

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И МЕТЕОУСЛОВИЙ ВЛИЯЮЩИХ НА ЭНЕРГОВЫРАБОТКУ

А.Ю. Горшенин¹

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: augomgtu@gmail.com

А.В. Блохин¹

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: sasha_bloh@mail.ru

И.О. Шука²

к.т.н., доцент факультета очного отделения, e-mail: oat-schuka@mail.ru

¹Омский государственный технический университет, Омск, Россия

²Сибирский институт бизнеса и информационных технологий, Омск, Россия

Аннотация. Исследуются характеристики ветроэнергетических установок как источников возобновляемой энергии. Рассмотрены основные типы ветроэнергетических установок, различающиеся конструктивными параметрами и режимами работы. Рассмотрены конструктивные особенности ветроэнергетических установок. Выявлены недостатки ветроэнергетики. Проблема изменчивости выработки энергии ветра исследуется на основе данных о выработке энергии ветра. Получены графики данных о выработке электроэнергии и метеорологических условиях, и выявлена взаимосвязь между ними. Рассчитаны коэффициенты корреляционной зависимости.

Ключевые слова: прогнозирование, энерговыработка, данные, ветроэлектростанция.

Введение

Использование энергии ветра играет важную роль в жизни общества из-за его экономического и экологического значения. Основной задачей является то, что знание выработки электроэнергии ветроэлектростанциями (ВЭС), является неотъемлемой частью поддержки принятия решений с точки зрения технического обслуживания ВЭС, распределения электроэнергии между потребителями и хранением энергии в накопителях [1–3].

Прерывистый характер и низкий уровень контроля над ветровыми условиями ставят перед каждым сетевым оператором одну и ту же проблему при их успешной интеграции для удовлетворения текущего спроса [4, 5]. Добиться удовлетворительного результата сложно из-за флуктуационных характеристик скорости ветра [6]. В сочетании с необходимостью прогнозировать спрос и балансировать его с предложением, оператор сети теперь также должен прогно-

зировать доступность ветряных и солнечных электростанций в течение следующего часа, дня или недели [7]. Помимо сдерживания преимуществ возобновляемой энергии, неправильное планирование ветряных электростанций может привести к ненужному резервированию, более высоким затратам, переложеным на потребителя, и использованию других более дорогих и загрязняющих энергоресурсов [8, 9].

1. Постановка задачи

Основной задачей исследования являлось выявление/определение параметров, влияющих на выработку электроэнергии ВЭС в зависимости от погодных условий. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) занимают важное место на повестке дня правительств различных стран, в том числе и правительства Российской Федерации. Ветряные электростанции вырабатывают максимальную мощность в периоды низких нагрузок ночью. Как правило, ВЭС следует выводить из эксплуатации в тех случаях, когда вырабатываемая ими мощность приводит к перегрузкам сети. С экономической точки зрения, выгодно производить электроэнергию в то время, когда её цены значительно превышают затраты на выработку, с учётом обслуживания станции. Хранение энергии предоставляет возможность для оптимального участия на рынке электроэнергии всех типов когенерационных установок — на ископаемом топливе и ВИЭ.

2. Теория и эксперименты

В связи с увеличением доли объектов на базе ВИЭ с периодической выработкой электроэнергии в энергобалансе прогнозирование их выработки будет приобретать все большее значение для надежности энергосистем [10]. В связи с развитием ВЭС, как наземных, так и морских, дальнейшее развитие прогнозирования системы должны быть направлены на:

- повышение точности прогнозов для соответствующего сокращения объёма резервных мощностей [5];
- внедрение методов прогнозирования в распределительных сетях для своевременного распознавания критических режимов;
- внедрение систем прогнозирования с возрастающей ролью обмена данными между магистральными и распределительными сетями/

Инструменты прогнозирования разрабатываются и внедряются с 2000 года, на данный момент наиболее популярными являются методы прогнозирования с использованием искусственной нейронной сети [11, 12]. Для оценки возможности прогнозирования, необходимо предварительно обработать данные. В качестве исходных данных авторами были взяты в сети Интернет данные о выработке электроэнергии ВЭС [13]. Исходные данные приведены в таблице 1.

Полученные данные состоят из 4256 строк и 6 столбцов, которые включают в себя:

- почасовую выработку электроэнергии (кВт/ч), полученные с помощью интеллектуального прибора учёта;

Таблица 1. Исходные данные выработки и метеорологических условий

N	Time stamp	System power generated, (kW)	Wind speed, (m/s)	Wind direction, (deg)	Pressure, (atm)	Air temperature, (°C)
1	Feb 1, 12:00 am	85.99	4.053	98	0.996237	17.863
2	Feb 1, 01:00 am	145.372	4.538	114	0.999297	17.863
3	Feb 1, 02:00 am	152.019	4.597	144	0.996533	17.863
4	Feb 1, 03:00 am	280.383	5.467	158	0.996829	17.863
5	Feb 1, 04:00 am	188.237	4.894	165	0.996632	17.563
...
4252	Jul 28, 03:00 am	112.625	4.32	179	0.993959	26.963
4253	Jul 28, 04:00 am	122.101	4.399	196	0.992775	26.663
4254	Jul 28, 05:00 am	32.4379	3.45	185	0.992281	26.463
4255	Jul 28, 06:00 am	2.818	2.818	192	0.992677	25.913
4256	Jul 28, 07:00 am	2.185	2.185	168	0.993072	25.363

- ретроспективные метеорологические данные о скорости и направлении ветра, температуре и давлении воздуха.

Ветрогенерация обладает свойством непостоянности, это было проверено визуально в сравнении показателей выработки электроэнергии за четыре недели и шести месяцев. Непостоянство выработки электроэнергии отображены на рис. 1 и рис. 2.

Показанные графики на рис. 1 и рис. 2 подтверждают то, что выработка ветроэлектроэнергии имеет свойство непостоянности. Для определения возможности прогнозирования выработки электроэнергии, был проведён анализ полученных данных, который включает в себя два этапа:

- визуальный анализ данных;
- расчёт оценки корреляционных зависимостей.

Авторы провели визуальный анализ данных по выработке электроэнергии, анализ приведён на рис. 3.

График показывает, что 6 февраля имеется высокая мощность выработки электроэнергии. В то время как в другие дни увеличение выработки начинается после 11 часов утра, либо повышается незначительно.

На рис. 4 отображается визуальный анализ данных скорости ветра.

Как можно заметить из данного графика, что 6 февраля скорость ветра значительно больше, чем в другие дни. Также видно, что скорость ветра примерно на одном уровне до 11 часов утра, далее идёт повышение скорости ветра. Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод, что имеется зависимость между скоростью ветра и выработкой электроэнергии ВЭС.

Также авторами были решено проверить визуально остальные параметры,

такие как температура и давление воздуха, графики приведены на рис. 5 и рис. 6.

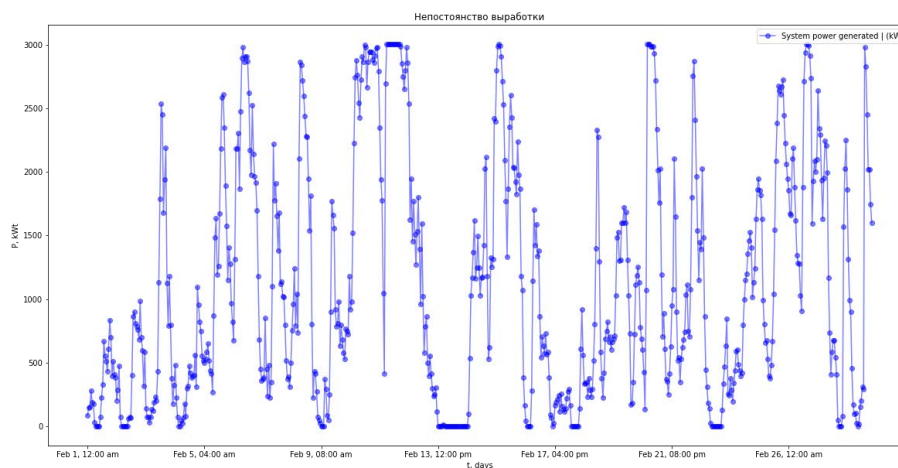


Рис. 1. Непостоянство выработки в течении четырех недель

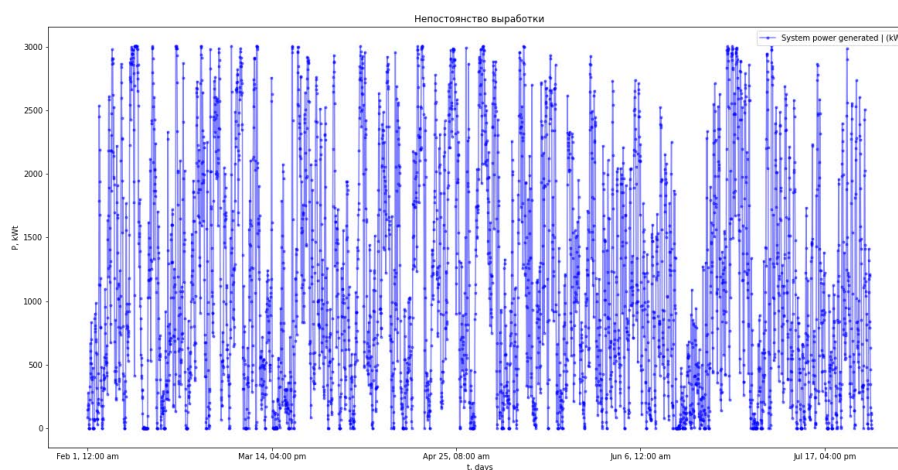


Рис. 2. Непостоянство выработки в течении шести месяцев

Как можно увидеть из данной корреляционной матрицы, что имеется сильная корреляция между скоростью ветра и выработкой электроэнергии. Также имеется небольшая отрицательная зависимость между давлением и температурой воздуха. Из этого можно сделать вывод о том, что выработка электроэнергии ВЭС имеет сильную зависимость от скорости ветра.

Для наглядности авторами были составлены графики выявленных зависимостей, приведённые на рисунках 8 и 9.

Как можно увидеть из графиков, данные параметры не сильно влияют на выработку электроэнергии или на скорость ветра, но между собой имеют небольшую обратную зависимость. Для более точного анализа данных, был проведён

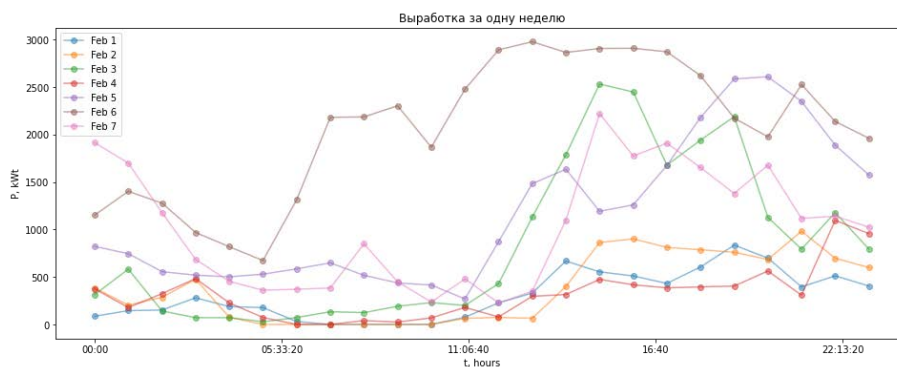


Рис. 3. Выработка электроэнергии ВЭС за 1-7 февраля

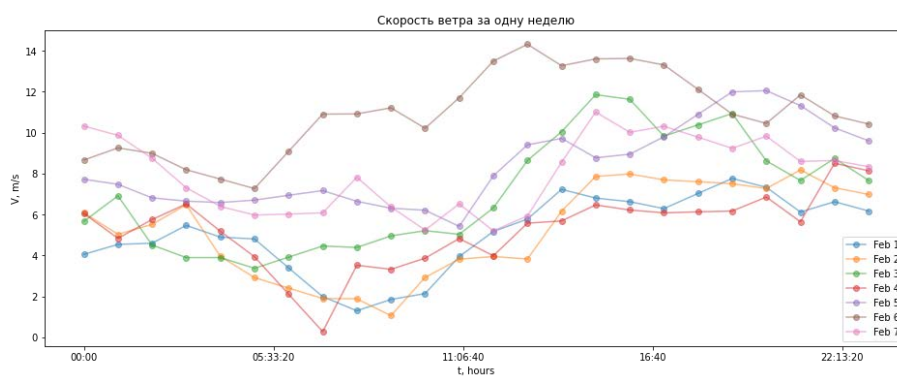


Рис. 4. Скорость ветра за 1-7 февраля

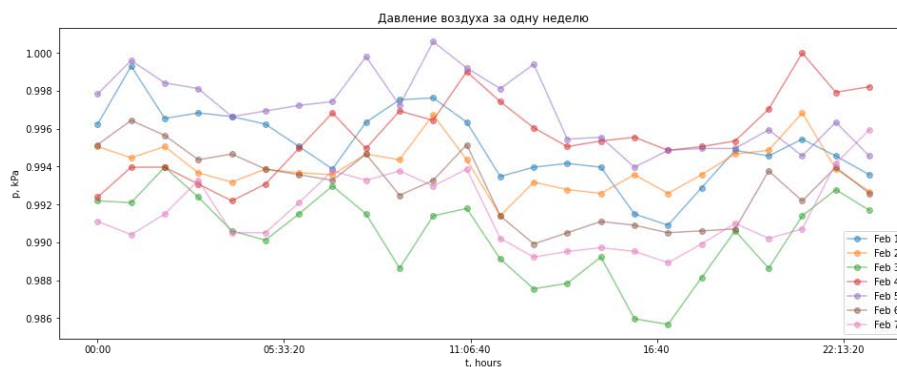


Рис. 5. Давление воздуха за 1-7 февраля

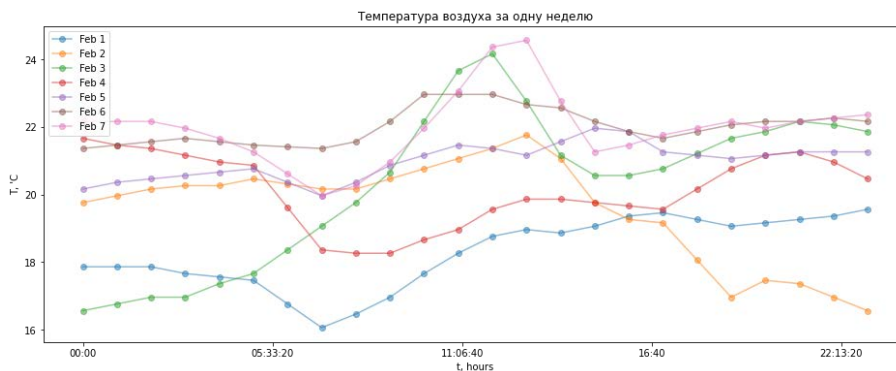


Рис. 6. Температура воздуха за 1-7 февраля

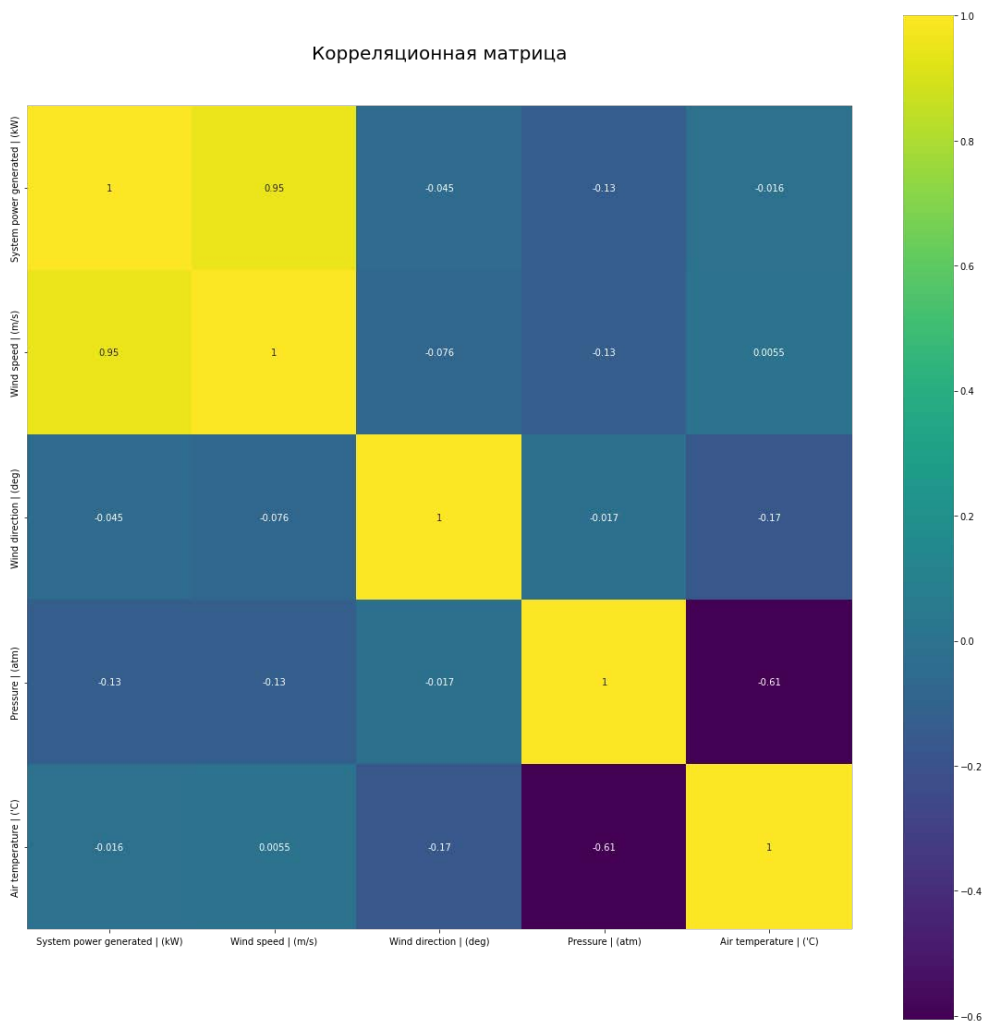


Рис. 7. Корреляционная матрица

расчёт коэффициентов корреляционной зависимости. Корреляционная матрица приведена на рис. 7.

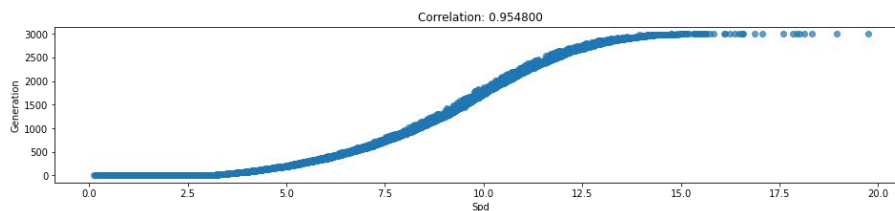


Рис. 8. График зависимости выработки электроэнергии ВЭС от скорости ветра

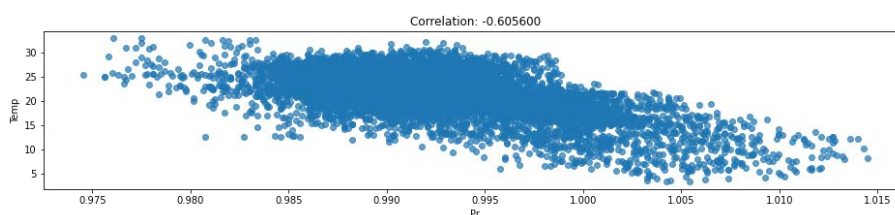


Рис. 9. График зависимости температуры воздуха от давления воздуха

Рисунок 8 демонстрирует зависимость между выработкой электроэнергии ВЭС и скоростью ветра. При возрастании скорости ветра, возрастает выработка электроэнергии. Рисунок 9 отображает небольшую отрицательную зависимость между температурой и давлением воздуха.

Заключение

В представленной работе была изложена актуальность направления исследований авторов. Проведён анализ набора данных о выработке электроэнергии ВЭС и метеорологических данных из местоположения ВЭС. Данные были представлены в виде почасовой записи.

Результатом представленной работы является выявление факторов, влияющих на выработку электроэнергии ВЭС и расчёт коэффициентов корреляции параметров. Также было установлено, что существенным недостатком ветроэнергетики является нестабильность вырабатываемой мощности. Существует высокая корреляция между выработкой электроэнергии и метеорологическими параметрами. Следовательно, из чего можно сделать вывод, что выработка электроэнергии ВЭС имеет высокую зависимость от показателя скорости ветра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисова Л.А. Модели и методы проектирования систем управления объектами с переменными параметрами. Омск : Омский государственный технический университет, 2014. 168 с.

2. Manwell J.F., Mc Gowan J.G., Rogers A.L. Wind energy explained: theory, design and application. 2nd edition, Wiley, England, 2009.
3. Бухгольц Б.М., Стычински З.А. Smart Grids — основы и технологии энергосистем будущего. М. : МЭИ, 2017. 460 с.
4. Shanker T., Singh R.K. Wind energy conversion system. A review Students Conf. on Engineering and Systems (SCES). 2012. P. 1–6. doi: 10.1109/SCES.2012.6199044
5. Khamitov R.N., Gritsai A.S., Tyunkov D.A., Dugin D.D., Sinitin G.E. On the method for constructing a training sample in the problems of short-term prediction of electric consumption taking into account the criteria of information and compactness // Industrial Energy. 2017. No. 8. P. 23-28
6. Денисова Л.А. Математическая модель цифровой системы регулирования с переменными параметрами // Автоматизация в промышленности. 2011. № 9. С. 45–48.
7. Хомутов С.О., Хамитов Р.Н., Грицай А.С., Серебряков Н.А. Методика формирования обучающей выборки в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления гарантирующего поставщика // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 227–233.
8. О методе построения обучающей выборки в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления с учётом критериев информативности и компактности / Р.Н. Хамитов, А.С. Грицай, Д.А. Тюньков [и др.] // Промышленная энергетика. 2017. № 8. С. 23–28.
9. Потапов В.И., Грицай А.С., Тюньков Д.А., Синицин Г.Э. Использование нейронной сети для построения краткосрочного прогноза электропотребления ООО «Омская энергосбытовая компания» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 8. С. 44–51.
10. Bundesnetzagentur: Annual report about security of supply
URL: http://www.bundesnetzagentur.de/cln1911/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Untemehmen_Institutionen/VersorgungssicherheitStromnetze/Versorgungsqualit\%C3\%A4t/Versorgungsqualit\%C3\%A4t-node.html (дата обращения: 01.06.2022).
11. Tyunkov D.A., Gritsai A.S., Rodionov V.S., Sapilova A.A., Blokhin A.V., Paltseva N.A. A neural network model for short-term PV — energy forecasting // Journal of Physics: Conf. Series. 2020. V. 1546.
12. О методе построения обучающей выборки в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления с учетом критериев информативности и компактности / Р.Н. Хамитов, А.С. Грицай, Д.А. Тюньков [и др.] // Промышленная энергетика. 2017. № 8. С. 23–28.
13. Kaggle: Your home for Data Science. URL: <https://www.kaggle.com/pravdomirdobrev/texas-wind-turbine-dataset-simulated?select=TexasTurbine.csv> (дата обращения: 01.06.2022).

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF WIND FARMS AND WEATHER CONDITIONS AFFECTING ENERGY GENERATION

A.Y. Gorshenin¹

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: augomgtu@gmail.com

A.V. Blokhin¹

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: sasha_bloh@mail.ru

I.O. Shchuka²

PhD (Eng.), associate professor of the Faculty of Full-time Department, e-mail: oat-schuka@mail.ru

¹Omsk State Technical University, Omsk, Russia

²Siberian Institute of Business and Information Technologies, Omsk, Russia

Abstract. The characteristics of wind power plants as sources of renewable energy are investigated. The main types of wind power plants, differing in design parameters and operating modes, are considered. Design features of wind power plants are considered. The shortcomings of wind energy are revealed. The issue of wind power generation variability is investigated based on wind power generation data. Graphs of data on power generation and meteorological conditions are obtained, and the relationship between them is revealed. Correlation dependence coefficients are calculated.

Keywords: forecasting, energy generation, data, wind farm.

Дата поступления в редакцию: 06.06.2022