

Научная статья  
УДК 620.9  
EDN CYJXMP

**Влияние возобновляемых источников энергии с нестационарным режимом выдачи мощности на качество электроэнергии в распределительных электрических сетях**

**Наталья Викторовна Савина**<sup>1</sup>, доктор технических наук, профессор  
**Максим Алексеевич Прилипенко**<sup>2</sup>, студент магистратуры, инженер лаборатории качества электрической энергии

<sup>1,2</sup> Амурский государственный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>2</sup> АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»

Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup> [nataly-savina@mail.ru](mailto:nataly-savina@mail.ru), <sup>2</sup> [Lab1@drsk.ru](mailto:Lab1@drsk.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены основные типы возобновляемых источников энергии с нестационарным режимом выдачи мощности, выявлены особенности их функционирования и механизмы воздействия на параметры качества электроэнергии. Предложены пути решения проблемы обеспечения требуемого уровня качества электроэнергии при совместной работе возобновляемых источников энергии и распределительной сети.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечная электростанция, ветряная электростанция, качество электроэнергии, распределительные сети

**Для цитирования:** Савина Н. В., Прилипенко М. А. Влияние возобновляемых источников энергии с нестационарным режимом выдачи мощности на качество электроэнергии в распределительных электрических сетях // Актуальные вопросы энергетики в АПК : материалы всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Благовещенск, 19 декабря 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 66–75.

Original article

**The impact of renewable energy sources with a non-stationary power supply mode on the quality of electricity in electric distribution networks**

**Natalya V. Savina**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor  
**Maxim A. Prilipenko**<sup>2</sup>, Master's Degree Student, Electrical Energy Quality Laboratory Engineer

<sup>1,2</sup> Amur State University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>2</sup> JSC "Far Eastern Distribution Network Company"

Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1</sup> [nataly-savina@mail.ru](mailto:nataly-savina@mail.ru), <sup>2</sup> [Lab1@drsk.ru](mailto:Lab1@drsk.ru)

**Abstract.** The main types of renewable energy sources with a non-stationary power output mode are considered, the features of their functioning and the mechanisms of influence on the parameters of electricity quality are revealed. The ways of solving the problem of ensuring the required level of electricity quality in the joint operation of renewable energy sources and the distribution network are proposed.

**Keywords:** renewable energy sources, solar power plant, wind power plant, electricity quality, distribution networks

**For citation:** Savina N. V., Prilipenko M. A. The impact of renewable energy sources with a non-stationary power supply mode on the quality of electricity in electric distribution networks. Proceedings from Current issues of energy in the agro-industrial complex: Vserossiiskaya (natsional'naya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 66–75), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становятся все более эффективными в мире благодаря своей экологичности и доступности. За последние двадцать лет выработка электроэнергии на основе ВИЭ увеличилась более чем в 10 раз и уже обеспечивает более четверти (26 %) мирового производства электроэнергии. При этом лидирующие позиции занимают солнечная и ветровая энергия.

Согласно последним данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, в 2023 г. мощности электростанций, работающих на основе ВИЭ, выросли в мире на 473 гигаватт (ГВт). Это рекордный прирост за всю историю. Общая глобальная мощность ВИЭ достигла 3 870 ГВт. Мировая солнечная энергетика выросла на 346 ГВт, а ее установленная мощность достигла 1 419 ГВт. Рост ветровой энергетике составил 116 ГВт, ее установленная мощность в конце 2023 г. превысила 1 000 ГВт (1 017 ГВт) [1, 2].

До 2050 г. прогнозируется увеличение потребления по отношению к росту генерации электроэнергии, в связи с этим необходимо решать вопросы по поиску новых ее источников.

В качестве стратегических направлений развития энергетики России принято увеличение доли возобновляемых источников энергии в общем объеме генерации: к 2030 г. увеличение на 6–8 %, до 2035 г. – на 15 % [3].

ВИЭ имеют значительные преимущества, включая экологическую безопасность, возможность масштабирования мощностей и автономность в эксплуатации. Однако у них есть ряд недостатков: высокая стоимость производства; необходимость частого технического обслуживания; потребность в больших площадях и относительно низкий коэффициент полезного действия (в лучшем случае до 25 %); отсутствие управления уровнем выходного напряжения, частоты, реактивной мощности. Выработка мощности такими источниками нестабильна в связи с изменчивостью погодных условий. ВИЭ влияют на показатели качества электроэнергии в электрической сети, такие как несинусоидальность напряжения, колебания и провалы напряжения.

Изучение влияния ВИЭ на качество электроэнергии является актуальной задачей, решение которой позволит обеспечить эффективное и надежное функционирование распределительных сетей в условиях роста доли ВИЭ в энергобалансе страны.

**Цель работы** заключается в исследовании влияния возобновляемых источников энергии с нестационарным режимом выдачи мощности на качество электроэнергии в распределительных сетях и поиск путей обеспечения нормативного уровня качества электроэнергии. Для реализации заявленной цели решены следующие задачи:

- 1) анализ архитектуры и принципов работы ВИЭ с нестационарным режимом выдачи мощности;
- 2) оценка влияния ВИЭ с нестационарным режимом выдачи мощности на качество электроэнергии при их включении в распределительную сеть;
- 3) разработка рекомендаций для минимизации негативного влияния возобновляемых источников энергии на качество электроэнергии.

К характерным видам возобновляемых источников энергии с нерегулируемой выдачей мощности в сеть относятся солнечные (СЭС) и ветряные (ВЭС) электростанции.

**Принцип работы СЭС** (рис. 1) заключается в преобразовании солнечной энергии в электрическую с помощью фотоэлектрического эффекта. Солнечная электростанция представляет собой систему, состоящую из нескольких ключевых компонентов, каждый из которых играет важную роль в преобразовании солнечной энергии в электрическую. Основным элементом являются солнечные панели (с КПД от 12 до 25 %), которые могут быть монокристаллическими, поликристаллическими или тонкопленочными [4].

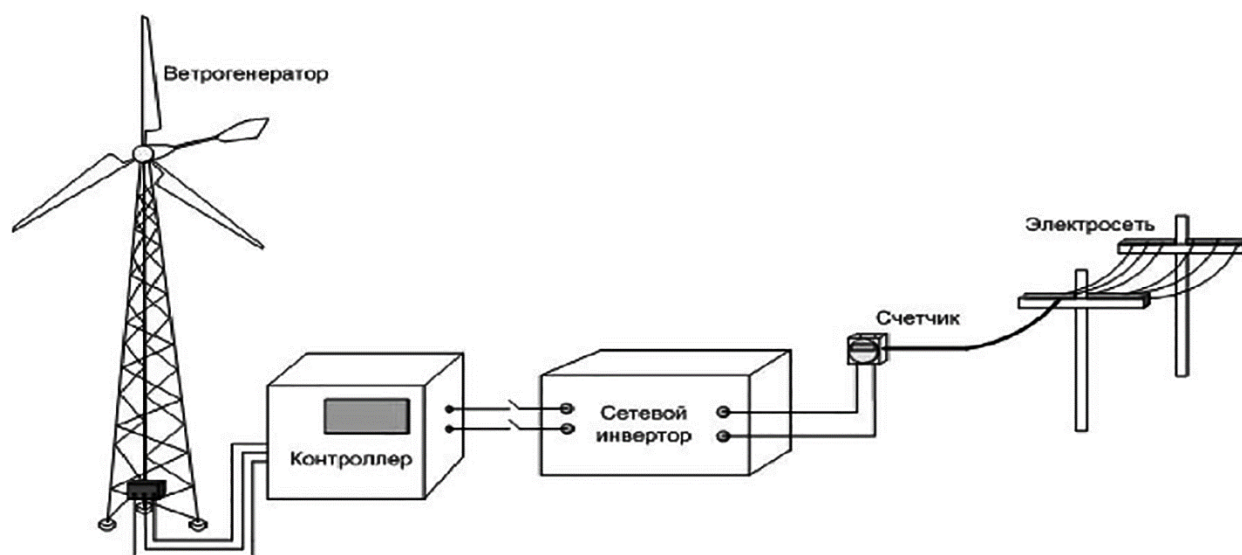


**Рисунок 1 – Структурная схема солнечной электростанции**

Они вырабатывают постоянный ток. Для преобразования постоянного тока (DC) в переменный (AC) используют инверторы, которые, как известно, приводят к искажению синусоидальности кривой напряжения. В состав СЭС входит силовой трансформатор, который обеспечивает уровень выходного напряжения инвертора, необходимый для подключения к распределительной сети, обеспечивая эффективную передачу электроэнергии.

Система управления СЭС включает программное обеспечение для мониторинга и оптимизации работы электростанции, а интеллектуальные счетчики фиксируют выработанную и отпущенную с шин СЭС электроэнергию.

**Ветряная электростанция (ВЭС)** (рис. 2) представляет собой сложную инженерную систему, функционирующую на основе преобразования кинетической энергии ветра в электрическую. В центре этой системы находится ветрогенератор, который состоит из ротора с лопастями, способными захватывать поток воздуха. Движение лопастей передается на вал, связанный с электрическим генератором. Этот генератор, в зависимости от своей конструкции, может быть асинхронным или синхронным. Его основная задача заключается в преобразовании механической энергии вращения в электрическую [5]. Для эффективной работы ветрогенератора используется система контроля, которая обеспечивается контроллером. Он регулирует работу системы для оптимизации производства электроэнергии и защищает оборудование от перегрузок, отключая генератор в случае экстремальных условий (сильный ветер).



**Рисунок 2 – Схема ветряной электростанции**

Сетевой инвертор преобразует постоянный ток, вырабатываемый ветрогенератором, в переменный ток. Также он управляет потоком электроэнергии, предотвращая обратный ток, который может повредить оборудование [5].

Цифровой счетчик фиксирует количество отпущенной электроэнергии в сеть.

ВИЭ с нерегулируемым режимом выдачи мощности в электрическую сеть приводят к ухудшению качества электроэнергии в части несинусоидальности кривой напряжения и колебания напряжения. Необходимо оценить степень их воздействия на указанные параметры качества электроэнергии в соответствии с требованиями государственного стандарта [6].

Основными причинами несинусоидальности напряжения являются гармонические искажения и пульсация мощности. Гармонические искажения возникают из-за работы инверторов, генерирующих гармоники с частотами, кратными основной (50 Гц) [7, 8], а также работы нелинейной нагрузки – силовая электроника и индукционные двигатели.

Пульсация мощности, вызванная переменной выработкой электроэнергии, обуславливается изменением интенсивности факторов окружающей среды: скорости ветра, светового потока солнца.

Колебания напряжения в сети возникают в связи с неравномерностью выработки электроэнергии ВИЭ по причине природных условий [9].

Изменение соотношения генерация/потребление электроэнергии ВИЭ, включенными в электрическую сеть на параллельную работу, на различных временных масштабах, приводит к повышению (понижению) напряжения, что создает дополнительные сложности для операторов электрических сетей.

Несинусоидальность кривой напряжения и колебания напряжения могут иметь серьезные последствия для электроэнергетических систем и их оборудования. Одним из основных негативных эффектов является повреждение оборудования. Искажения формы волны напряжения приводят к перегреву трансформаторов и электродвигателей, что может вызвать повреждение изоляции. Перегрев, в свою очередь, ускоряет износ микроэлектроники, что существенно сокращает срок ее службы.

Колебания напряжения приводят к скрытым ошибкам, сбоям и отказам в

---

работе помехочувствительного оборудования – практически всех видов микропроцессорной техники, компьютеров, медицинских устройств, систем автоматизации технологических процессов и др. В случае превышения показателей качества электроэнергии, характеризующих колебания напряжения [6], устройства потребителей электроэнергии могут перегреваться или выходить из строя, что приводит к финансовым потерям и необходимости дорогостоящего ремонта или замены [10].

Так, провалы напряжения при производстве химического волокна вызывают остановку оборудования, на повторный запуск которого затрачивается от 15 минут (в случае отказа 10 % оборудования) до 24 часов (при отказе 100 % оборудования). Брак продукции составляет от 2,2 до 800 % от тоннажа одного технологического цикла. Время полного восстановления технологического процесса достигает 3 суток. Недоотпуск продукции может исчисляться в десятках миллионов рублей.

Заметное влияние оказывают колебания и провалы напряжения на асинхронные двигатели малой мощности. Это представляет опасность для текстильного, бумагоделательного и других производств, предъявляющих высокие требования к стабильности скорости вращения электроприводов.

Искажения напряжения приводят к увеличению реактивной мощности, что вызывает дополнительные потери электроэнергии и, как следствие, к увеличению стоимости электроэнергии. Оборудование может работать менее эффективно, что негативно сказывается на производственных процессах и общей производительности.

Экономические потери, вызванные несинусоидальностью напряжения, проявляются в увеличении затрат на обслуживание и ремонты оборудования, простои из-за выхода оборудования из строя. Для операторов электрических сетей колебания напряжения могут привести к снижению надежности, энергоэффективности системы электроснабжения и увеличению потерь энергии;

росту жалоб потребителей, влекущих за собой юридические и финансовые последствия. Отрицательное воздействие ВИЭ на качество электроэнергии создает серьезные проблемы как для потребителей, так и для электрических сетей, особенно когда доля ВИЭ в общем объеме генерирующих мощностей достигает значительных значений или они работают в изолированном или островном режимах.

Для России наиболее целесообразно использовать ВИЭ в технологически изолированных электроэнергетических системах, где проблема качества электрической энергии при включении ВИЭ в сеть проявляется наиболее остро. Необходимо решить ряд технических и организационных задач, которые требуют комплексного подхода и внедрения современных технологий, в том числе цифровых.

Первым шагом к повышению качества электрической энергии является **внедрение автоматизированных систем мониторинга**, таких как SCADA, что поможет собирать и анализировать данные о качестве электрической энергии в реальном времени, генерируя отчеты и предупреждения о превышении допустимых значений.

Для решения проблемы с колебанием напряжения необходимо **разработать интеллектуальные системы управления ВИЭ в реальном времени**, которые на основе прогноза генерируемой ими электроэнергии в соответствии с погодными условиями будут автоматически определять и реализовывать их оптимальный режим работы в составе электрической сети. Применение систем хранения энергии в совокупности с ВИЭ позволит сгладить колебания в генерации и потреблении электроэнергии, а также накапливать избыточную энергию в периоды высокой генерации.

Установка активных и пассивных фильтров для снижения уровня гармонических составляющих, вызванных работой инверторов, применение стати-



ческих компенсаторов (SVC) позволит не только решить проблему с качеством электроэнергии, но и повысить коэффициент мощности, а также снизить потери, связанные с реактивной мощностью.

**Заключение.** *Технологии интеллектуальных сетей играют ключевую роль в управлении современными энергосистемами. Внедрение систем автоматического управления распределением электроэнергии позволит интегрировать различные источники ВИЭ в сеть и оптимизировать их работу в зависимости от текущих условий. Таким образом, комплексный подход к решению вопросов качества электроэнергии в сетях с ВИЭ, основанный на современных интеллектуальных и цифровых технологиях, позволит обеспечить требуемое качество электрической энергии и надежность электроснабжения, устойчивость системы, а также будет способствовать развитию экологически чистой энергетики.*

#### **Список источников**

1. Стоимость производства электроэнергии из возобновляемых источников в 2022 г. Абу-Даби : IRENA, 2022.
2. Мировая ассоциация ветроэнергетики. Ветроэнергетика: мировая статистика. Брюссель : GWEC, 2022.
3. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. : распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (дата обращения: 02.12.2024).
4. Михайлов В. И. Солнечные электростанции: принципы работы и проблемы эксплуатации // Электрические системы и сети. 2022. Т. 9. № 2. С. 12–19.
5. Григорьев С. П. Ветряные электростанции: принципы работы и проблемы эксплуатации // Электрические системы и сети. 2022. № 1. С. 10–17.
6. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартинформ, 2014.
7. Горбунов А. В., Федоров И. Н. Возобновляемые источники энергии и их влияние на параметры качества электроэнергии // Энергетика и электротехника. 2021. № 3 (1). С. 23–30.
8. Монастырский А. В., Кузнецов А. И. Влияние возобновляемых источников энергии на качество электроэнергии // Энергетические технологии и ресурсы. 2020. № 4 (2). С. 45–52.

9. Лавров А. И., Сидоренко В. А. Влияние солнечных электростанций на качество электроэнергии в распределительных сетях // *Электроснабжение*. 2019. № 12. С. 34–39.

10. Лебедев В. И., Станкевич М. А. Влияние возобновляемых источников энергии на параметры качества электроэнергии в распределительных сетях // *Энергетика и экология*. 2020. № 3. С. 29–36.

### References

1. *The cost of generating electricity from renewable sources in 2022*, Abu-Dhabi, IRENA, 2022 (in Russ.).

2. *Global Wind Energy Association. Wind energy: world statistics*, Brussels, GWEC, 2022 (in Russ.).

3. Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation dated 09/06/2020 No. 1523-r. *Garant.ru* Retrieved from <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (Accessed 02 December 2024) (in Russ.).

4. Mikhailov V. I. Solar power plants: operating principles and operation problems. *Ehlektricheskie sistemy i seti*, 2022;9;2:12–19 (in Russ.).

5. Grigoriev S. P. Wind power plants: principles of operation and problems of operation. *Ehlektricheskie sistemy i seti*, 2022;1:10–17 (in Russ.).

6. Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Standards of quality of electric energy in general purpose power supply systems. (2013) *GOST 32144–2013*. *docs.cntd.ru* Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (Accessed 30 November 2024) (in Russ.).

7. Gorbunov A. V., Fedorov I. N. Renewable energy sources and their impact on the parameters of electric power quality]. *Energetika i elektrotehnika*, 2021;3(1):23–30 (in Russ.).

8. Monastyrskiy A. V., Kuznetsov A. I. Influence of renewable energy sources on the quality of electricity. *Energeticheskie tekhnologii i resursy*, 2020;4(2):45–52 (in Russ.).

9. Lavrov A. I., Sidorenko V. A. Influence of solar power plants on the quality of electricity in distribution networks. *Elektrosnabzhenie*, 2019;12:34–39 (in Russ.).

10. Lebedev V. I., Stankevich M. A. The impact of renewable energy sources on the parameters of electricity quality in distribution networks. *Energetika i ekologiya*, 2020;3:29–36 (in Russ.).

© Савина Н. В., Прилипенко М. А., 2025

Статья поступила в редакцию 16.12.2024; одобрена после рецензирования 24.12.2024; принята к публикации 30.01.2025.

The article was submitted 16.12.2024; approved after reviewing 24.12.2024; accepted for publication 30.01.2025.