

ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

UDC 620.9

Kashcheev K.O., Shiryayev A.D. Prospects for the use of hybrid energy systems based on renewable energy sources

Перспективность применения гибридных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии

Kashcheev Kirill Olegovich,

Student of the Department of Automated Electric Drive and Electrical Engineering,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy

Shiryayev Alexander Dmitrievich,

Assistant of the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy

Кащеев Кирилл Олегович,

Студент кафедры Автоматизированного электропривода и электротехники,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и
дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

Ширяев Александр Дмитриевич,

Ассистент кафедры Теплосиловых установок и тепловых двигателей,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.
Высшая школа технологии и энергетики

Abstract. This article discusses a promising power supply option that combines the use of wind turbines, solar energy and an auxiliary diesel generator station. The concept of a mixed system is presented, which combines wind and solar energy to ensure stable and sustainable energy supply to consumers located in remote or isolated areas. The effectiveness of this approach is emphasized in the conditions of variable natural energy and the need to ensure continuous access to electric energy. This hybrid approach makes it possible to reduce dependence on centralized energy sources, reduce carbon dioxide emissions and improve the environmental sustainability of energy supply in the Russian Federation.

Keywords: electricity supply, hybrid energy systems, renewable energy sources, energy autonomy, decentralized systems.

Аннотация. В данной статье рассматривается перспективный вариант электроснабжения, объединяющий в себе использование ветрогенераторов, солнечной энергии и вспомогательной дизель-генераторной станции. Представляется концепция смешанной системы, которая комбинирует энергию ветра и Солнца для обеспечения стабильного и устойчивого энергоснабжения потребителей, находящихся в удаленных или изолированных районах. Подчеркивается эффективность такого подхода в условиях переменной природной энергии и необходимости обеспечения непрерывного доступа к электрической энергии. Такой гибридный подход позволяет снизить зависимость от централизованных источников энергии, сократить выбросы углекислого газа и улучшить экологическую устойчивость энергоснабжения на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: электроснабжение, гибридные энергосистемы, возобновляемые источники энергии, энергетическая автономность, децентрализованные системы.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Электроэнергетика на сегодняшний день является активно развивающейся отраслью. В связи с парниковым эффектом, постоянно ухудшающимся экологическим состоянием в мире, сокращением ископаемых ресурсов, необходимости в децентрализации систем электроснабжения, как на международных, так и на государственных уровнях, принимается ряд законодательных и технических решений. Государственная политика в электроэнергетике базируется на ряде принципов, среди которых содействие развитию альтернативной энергетики, как экологически чистой отрасли энергетики, путем установления зеленого тарифа.

В настоящее время есть потребители электрической энергии, расположенные вдали от источников централизованного электроснабжения, что требует построения протяженных линий электропередач. В связи с развитием альтернативной энергетики появилась возможность дополнить существующую инфраструктуру децентрализованными системами генерации электроэнергии. Однако доля новых и возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе по-прежнему невелика в силу высокой стоимости соответствующих технологий и отсутствия доступа к ним.

Для оценки эффективности источника энергии, основанного на ветряной, солнечной и дизель-генераторной установках, в качестве места использования данного энергообъекта, был рассмотрен поселок Витязево в Краснодарском крае РФ. В качестве потребителя электрической энергии выбран район, состоящий из 25 жилых домов со средним суточным электропотреблением 231,5 кВт.

При разработке схемы электроснабжения частного дома следует провести подготовительные работы. К таким работам относится расчет мощности всех потребителей электроэнергии. Нужно учесть, какая бытовая техника будет подключаться, сколько энергии она потребляет. После расчёта общей мощности потребления, необходимо добавить 20% от рассчитанной мощности для резерва. Так как одновременное включение всех приборов маловероятно, при расчете используют поправочный коэффициент (одновременного использования). Его величина зависит от общей мощности.

Ветроэлектроустановку (ВЭУ) в определенном смысле можно считать бытовым изделием, так как разрешений на его установку и эксплуатацию не требуется. Это важное достоинство ветряных источников энергии, поскольку ветрогенераторы можно устанавливать и эксплуатировать без специальных административных разрешений.

Ветрогенератор не нуждается в топливе, не загрязняет окружающую среду во время генерации электроэнергии и не создает чрезмерно большого шума, но это зависит от мощности и конструкции. ВЭУ может использоваться для основного или резервного питания потребителей, удаленных от линий электропередач, а также, в связи с постоянно растущими тарифами в целях экономии средств. В действительности ВЭУ объединяет в себе не только оборудование для производства электрической энергии, но и устройства, позволяющие получать напряжение со стандартными показателями качества электроэнергии.

Для питания крупных электропотребителей ВЭУ может использоваться в составе комплекса с дизельным или бензиновым генератором, фотоэлектрическими панелями, а также центральной сетью электроснабжения. Включаемый в систему дизельный или бензиновый генератор и солнечные панели используются как резервные источники зарядки аккумуляторных батарей (АКБ) и для генерации необходимой электрической мощности, на случай длительного безветрия. Таким образом, создается надежная и экономичная система автономного гарантированного электроснабжения.

Объем электроэнергии, который может быть произведен ВЭУ, зависит от площади поверхности лопастей, ометаемых ветром. Эта площадь определяется диаметром ветроколеса. Средняя годовая скорость ветра определяется с использованием данных, полученных на метеорологических станциях, а также путем наблюдения за видимым действием ветра в течение года на площадке, планируемой к установке ветрогенератора (рисунок 1) [1].

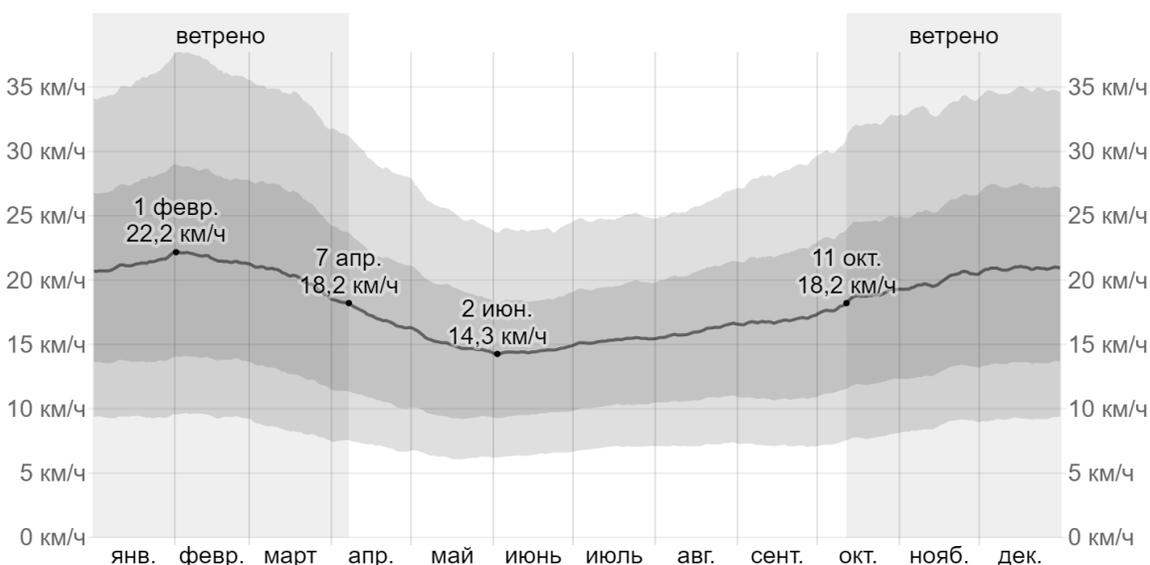


Рисунок 1. Изменение скорости ветра в поселке Витязево за 2023 год

Из анализа диаграммы видно, что средняя скорость ветра за прошедший год в поселке Витязево составляла 4,97 м/с. Для выбора ветрогенератора использовалась мощностная характеристика, наглядно отражающая возможность ВЭУ и представляющая собой зависимость вырабатываемой электрической мощности от скорости ветра. По данному параметру с анализом рынка ВЭУ РФ, в качестве источника энергии был сделан выбор отечественной установки Condor Air 50 номинальной мощностью 50 кВт. Для оценки эффективности применения автономной системы электроснабжения на основе дизель-генераторной, ветряной и солнечной электростанций с накопителем энергии, были проведены следующие расчеты.

Мощность, вырабатываемая ВЭУ [2]:

$$P_{эл} = \xi \cdot \frac{D \cdot \pi}{4} \cdot \rho \cdot V_{ср}^3 \cdot \eta,$$

где ξ – коэффициент использования энергии ветра;

D – диаметр ветроколеса, м;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

$V_{ср}$ – средняя скорость ветра, м/с;

η – коэффициент, учитывающий потери при передаче мощности от вала ветроколеса до рабочей машины.

Для покрытия среднесуточной электрической нагрузки, необходимо не менее 16 ВЭУ Condor Air 50 с общей стоимостью 45 600 000 руб. [3]. Посчитав по месяцам мощность ВЭУ, была построена диаграмма (рисунок 2), показывающая зависимость использования потребителем и производства ветроустановкой электроэнергии.

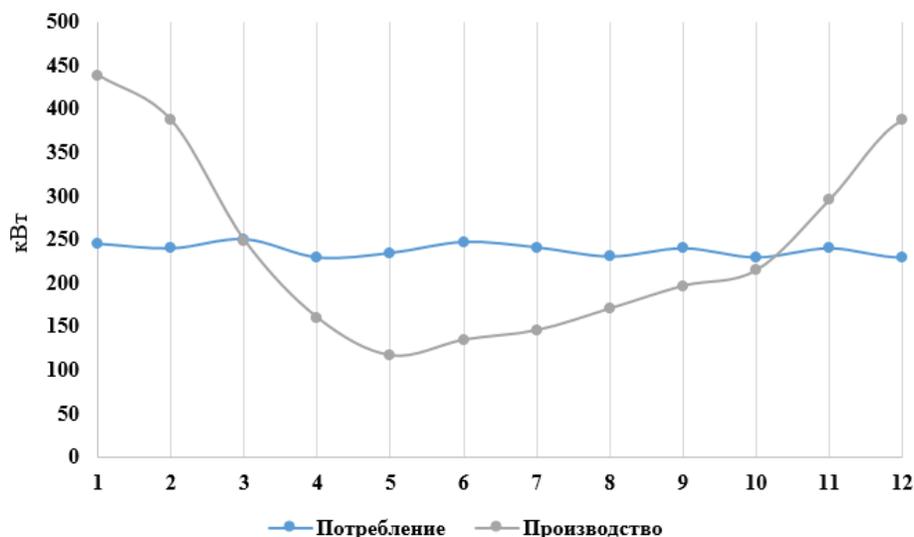


Рисунок 2. Количество используемой потребителем и генерируемой ВЭУ электроэнергии

Анализируя количество потребляемой жилыми домами и генерируемой ВЭУ электроэнергии, видно, что с марта по октябрь наблюдается нехватка мощности и возникает необходимость в подключении дополнительного источника электроэнергии – солнечной электростанции (СЭС). В остальные месяцы производится больше электроэнергии, чем потребляется.

В поселке Витязево, по метеорологическим данным, годовой уровень солнечной инсоляции составляет 1365,1 кВт·ч/м². Критерий для определения рационального режима работы фотоэлектрических модулей (ФЭМ) находится по формуле:

$$k_{\text{рад}} = \frac{E_{\text{год}}}{E_{\text{мес}}},$$

где $E_{\text{год}}$ – годовая солнечная радиация на горизонтальную поверхность ФЭМ, кВт·ч/м²;

$E_{\text{мес}}$ – среднемесячная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, минимальная в течение года, кВт·ч/м².

Коэффициент $k_{\text{рад}}$ характеризует отношение солнечной радиации при наименее солнечном месяце к радиации за весь год, если это отношение больше 0,5, то режим работы для ФЭМ – сезонный, если меньше 0,5 – круглогодичный. На рассматриваемой территории значение коэффициента составляет менее 0,5, ФЭМ возможно использовать круглый год. Для оценки эффективности работы СЭС была выбрана монокристаллическая солнечная панель Einnova Solarline ESM-550H PERC.

Полезная мощность одного солнечного модуля [4]:

$$P_{\text{пол}} = R \cdot F,$$

где F – площадь солнечного модуля, м²;

R – уровень освещенности, кВт/м².

КПД одного солнечного модуля:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{пол}}},$$

где P – номинальная мощность, кВт;

$P_{\text{пол}}$ – полезная мощность, кВт.

Мощность, вырабатываемая СЭС:

$$P_{\text{эл}} = \frac{E \cdot F \cdot k \cdot \eta}{n},$$

где E – уровень месячной солнечной инсоляции, кВт·ч/м²;

F – площадь солнечного модуля, м²;

k – коэффициент, учитывающий поправку на потери мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также наклонное падение лучей на поверхность модулей в течение года;

Принимается $k = 0,5$ летом и $k = 0,7$ в зимний период. Разница в его значении летом и зимой обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период.

η – КПД одного солнечного модуля;

n – продолжительность рассчитываемого периода, ч.

Для покрытия среднесуточной электрической нагрузки, необходимо около 550 солнечных панелей, стоимостью каждая 1000 руб., общие затраты 550 000 руб. [5]. Посчитав по месяцам мощность СЭС, была построена диаграмма (рисунок 3), показывающая зависимость использования потребителем и производства СЭС электроэнергии.

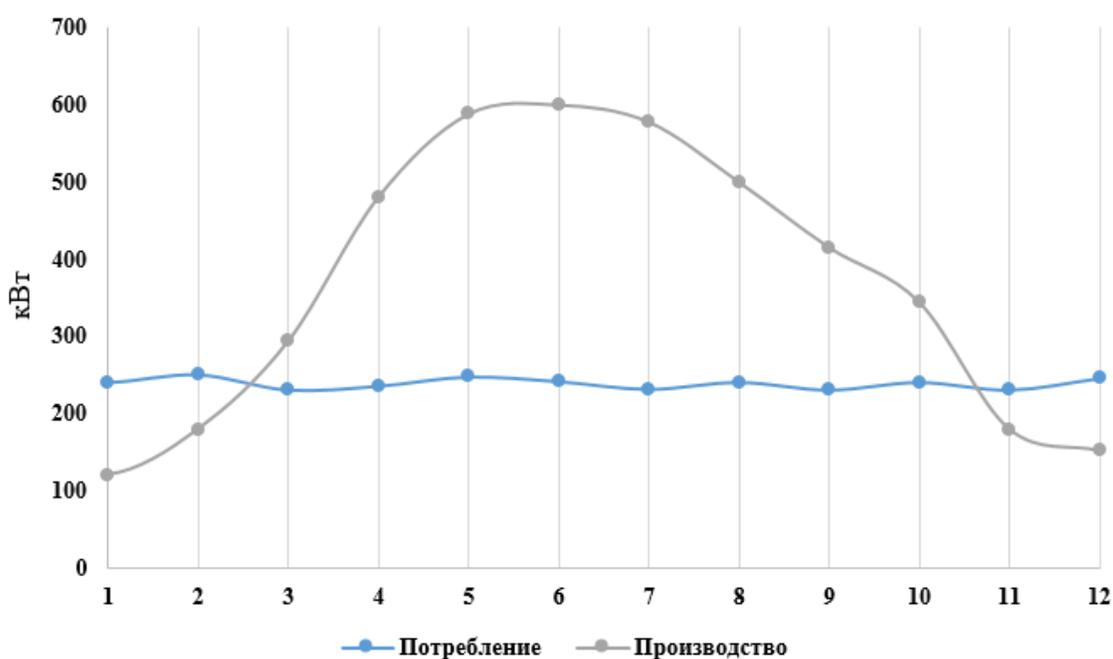


Рисунок 3. Количество используемой потребителем и генерируемой СЭС электроэнергии

Анализируя рисунок 3, видно, что в ноябре – марте наблюдается дефицит электрической мощности. В течение этих месяцев необходимо использовать дополнительный источник электроэнергии – ветровую электростанцию.

В силу высокой зависимости ВЭУ и СЭС от природных условий, является целесообразным применить резервный источник энергии – дизельную электростанцию (ДЭС), для обеспечения непрерывной и надежной системы электроснабжения жилого района. При расчетах мощности ДЭС учитываются потери мощности в сетях и на собственные нужды. Номинальная расчетная нагрузка ДЭС [6]:

$$P_{\text{ном.расч.}} = \frac{P_{\text{расч.}} \cdot k_{\text{пот.}}}{k_{\text{сн}}},$$

$P_{\text{расч}}$ – суточное электропотребление, кВт;

$k_{\text{пот.}}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в сетях;

$k_{\text{сн.}}$ – коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на собственные нужды

ДЭС.

Полная расчетная мощность:

$$S_{\text{расч.}} = \frac{P_{\text{ном.расч.}}}{\cos(\varphi)},$$

где $\cos(\varphi)$ – коэффициент активной мощности потребителей.

Для потребителя, состоящего из 25 жилых домов со средним суточным электропотреблением 231,5 кВт·ч, возможно использовать ДЭС Азимут АД-300С-Т400-1PM Woling 290 кВт/360 кВА, стоимость установки в контейнерном исполнении – 3 457 200 руб. Для накопления генерируемой электрической энергии от СЭС и ВЭУ требуется 2760 АКБ типа GEL тяговый панцирный MicroArt 2-960 стоимостью 46 644 000 руб. [7].

Общие затраты на гибридную энергосистему с учетом вспомогательного оборудования – 115 501 440 руб., стоимость 1 кВт электрической энергии на 1 потребителя – 18 480 руб./кВт на период окупаемости электростанции. В дальнейшем затраты на генерацию энергии будут в большей степени состоять из эксплуатационных затрат на топливо для ДЭС и заработной платы сотрудников энергообъекта.

Предложенный вариант энергоснабжения, основанный на интеграции ветрогенераторов, солнечной энергии и вспомогательной дизель-генераторной станции, представляет собой перспективное и устойчивое решение для обеспечения энергетических потребностей поселка. Применение ветрогенераторов и солнечных панелей позволяет эффективно использовать возобновляемые источники энергии, снижая зависимость от традиционных источников и сокращая выбросы парниковых газов. Вспомогательная дизель-генераторная станция обеспечивает надежность и стабильность энергоснабжения в случае недостатка энергии от возобновляемых источников или при временных изменениях спроса. Этот комплексный подход к энергоснабжению позволяет снизить эксплуатационные расходы на генерацию электроэнергии, обеспечивая одновременно высокий уровень энергетической эффективности и экологической чистоты. Более того, такая система способствует устойчивому развитию поселка, создавая рабочие места в сфере обслуживания энергообъектов и поддерживая экономическую активность.

References

1. Погода зимой Витязево [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.weatherspark.com> (дата обращения 04.03.2024).
2. Ширяев, А. Д. Оценка экономической эффективности работы ветроэнергетических установок на территории Санкт-Петербурга / А. Д. Ширяев // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей Научное издание, Санкт-Петербург, 22 декабря 2022 года / Под общей редакцией Т.Ю. Коротковой, сост. М.С. Липатов, Е.Н. Лашина. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 27-33. – EDN GNFVYZ.
3. Ветрогенератор 50 кВт [Электронный ресурс]. URL: <https://greentec-group.ru> (дата обращения 07.03.2024).
4. Ширяев, А. Д. Оценка экономической эффективности работы фотоэлектрических установок на территории города Санкт-Петербурга / А. Д. Ширяев, К. А. Крюков // Оригинальные исследования. – 2022. – Т. 12, № 10. – С. 246-252. – EDN GMAWQT.
5. Монокристаллическая солнечная панель Einnova Solarline [Электронный ресурс]. URL: <https://greenenergy.by> (дата обращения 07.03.2024).
6. Обухов С.Г. Автономные системы электроснабжения. Методические указания к выполнению курсового проекта для студентов направления 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника», магистерской образовательной программы «Электроснабжение и альтернативная энергетика», специализация «Оптимизация развивающихся систем электроснабжения» / С.Г. Обухов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 54 с.
7. Аккумулятор тяговый панцирный MicroArt 2-960 [Электронный ресурс]. URL: <https://energywind.ru/katalog> (дата обращения 13.03.2024).