, позволяют повысить эффективность работы этих систем. Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения анализируют производство энергии в режиме реального времени, позволяя принимать более точные решения. Эти технологии помогают оптимизировать работу сети и сократить расходы. ВЭС предоставляют сетевым операторам новые услуги и источники дохода. Например, ВЭС могут помочь операторам сетей рекуперировать энергию за счет балансировки нагрузки на сеть. Это обеспечивает лучшее управление и дополнительные возможности получения дохода для сетевых операторов [6].

ВЭС объединяют различные возобновляемые источники энергии (солнечную, ветровую, гидроэнергию и т. д.) для обеспечения большего производства экологически чистой энергии в сети. Это снижает зависимость от источников ископаемого топлива и значительно снижает выбросы углерода. Более широкое использование возобновляемых источников энергии является одним из ключевых шагов по предотвращению глобального потепления и изменения климата. Виртуальные электростанции играют несколько важных ролей в борьбе с изменением климата: ВЭС позволяют более эффективно использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия. Это снижает зависимость от ископаемого топлива и минимизирует выбросы углерода [2].

Виртуальные станции оптимизируют баланс между производством и спросом, отслеживая потребление энергии в режиме реального времени. Это позволяет балансировать нагрузку в сети и накапливать энергию в периоды ее высокого производства, а также повторно использовать ее в периоды ее низкого производства. Эффективное управление виртуальными электростанциями является важным фактором оптимизации производства и распределения энергии, более широкого применения возобновляемых источников энергии и обеспечения безопасности сети. Эту технологию можно было бы использовать более широко в будущем, чтобы сделать энергетические системы более устойчивыми и эффективными. Экономическая эффективность виртуальных электростанций имеет множество преимуществ как технологических, так и финансовых. Эта система обеспечивает потребителям более низкие затраты на инфраструктуру, более гибкое распределение энергии, эффективное использование возобновляемых источников энергии и более устойчивое энергоснабжение. Долгосрочные экономические выгоды достигаются за счет защиты окружающей среды, сокращения потерь энергии и предоставления энергии по более доступным ценам. Виртуальные электростанции создадут новые экономические доходы в энергетическом секторе за счет объединения современных технологий управления энергией и сетевых технологий. ВЭС соединяют различных малых и средних производителей энергии (возобновляемые источники энергии, системы хранения энергии и другие источники), обеспечивая более эффективное управление и балансировку по всей сети. Все это повышает надежность сети, позволяет реже допускать аварии и перебои в энергосистеме. Виртуальные электростанции играют важнейшую роль в борьбе с изменением климата. Они поддерживают широкое использование возобновляемых источников энергии, сокращают выбросы углерода, повышают устойчивость сетей и предоставляют более эффективные системы управления энергоснабжением для борьбы с изменением климата. ВЭС также создают более устойчивую энергетическую систему к таким событиям, как стихийные бедствия и изменения спроса на энергию, вызванные изменением климата. Эта система не только обеспечивает долгосрочную устойчивость энергетики, но и помогает защищать окружающую среду и поддерживать экономическое развитие.

Список литературы:

1. Pudjianto D., Ramsay C., Strbac G. Virtual power plant and system integration of distributed energy resources // IET Renewable power generation. 2007. V. 1. №1. P. 10-16. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg:20060023>
2. Pudjianto D., Ramsay C., Strbac G. Virtual power plant and system integration of distributed energy resources // IET Renewable Power Generation. 2007. V. 1. №1. P. 10. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg:20060023>
3. Gao H., Jin T., Feng C., Li C., Chen Q., Kang C. Review of virtual power plant operations: Resource coordination and multidimensional interaction // Applied energy. 2024. V. 357. P. 122284. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122284>

4. Zhou Y., Wu S., Deng Y., Jiang M., Fu Y. Enhancing virtual power plant efficiency: three-stage optimization with energy storage integration // *Energy Informatics*. 2025. V. 8. №1. P. 23. <https://doi.org/10.1186/s42162-025-00477-w>

5. Roozbehani M. M., Heydarian-Forushani E., Hasanzadeh S., Elghali S. B. Virtual power plant operational strategies: Models, markets, optimization, challenges, and opportunities // *Sustainability*. 2022. V. 14. №19. P. 12486. <https://doi.org/10.3390/su141912486>

6. Mashhour E., Moghaddas-Tafreshi S. M. The opportunities for future virtual power plant in the power market, a view point // 2009 International Conference on Clean Electrical Power. IEEE, 2009. P. 448-452. <https://doi.org/10.1109/ICCEP.2009.5212014>

7. Caldon R., Patria A. R., Turri R. Optimal control of a distribution system with a virtual power plant // *Bulk power system dynamics and control*, Cortina. d'Ampezzo, Italy. 2004. P. 18.

References:

1. Pudjianto, D., Ramsay, C., & Strbac, G. (2007). Virtual power plant and system integration of distributed energy resources. *IET Renewable power generation*, 1(1), 10-16. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg:20060023>

2. Pudjianto, D., Ramsay, C., & Strbac, G. (2007). Virtual power plant and system integration of distributed energy resources. *IET Renewable Power Generation*, 1(1), 10. doi:10.1049/iet-rpg:20060023

3. Gao, H., Jin, T., Feng, C., Li, C., Chen, Q., & Kang, C. (2024). Review of virtual power plant operations: Resource coordination and multidimensional interaction. *Applied energy*, 357, 122284. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122284>

4. Zhou, Y., Wu, S., Deng, Y., Jiang, M., & Fu, Y. (2025). Enhancing virtual power plant efficiency: three-stage optimization with energy storage integration. *Energy Informatics*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s42162-025-00477-w>

5. Roozbehani, M. M., Heydarian-Forushani, E., Hasanzadeh, S., & Elghali, S. B. (2022). Virtual power plant operational strategies: Models, markets, optimization, challenges, and opportunities. *Sustainability*, 14(19), 12486. <https://doi.org/10.3390/su141912486>

6. Mashhour, E., & Moghaddas-Tafreshi, S. M. (2009, June). The opportunities for future virtual power plant in the power market, a view point. In *2009 International Conference on Clean Electrical Power* (pp. 448-452). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCEP.2009.5212014>

7. Caldon, R., Patria, A. R., & Turri, R. (2004). Optimal control of a distribution system with a virtual power plant. *Bulk power system dynamics and control*, Cortina. d'Ampezzo, Italy, 18.

Работа поступила
в редакцию 07.05.2025 г.

Принята к публикации
14.05.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Рзаева С. Я. Виртуальные электростанции // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №7. С. 103-109. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/12>

Cite as (APA):

Rzayeva, S. (2025). Virtual Power Plants. *Bulletin of Science and Practice*, 11(7), 103-109. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/12>