



УДК 621.311
doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-12



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Повышение эффективности ветровой электростанции в локальной энергосистеме

Сергей Владимирович Голобоков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
golobokov_sv@mail.ru

Надя Аль Махадмех

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
n.almakhadmeh@gju.edu.jo

Ольга Николаевна Токарева

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
tokareva.alex2015@yandex.ru

Аннотация. Выполнено моделирование режимов работы локальной энергосистемы с ветровой электростанцией. На основе модели получены зависимости мощности дизельных электростанций для выработки тепловой и электрической энергии от мощности ветровой генерации. При большой скорости ветра ветровая электростанция выдает избыточную мощность в тепловые сети. Дизельная электростанция полностью обеспечивает местных потребителей теплом. Таким образом, удастся снизить расход дизельного топлива и повысить эффективность применения ветровой электростанции в локальных энергосистемах.

Ключевые слова: ветрогенератор, ветровая электростанция, суточный график нагрузок, загрузка агрегатов, дизельная электростанция, тепловая мощность энергосистемы, экономия дизельного топлива

Для цитирования: Голобоков С. В., Аль Махадмех Н., Токарева О. Н. Повышение эффективности ветровой электростанции в локальной энергосистеме // Инжиниринг и технологии. 2024. Т. 9 (2). С. 1–5. doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-12

Improving the efficiency of a wind farm in the local energy system

Sergey V. Golobokov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
golobokov_sv@mail.ru

Nadia Al Mahadmeh

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
n.almakhadmeh@gju.edu.jo

Olga N. Tokareva

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
tokareva.alex2015@yandex.ru

Abstract. The operating modes Simulation of a local power system with a wind power plant was carried out. On the basis of the model, the dependencies of the capacity of diesel power plants for the generation of heat and electricity on the capacity of wind generation were obtained. At high wind speeds, the wind farm delivers excess power to the heating networks. The diesel power plant fully provides local consumers with heat. Its possible to reduce the consumption of diesel fuel and increase the efficiency of the use of wind farms in local power systems.

Keywords: wind generator, wind power plant, daily load schedule, unit loading, diesel power plant, heat power of the power system, diesel fuel saving

For citation: Golobokov S.V., Al Mahadmeh N., Tokareva O.N. Improving the efficiency of a wind farm in the local energy system. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2024;9(2):1–5. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-12



В последние десятилетия в мировой энергетике наблюдается широкое развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В нашей стране ветровые парки (ВЭС) и солнечные электростанции (СЭС) значительного распространения не получили. Основной причиной отставания от европейских стран является низкая эффективность и высокая стоимость объектов ВИЭ.

Развитие ВИЭ является одним из приоритетных направлений энергетической стратегии России. Возобновляемые источники энергии интенсивно внедряются в локальные энергосистемы, изолированные от ЕЭС России. Генерирующие установки ВИЭ располагают в непосредственной близости от потребителя. Возобновляемые источники энергии применяются в системах электроснабжения объектов, подключение которых к магистральным сетям слишком дорого или невозможно в принципе.

Особенно эффективно применение децентрализованного энергоснабжения районов в северной части нашей страны [1]. В настоящее время в малых поселениях на Крайнем Севере и Дальнем Востоке основным источником электроэнергии являются дизельные электростанции. Основная проблема – доставка запасов дизельного топлива [2]. Северный завоз выполняется из морских портов по зимникам на весь сезон. Кроме значительной цены самого дизельного топлива дополнительно растут расходы на его транспортировку и хранение. В конечном счете, все это отражается на себестоимости электроэнергии и приводит к росту тарифов для потребителей.

Одним из путей решения проблемы электроснабжения удаленных районов является использование ВИЭ. Применение СЭС в северных районах неэффективно, поскольку во время полярной ночи СЭС не обеспечивает выработку электрической мощности. Летом продолжительность светового дня превышает 20 ч, мощность генерации СЭС избыточна, но мощность нагрузок ограничена, выдавать ее в сети не получается [3].

Напротив, в районах Крайнего Севера ветропотенциал высокий, к тому же мало меняется в течение года. Так, например, на Камчатке средняя скорость ветра составляет 5–6 м/с на западном побережье и на мысах восточного побережья достигает 9–11 м/с [4]. В качестве генерирующих установок возможно применение ветрогенераторов (ВГ) единичной мощностью более 1 МВт. Основными критериями выбора ВЭС являются: развиваемая мощность, доля замещения углеводородного топлива, себестоимость вырабатываемой электроэнергии, цена применяемых энергоустановок, расстояние от ВЭС до потребителей и сетей централизованного электроснабжения.

Особенностью климата северных регионов является зимний период продолжительностью до 300 дней в году с морозами, достигающими -35 – 50 °С. В короткий (около 3 месяцев) летний период температура иногда поднимается до $+20$ °С [4]. Устойчивые и сильные ветра наблюдаются здесь в большей степени зимой, а также в переходный период – весной и осенью. А значит, потенциал развития ветроэнергетики в северных регионах высок и это перспективное направление инвестиций.

Рассматривая территорию Крайнего Севера и Дальнего Востока как область для развития ВЭС можно выделить основные направления.

1. Использование ВГ малой мощности для электроснабжения локальных потребителей в составе гибридных энергоустановок. Наибольший эффект дает совместное использование ВГ с дизельными генераторами.

2. Развитие производств в удаленных территориях требует надежного электроснабжения. По опыту эксплуатации предприятий горнодобывающей промышленности средняя расчетная мощность составляет не более 10 МВт. Ветровая электростанция мощностью 30–50 МВт обеспечивает предприятия и потребителей небольшого поселка суммарной мощностью 1500 кВт.

3. Применение ВГ в составе действующей локальной электрической сети позволит автоматизировать управление энергосистемой с большим числом генераторов малой мощности. Технологии Smart Grid решили основные проблемы управления. Рост доли генерации ВЭС сопровождается ростом надежности и устойчивости энергосистем.

Применение ВГ в северных районах дает дополнительную мощность за счет лучшего охлаждения генератора и повышенной плотности воздуха. Энергоэффективность установки при одной и той же скорости ветра будет выше. Мощность ВГ пропорциональна плотности воздуха. Следовательно, при снижении температуры воздуха, например с $+15$ до -15 °С, мощность установки возрастает на 11 %. В то же время при падении атмосферного давления с 770 до 730 мм рт.ст. за счет снижения плотности мощность ВГ снижается на 6 %. Применение ВГ мощностью более 1 МВт будет эффективно при средней скорости ветра не менее 8 м/с. Получение заданной мощности ВГ при нестабильных погодных условиях Крайнего Севера не всегда возможно.

В настоящее время в арктической зоне строительство электростанций на основе ВИЭ ведется точно, во многих случаях в формате эксперимента [5]. Для технико-экономического обоснования требуется расчет режимов работы, эффективности ВИЭ и расхода дизельного топлива.



Для количественных оценок разработана математическая модель локальной энергосистемы. Исследование проведено на примере системы энергоснабжения удаленного поселка. Энергоснабжение поселка выполняется от 4 дизель-генераторных установок (ДГУ) мощностью по 1 МВт каждая. Генерируемая тепловая мощность составляет 6 МВт. Максимальная мощность электрических нагрузок поселка равна 4 МВт. Мощность тепловой генерации составляет зимой днем – 2800 кВт, ночью – 2400 кВт. Летом тепловая генерация не превышает 800 кВт.

Особенностью построения ВЭС является избыточная мощность генерирующего оборудования [5]. Если установленная мощность ВЭС равна пиковой мощности нагрузок большую часть выработки электроэнергии выполняет ДГУ. Если увеличить мощность ВЭС до 10-кратного размера, все равно во время штита генерации ВЭС недостаточно для автономной работы [3]. По результатам расчетов, на модели установленная мощность ВЭС составляет 12 МВт, средняя расчетная 4 мВт зимой и 2 МВт летом. Пиковая мощность всех потребителей не превышает 4 МВт, а средняя расчетная – 3 МВт. Коэффициент загрузки ВГ не превышает 0,25.

На рис. 1 представлен суточный график электрических нагрузок поселка, зависимость мощности ДГУ при значениях мощности генерации ВЭС.

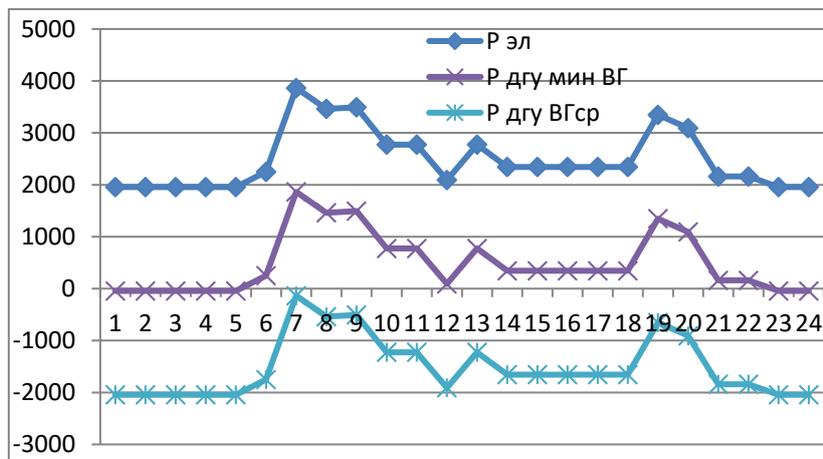


Рис. 1. Суточный график нагрузок поселка ДГУ с ВЭС

При скорости ветра 5 м/с ВЭС выдает мощность 2 МВт, нагрузка поселка полностью обеспечивается генерацией ВЭС только ночью. С 6 утра до 10 работают две ДГУ, а в течение дня – только одна. При скорости ветра 7 м/с мощность ВЭС возрастает до 4 МВт. Все потребности поселка в электроэнергии днем покрываются за счет ВЭС. При этом ночью имеется избыточная генерация 2 МВт, а днем – примерно 1,5 мВт. В те дни, когда скорость ветра более 7 м/с, мощность генерации ВЭС превышает мощность нагрузок. В изолированной энергосистеме передать избыточную мощность в ЕЭС нельзя. Для достижения баланса часть ВГ будет отключена.

На рис. 2 представлены суточные графики тепловой мощности с учетом работы ДГУ для систем отопления при разной мощности ВЭС.

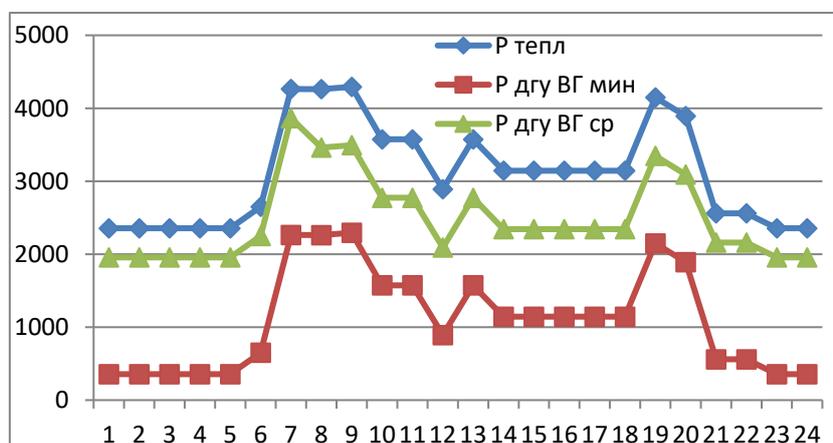


Рис. 2. Суточный график тепловых нагрузок ДГУ с ВЭС



Мощность тепловой генерации ДГУ примерно в 1,5 раза больше электрической. В номинальном режиме ДГУ полностью покрывают потребности поселка в тепловой энергии. Анализ графиков показывает, что при минимальной мощности ВЭС 2 МВт потребности поселка в электрической энергии ночью закрываются, ДГУ можно отключить. Но потребности в тепловой энергии 2400 кВт требуют работы двух ДГУ в режиме номинальной мощности. Для экономии дизельного топлива можно одну ДГУ отключить, а часть мощности ВЭС передать в тепловые сети.

При мощности генерации ВЭС 4 МВт потребности в генерации тепла в ночное время можно закрыть избыточной мощностью ВЭС. Во время утреннего и вечернего пика мощность нагрузок достигает 4 МВт. Для генерации тепловой энергии необходимо включить минимум одну ДГУ. Для самых благоприятных погодных условий при мощности 7 МВт ВЭС могут отдавать в энергосистему 4 МВт электрической мощности и 3 МВт тепловой. В этом случае все ДГУ можно отключить. Снижение времени работы и числа включенных ДГУ дает экономию дизельного топлива. Однако для реализации такого проекта необходимо оснастить тепловые сети электроконверторами для подогрева теплоносителя от электронагревателей.

Дизель-генераторные установки в сутки вырабатывают 60 МВт·ч электроэнергии и расходуют 12 т дизельного топлива. В месяц на энергоснабжение поселка надо 400 т топлива, а в год – примерно 3 тыс. т. В случае успешного внедрения ВЭС при мощности 2 МВт понадобится 2 т дизельного топлива в сутки. При мощности ВЭС 4 МВт ДГУ можно выключить, ВЭС полностью покрывает потребности поселка в электроэнергии. ДГУ не работают, дизельное топливо не расходуют.

Зимой ДГУ выполняют отопление поселка, даже если электроснабжение выполняют ВЭС, ДГУ работают на генерацию тепла. При этом избыточная мощность ВЭС также может быть направлена на горячее водоснабжение потребителей. Расход топлива в сутки составит 5 т при мощности ВЭС 4 МВт и 7 т при мощности генерации 2 МВт. Экономия дизельного топлива составит 140 т в месяц или 1240 т в год. Кроме стоимости самого топлива дополнительную экономию составит снижение затрат на его транспортировку.

Учитывая, что в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока распределение ветров крайне неравномерное, обеспечить электроснабжением местных потребителей только за счет ВЭС в большинстве местностей не удастся. Вероятностные методы расчета показывают, что ВЭС могут вырабатывать не более 20 % годового объема электроэнергии. Применение ВЭС является одним из путей решения государственных задач по повышению энергетической эффективности всех отраслей народного хозяйства [5].

Заключение

Обеспечить электроснабжение местных потребителей только генерацией ВЭС в северных районах РФ невозможно. Тепловая генерация остается важнейшим фактором жизнеобеспечения в жестких природно-климатических условиях северных территорий РФ. Повышение эффективности в локальных энергосистемах возможно за счет повышения загрузки агрегатов ВЭС, включения балластной нагрузки в виде систем отопления, снижения мощности и расхода топлива дизель-электростанциями.

Список литературы

1. Голобоков С. В., Душутин К. А., Чукарева М. М., Каворин А. О. Перспективы развития альтернативной энергетики в северных районах России // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. 26 ноября 2020. Саранск : Изд-во Мордовского госуниверситета, 2020. С. 65–68.
2. Змиева К. А. Проблемы энергоснабжения арктических регионов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-energосnabzheniya-arkticheskikh-regionov/viewer> (дата обращения: 20.01.2024).
3. Как развивается солнечная энергетика в России. URL: <https://recyclemag.ru/article/razvivaetsya-solnechnaya-energetika-rossii> (дата обращения: 10.01.2024).
4. СП131.13330.2020 Свод правил. Строительная климатология. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 06.12.2023).
5. Агеев В. А., Голобоков С. В., Александрин А. А. Повышение эффективности применения ветрогенераторов в поволжском регионе // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : материалы Национальной с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов. Тюмень : Изд-во ТИУ, 2020. С. 163–166.



References

1. Golobokov S.V., Dushutin K.A., Chukareva M.M., Kavorin A.O. Prospects for the development of alternative energy in the northern regions of Russia. *Jenergojeffektivnye i resursosberegajushhie tehnologii i sistemy: mezhvuz. sb. nauch. tr. (26 nojabrja 2020) = Energy-efficient and resource-saving technologies and systems : interuniversity scientific conference November 26, 2020*. Saransk: Izd-vo Mordovskogo gosuniversiteta, 2020:65–68. (In Russ.)
2. Zmieva K.A. *Problemy jenergosnabzhenija arkticheskikh regionov = Problems of energy supply in the Arctic regions*. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-energосnabzheniya-arkticheskikh-regionov/viewer> (accessed 20.01.2024).
3. *Kak razvivaetsja solnechnaja jenergetika v Rossii = How is solar energy developing in Russia*. (In Russ.). Available at: <https://recyclemag.ru/article/razvivaetsya-solnechnaya-energetika-rossii> (accessed 10.01.2024).
4. SP131.13330.2020 *Svod pravil. Stroitel'naja klimatologija = A set of rules. Building climatology* (In Russ.). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (accessed 06.12.2023).
5. Ageev V.A., Golobokov S.V., Aleksandrin A.A. Improving the efficiency of wind turbines in the Volga region. *Jenergosberezhenie i innovacionnye tehnologii v toplivno-jenergeticheskom komplekse: materialy Nacional'noj s mezhdunar. uchastiem nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov, uchenyh i specialistov = Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex : materials of the National and International Conference. with the participation of scientific and practical conf. students, postgraduates, scientists and specialists*. Tjumen: Izd-vo TIU, 2020:163–166. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 04.03.2024

Принята к публикации / Accepted 04.04.2024