



УДК 621.311
doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-18



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Повышение эффективности ветровой электростанции в Поволжском регионе

Сергей Владимирович Голобоков

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

Сергей Константинович Банбенков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
seregafly58rus@gmail.com

Андрей Витальевич Клейменов

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

Аннотация. В работе рассматриваются особенности применения ветрогенераторов в климатических условиях Поволжья. Разработана математическая модель работы ветрогенератора в течение месяца. Выполнено моделирование режимов работы трех марок ветрогенераторов различной мощности. Предложены марки ветрогенераторов для малой скорости ветра. Разработаны мероприятия, обеспечивающие выработку максимального объема электроэнергии ветровой электростанцией.

Ключевые слова: ветрогенератор, ветровая электростанция, расчетная мощность нагрузок, мощность транзита, объем выработки электроэнергии

Для цитирования: Голобоков С. В., Банбенков С. К., Клейменов А. В. Повышение эффективности ветровой электростанции в Поволжском регионе // Инжиниринг и технологии. 2024. Т. 9 (2). С. 1–6. doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-19

The wind farm efficiency Improving in the Volga region

Sergey V. Golobokov

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

Sergey K. Banbenkov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
seregafly58rus@gmail.com

Andrey V. Kleymenov

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

Abstract. The paper discusses the features of the use of wind turbines in the climatic conditions of the Volga region. A mathematical model of the wind turbine operation for a month has been developed. Simulation of the operating modes of three brands of wind turbines of different capacity was carried out. Brands of wind turbines for low wind speed are proposed. Measures have been developed to ensure the generation of the maximum amount of electricity by the wind power plant. The issues of increasing efficiency in the Penza region are considered.

Keywords: wind generator, wind power plant, estimated load capacity, transit capacity, electricity generation volume

For citation: Golobokov S.V., Banbenkov S.K., Kleymenov A.V. The wind farm efficiency Improving in the Volga region. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2024;9(2):1–6. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-19

Энергетическая эффективность ветровой электростанции (ВЭС) зависит от ветропотенциала района, времени года, особенностей рельефа местности [1]. Ветропотенциал в Поволжском регионе



невысокий, среднегодовая скорость ветра в Пензенской области равна 4,7 м/с, в летние месяцы она составляет 3,7 м/с а зимой повышается до 5,4 м/с [4]. На рис. 1 показаны графики среднестатистического времени работы ветрогенераторов (ВГ) в заданном диапазоне скоростей ветра в течение летнего и зимнего месяцев.

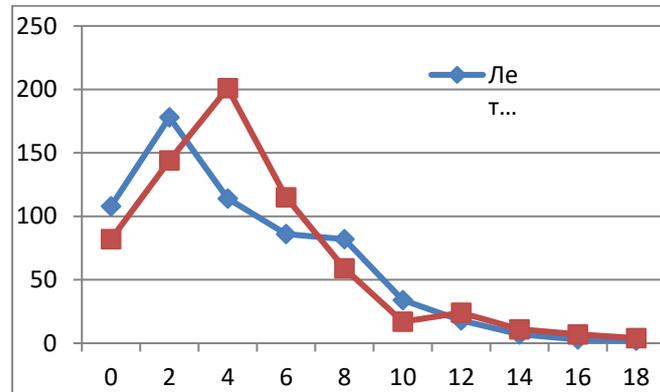


Рис. 1. Зависимость времени работы ВГ от скорости ветра

Анализ графиков показывает, что общее время, когда ветра нет или его скорость менее 3 м/с составляет 200–230 ч в месяц. В течение этого времени ВГ работать не будут. Время, в течение которого скорость ветра не превышает 6 м/с, составляет около 208 ч, 8 м/с – 170 ч, а 10 м/с – не более 30 ч. Общее время, в течение которого скорость ветра превышает 10 м/с, составляет 12 ч в месяц зимой и 5 ч летом.

В долине реки Волги и ее притоков скорости ветра несколько выше, а в лесистой местности на высоте до 50 м от уровня земли существенно снижаются [3]. Суточные колебания скорости ветра не превышают 13 % и в целом на картину ветров не влияют [4]. Поскольку Поволжье расположено в глубине континента, ветропотенциал региона существенно ниже, чем в прибрежных территориях и на акватории Мирового океана [4].

Для повышения эффективности ВЭС в условиях Поволжья и выбора марки ВГ выполнено моделирование режимов работы различных ВГ [2]. Характеристики ВГ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики ветрогенераторов

Параметры	Ед. изм.	ADEC-60	ADEC-335	AW-70\1500
1. Мощность номинальная, $P_{эл}$	кВт	60	335	1500
2. Скорость min, v_{min}	м/с	3,5	3	4
3. Скорость ном, $v_{ном}$	м/с	8	12	11
4. Скорость max, v_{max}	м/с	12	18	25
5. Диаметр лопастей, D	м	29	36	70
6. Высота, H	м	38	56	80
7. Частота вращения ротора, max	об./мин	80	48	20
8. Номинальное напряжение	кВ	0,38	0,4	12
9. Количество	шт	25	5	1
10. Расчетная мощность	кВт	300	335	300

Существенное значение на показатели энергоэффективности ВЭС оказывают технические характеристики, единичная мощность и число ВГ [3]. Задача выбора марки ВГ и оптимизации режимов его работы будет решаться в привязке к системам электроснабжения объектов. Для снижения времени простоя и выдачи расчетной мощности в условиях Поволжья установленную мощность генерирующего оборудования принимают в 5 раз больше [5].



Для электроснабжения удаленного объекта, подключение которого к централизованному электроснабжению невозможно или слишком дорого, спроектируем ВЭС на основе ВГ различной единичной мощности. Расчетная мощность приемников в локальной сети составляет 300 кВт, это сельское поселение с объектами агроиндустрии. Выполним сравнение трех ВЭС, построенных на ветрогенераторах малой (ADEC-60), средней (ADEC-335) и большой (AW-70\1500) мощности. Эффективность работы ВГ определяется климатическими условиями района и техническими характеристиками [1].

На рис. 2 представлены графики зависимости мощности, выдаваемой ВЭС с разными типами ВГ, от скорости ветра за январь 2020 г.

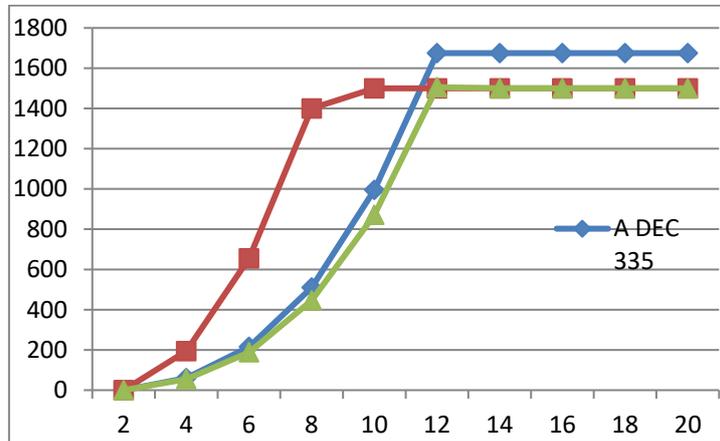


Рис. 2. Зависимость выдаваемой мощности ВЭС от марки ВГ

Анализ графиков показывает, что в диапазоне скоростей выше 12 м/с мощность всех трех типов ВЭС примерно одинакова. В зоне скоростей более 12 м/с мощность генерации всех типов ВГ ограничена встроенной автоматикой. Однако общее время работы ВГ в таком диапазоне скоростей слишком мало и объем генерации в этом режиме незначителен. В зоне малых скоростей от 4 до 8 м/с мощность ВЭС на основе ADEC-60 почти в 3 раза выше, чем у ВЭС на основе ВГ марки ADEC-335. Это объясняется тем, что ВГ ADEC-60 является тихоходным, его минимальная скорость равна 3 м/с. В зоне малых скоростей ВГ работают почти половину времени в течение месяца, это их основной режим работы. Время простоя ВГ составляет около 200 ч в месяц.

На рис. 3 представлен график распределения скорости ветра и выдаваемой мощности ВЭС с ВГ марки ADEC-60 в течение месяца.

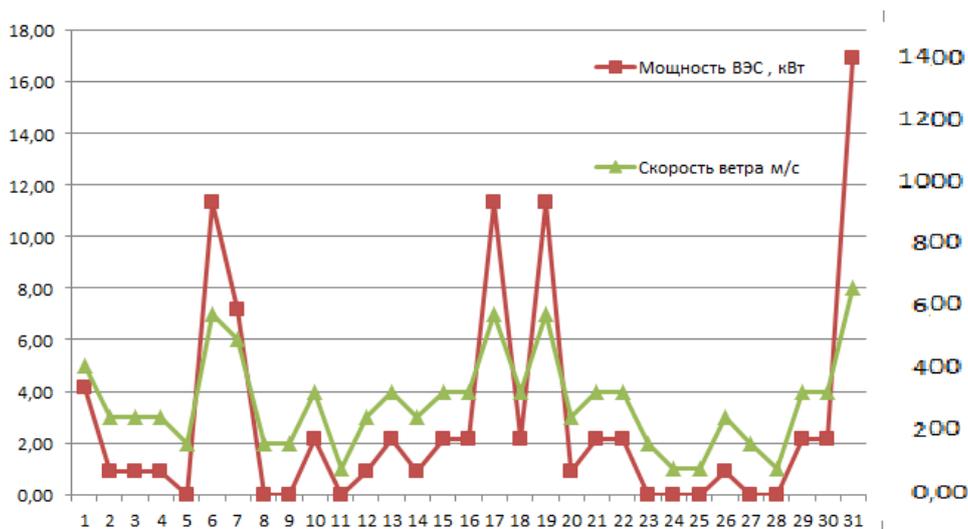


Рис. 3. Распределение скорости ветра и мощности в течение месяца

Объем электроэнергии, вырабатываемой ВЭС в течение месяца, зависит от суточного графика нагрузки потребителей, мощности транзита магистральных линий электропередач (ЛЭП), наличия балансирующей нагрузки. Мощность, выдаваемая ВЭС в сети, определяется категорией надежности



электроснабжения потребителей и схемами резервирования. На рис. 4 представлен график максимально возможной выработки электроэнергии ВЭС на разных скоростях ветра при условии круглосуточного потребления всей выдаваемой мощности за месяц.

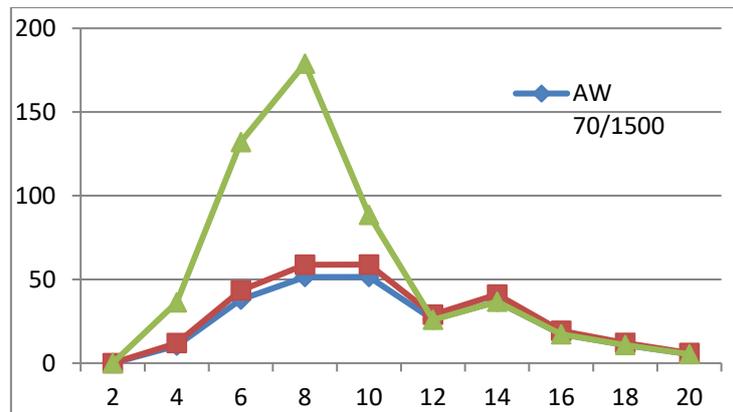


Рис. 4. Зависимость объема выработки электроэнергии в тыс кВтч разными ВГ от скорости ветра в течение месяца

Анализ графиков показывает, что наиболее эффективно работает ВЭС на основе ВГ марки ADEC-60. Объем выработки почти в 2 раза превышает объемы выработки ВГ марки ADEC-335 и AW-70/1500. В зоне малых скоростей время работы велико, а мощность мала. Аналогично, при скоростях ветра более 10 м/с мощность наибольшая, а время работы мало и выработка снижается. Наибольший объем выработки электроэнергии наблюдается в диапазоне скоростей от 6 до 9 м/с. Для ВГ марки ADEC-335 и AW-70/1500 качественно картина сохраняется, а количественно – существенно ниже.

Условием устойчивости локальной энергосистемы является баланс генерации и потребления электроэнергии в любой момент времени [3]. Расчетная мощность нагрузок равна 300 кВт. Анализ графика (см. рис. 3) показывает, что мощность генерации ВЭС меняется случайным образом и довольно часто ее недостаточно для покрытия нагрузок энергосистемы поселка. Для обеспечения устойчивости в состав энергосистемы поселка включаем дизельную электростанцию (ДЭС) мощностью 350 кВт. Рассмотрим также возможность транзита по ЛЭП избыточной мощности до 1000 кВт. В табл. 2 представлен баланс объемов генерации и потребления электроэнергии.

Таблица 2

Баланс электроэнергии в локальной энергосистеме

Показатель	Ед. изм.	Значения				Всего
		0	3	4	6	
1. Скорость ветра	м/с	0	3	4	6	
2. Мощность генерации	кВт	0	80	200	1000	
3. Число суток	шт	7	8	9	7	31
4. Время работы	ч	168	192	216	168	744
5. Объем генерации	тыс. кВт·ч	0	15,36	43,2	50,4	109
6. Дефицит мощности	кВт	-300	-220	-100	700	
7. Объем генерации ДЭС	тыс. кВт·ч	-50,4	-42,24	-21,6	0	-114,2
8. Объем потребления	тыс. кВт·ч	50,4	57,6	64,8	50,4	223,2
9. Объем генерации с учетом ДЭП	тыс. кВт·ч	0	15,36	43,2	168	226,6
10. Объем транзита с учетом ДЭП	тыс. кВт·ч	-50,4	-42,24	-21,6	117,6	3,36

Из данных табл. 2, строка 3, видно, что 7 дней в течение месяца ветра не было, ВЭС не работает. Восемь дней скорость ветра была 3 м/с, мощность ВЭС равна 80 кВт. При скорости ветра 4 м/с ВЭС 9 дней выдает мощность 200 кВт, все эти дни мощность генерации меньше мощности нагрузок. В итоге 24 дня в месяц мощности, выдаваемой ВЭС недостаточно, для питания потребителей будет работать дизель-генератор [3].



В строке 6 показаны мощности ДЭС, а в строке 7 показаны объемы вырабатываемой ДЭС электроэнергии. В течение месяца ДЭС вырабатывает 114 тыс. кВтч электроэнергии. Объем потребления в месяц составляет 223 тыс. кВтч, следовательно ДЭС выдает половину месячного объема потребления электроэнергии. Это показывает, что ВЭС работает крайне неэффективно, фактически половину объема вырабатывает резервная ДЭС.

Скорость ветра более 6 м/с наблюдается только 7 дней. В это время генераторы способны выдавать в сеть мощность более 1000 кВт. Однако принять такую мощность локальная энергосистема не способна, нет потребителей с мощностью 700 кВт, способных работать круглосуточно. В итоге мощность генерации ограничивается системой управления до 300 кВт, часть ВГ отключают. За месяц в таком режиме ВЭС выдает всего 109 тыс. кВтч электроэнергии, половину от объема потребления.

Для повышения эффективности ВЭС необходимо использовать мощность генерации в эти 7 дней, когда погодные условия позволяют вырабатывать большой объем электрической энергии. С этой целью в составе энергосистемы должны быть накопители электрической энергии или балластная нагрузка [1]. Тогда избыточную мощность 700 кВт можно направить в накопитель электрической энергии или подключать к распределительной сети поселка какую-то балластную нагрузку. Существующие технологии накопления электрической энергии такую мощность потреблять не позволяют [3].

В качестве балластной нагрузки может использоваться система отопления, которая работает на электронагревателях и за ночь поднимает температуру в помещениях. Можно подключить насосную станцию поселкового водоснабжения, которая накачивает резервуары и делает запас воды на несколько суток. Обычно балластная нагрузка включается ночью, чтобы выровнять суточный график нагрузок. Однако в условиях небольшого поселка найти нагрузку, в два раза превышающую расчетную мощность, невозможно.

Если энергосистема поселка подключена к магистральным сетям с мощностью транзита более 1000 кВт, появляется возможность передавать излишки электроэнергии в объединенную систему. В этом случае в течение 24 сут, когда мощность ВЭС недостаточна, дефицит мощности генерации ВЭС покрывается мощностью транзита. За месяц по магистральным ЛЭП поселок получает 114 тыс. кВтч электроэнергии. Тем самым ДЭС из основной генерации переводится в резервную и будет работать в случае аварии на ЛЭП. Избыточная мощность генерации ВЭС 700 кВт передается в объединенную энергосистему (ЕЭС), ЛЭП передают 117 тыс. кВтч электроэнергии в месяц.

На основе проведенных на модели исследований можно сделать следующие выводы. Применение ВЭС в локальной энергосистеме не обеспечивает бесперебойное электроснабжение поселка в течение месяца. В качестве резервного источника используется ДЭС. Но более перспективным будет подключение локальной энергосистемы к ЕЭС. Эффективность ВЭС при этом значительно увеличивается ввиду возможности генерации номинальной мощности в течение малого времени.

Разница объемов электроэнергии, получаемой и передаваемой в энергосистему за месяц составляет 3,36 тыс. кВтч. В составе ЕЭС объемы вырабатываемой ВЭС и потребляемой локальной энергосистемой электроэнергии практически совпадают. Но пики генерации и потребления в локальной энергосистеме по времени не совпадают. Фактически ВЭС обеспечивает электроэнергией локальную энергосистему за счет перетоков мощности в ЕЭС. Тем самым существенно повышается эффективность применения ВЭС в условиях Поволжья с низким ветропотенциалом в течение всего года.

Список литературы

1. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие. М. : КноРус, 2019. 228 с.
2. Каталог продукции компании Energy Wind. URL: <https://energywind.ru/vetryanyie-elektrostantsii/promyshlennye-vetrogeneratory-dlya-biznesa> (дата обращения: 18.10.2022).
3. 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 нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов. Тюмень, 2020. С. 162–165.
4. Климат Пензы / под ред д-ра геогр. наук Ц. А. Швер. Л. : Гидрометеиздат, 1988.
5. Голобоков С. В., Душутин К. А., Буйнов Д. А., Клейменов А. В. Повышение эффективности ветровой электростанции в Пензенской области // Актуальные проблемы электроэнергетики : сб. науч.-техн. ст. IX Всерос. (XLII региональной) науч.-техн. конф. Нижний Новгород, 2023. С. 369–374.



References

1. Sibikin Ju.D., Sibikin M.Ju. *Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenergii: ucheb. posobie = Non-traditional and renewable energy sources: studies. stipend.* Moscow: KnoRus, 2019:228. (In Russ.)
2. *Katalog produkcii kompanii Energy Wind = Energy Wind Company's product catalog.* (In Russ.). Available at: <https://energywind.ru/vetryanyie-elektrostantsii/promyshlennye-vetrogeneratory-dlya-biznesa> (accessed 18.10.2022).
3. 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 nac. 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 from the international. with the participation of scientific and practical conf. students, postgraduates, scientists and specialists.* Tjumen, 2020:162–165. (In Russ.)
4. Shver C.A. (ed.). *Klimat Penzy = Penza climate.* Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. (In Russ.)
5. Golobokov S.V., Dushutin K.A., Bujnov D.A., Klejmenov A.V. Improving the efficiency of a wind power plant in the Penza region. *Aktual'nye problemy jelektrojenergetiki: sb. nauch.-tehn. st. IX Vseros. (XLII regional'noj) nauch.-tehn. konf. = Actual problems of the electric power industry : collection of scientific and technical Article IX of the All-Russian (XLII regional) scientific and technical conf.* Nizhnij Novgorod, 2023:369–374. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 15.02.2024

Принята к публикации / Accepted 15.03.2024