

УДК 620.92

Екатерина Витальевна Зиновьева

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций, Россия, Иваново, телефон (4932) 26-99-31, e-mail: zinoveva.ev@mail.ru

Евгений Витальевич Барочкин

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций, Россия, Иваново, телефон (4932) 26-99-31, e-mail: admin@tes.ispu.ru

Анализ перспективы внедрения объектов ветроэнергетики в энергокомплекс Ивановской области

Авторское резюме

Состояние вопроса. Процесс декарбонизации – ключевая тенденция в развитии современной электроэнергетики. В соответствии с мировыми соглашениями (Парижское соглашение, Европейский закон о климате), Российская Федерация также принимает участие в подобных мероприятиях (Климатическая доктрина Российской Федерации). В России возобновляемые источники энергии уже являются неотъемлемой частью энергосистемы. Одной из наиболее динамично развивающихся отраслей «зеленой энергетики» является ветроэнергетика. Определение целесообразности установки ветрогенераторов – многоэтапный процесс, первым шагом которого является ветромониторинг места строительства, по завершении которого делается заключение о возможности установки ветрогенераторов в регионе.

Материалы и методы. При оценке возможности включения объектов ветроэнергетики в энергокомплекс Ивановской области проведен анализ характеристик ветроэнергетического кадастра региона. Расчет и анализ параметров ветрового режима проведен по данным метеостанций региона за 10-летний период наблюдений. Сравнительный анализ среднегодовых скоростей и направлений ветра проведен по данным метеостанций за период 1950–2024 гг.

Результаты. На основе многолетних данных метеостанций Ивановской области построен внутригодовой ход среднемесячных скоростей ветра, смоделированы вертикальные профили средней скорости ветра в слое атмосферы 10–100 м от поверхности земли, рассчитаны и проанализированы повторяемости скоростей ветра по градициям на разных высотах приземного слоя. Рассмотрены изменения направления ветра в зависимости от сезона. Произведена оценка наличия штилевой погоды в регионе. Проанализирован температурный режим. Рассчитана и проанализирована динамика изменения скорости и направления ветра в области за период 1950–2024 гг. Выявлена устойчивая тенденция снижения среднегодовых скоростей ветра региона и увеличение доли штилевой погоды.

Выводы. Анализ данных по скорости ветра в Ивановской области говорит о нецелесообразности использования ветрогенераторов в промышленном масштабе. Установка ветрогенераторов небольшой мощности, используемых для фермерских хозяйств или небольших предприятий, возможна.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроэнергетическая установка, ветропотенциал, метеоданные, профиль скорости ветра, повторяемость скоростей ветра

Ekaterina Vitalievna Zinovieva

Ivanovo State Power Engineering University, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor of Thermal Power Plants Department, Russia, Ivanovo, telephone (4932) 26-99-31, e-mail: zinoveva.ev@mail.ru

Evgeny Vitalievich Barochkin

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences (Postdoctoral degree), Professor of Thermal Power Plants Department, Russia, Ivanovo, telephone (4932) 26-99-31, e-mail: admin@tes.ispu.ru

Analyzing the prospects of introducing wind power facilities into energy complex of the Ivanovo region

Abstract

Background. The decarbonization process is a key trend in the development of the modern electric power industry. In accordance with the world agreements (Paris Agreement, European Climate Law) the Russian Federation also participates in such events (Climate Doctrine of the Russian Federation). In Russia, renewable energy sources are already an integral part of the energy system. One of the most dynamically developing branches of 'green energy' is wind power. Determination of the feasibility of installing wind turbines is a multi-step process. The first step is wind monitoring at the construction site, upon completion of which a conclusion is made on the feasibility of installing wind turbines in the region.

Materials and methods. When assessing the possibility of including wind energy facilities into the energy complex Ivanovo region, the characteristics of the wind energy cadastre of the region have been analyzed. Wind regime parameters have been calculated and analyzed using data of meteorological stations in the region for a 10-year period. Comparative analysis of average annual wind speeds and directions has been carried out according to the data of meteorological stations for the period of 1950–2024.

Results. On the basis of long-term data of meteorological stations in the Ivanovo region, an annual course of average wind speeds is obtained, vertical profiles of the average wind speed in the atmosphere layer of 10–100 m above the ground surface are modeled, the repeatability of wind speeds by gradations at different heights of the surface layer is calculated and analyzed. Changes of wind direction depending on the season have been considered. The possibility of calm weather in the region is assessed. The temperature regime is analyzed. The dynamics of wind speed and direction changes in the region for the period of 1950–2024 has been calculated and analyzed. The steady tendency of decrease of average annual wind speeds of the region and increase of the share of calm weather has been revealed.

Conclusions. Low wind speeds in the Ivanovo region indicate that it is inexpedient to use wind turbines industrially. Installation of small capacity wind turbines used for farms or small enterprises is possible.

Key words: wind energy, wind turbines, wind potential, meteorological data, wind speed profile, wind speed repeatability

DOI: 10.17588/2072-2672.2025.5.020-027

Введение. В соответствии с экологической повесткой нового тысячелетия, в Парижском соглашении от 2016 года, объединившим около 200 стран, отражено стремление государств к уменьшению выбросов парниковых газов¹. Страны-участники соглашения должны снижать долю предприятий с большими объемами таких выбросов, что привело к развороту энергетики всего мира к «зеленым» источникам энергии [1, 2].

Ветровая и солнечная генерация является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей нетрадиционной энергетики. За десять месяцев 2024 г. лидирующие позиции по выработке электроэнергии объектами солнечной и ветрогенерации заняли Китай (1438,42 млрд кВт·ч), США (614,49 млрд кВт·ч) и Индия (194,56 млрд кВт·ч)². Причем, согласно данным, опубликованным Global Wind Energy Council (Глобальный совет по ветроэнергетике с участием более 80 стран) в отчете Global wind report 2024, совокупная мощность ветрогенерации превысила 1 ТВт: выработка установок, расположенных на суше, составила 945,6 ГВт, а на море – 75,2 ГВт³.

В Российской Федерации развитие нетрадиционной энергетики происходит не столь динамично. В соответствии с данными Ассоциации развития возобновляемой энергетики (по состоянию на 01.08.2025 г.), совокупная установленная мощность объектов ВИЭ-генерации (ВИЭ – возобновляемые источники энергии) в энергосистеме России составила 6,64 ГВт, из них: 2,57 ГВт приходится на ветровые электростанции (ВЭС); 2,55 ГВт – на солнечные электростанции

(СЭС); 1,31 ГВт – на малые гидроэлектростанции мощностью до 50 МВт⁴.

Анализ структуры установленной мощности электростанций ЕЭС России и объединенных энергосистем на 01.08.2025 г. показывает, что доля установленной мощности объектов ВИЭ-генерации в энергосистеме РФ составляет 2,61 % от общей выработки всех объединенных энергосистем⁴. Однако в Объединенной энергетической системе (ОЭС) Юга России эта доля составляет: по ВЭС – 8,04 %, по СЭС – 4,03 %. По данным РАО ЕЭС, в РФ лидирующим направлением «зеленой» энергетики, так же как и в мире, является ветроэнергетика⁵.

В целях развития данной отрасли введена государственная программа поддержки развития возобновляемой энергетики ДПМ ВИЭ 2.0 (2025–2035 гг.), согласно которой, к 2035 г. планируется увеличение количества ввода установок на основе ВИЭ-генерации в объеме более 6 ГВт⁶.

Наиболее благоприятными районами для размещения ветроэнергетических установок (ВЭУ) любого назначения считаются регионы со среднегодовой скоростью ветра от 6 м/с и выше [3].

При выборе площадки для строительства объекта ветрогенерации проводится анализ, учитывающий основные факторы, такие как наличие ветровых и земельных ресурсов, климатические особенности региона, рельеф местности, доступность и состояние электрической инфраструктуры.

Установка ветрогенераторов в менее благоприятных регионах требует расширенных

¹ Парижское соглашение [Электронный ресурс]. – URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf

² Ежеквартальный информационный обзор рынка ВИЭ в России IV квартал 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://eprussia.ru/upload/iblock/9cc/snm9ymmqi218rh056esgalfceb8eva/202502_RREDA_quartely_report_q_4_2024.pdf

³ GWEC GLOBAL WIND REPORT 2024. Brussels, Belgium, GWEC, 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://img.saurenergy.com/2024/05/gwr-2024_digital-version_final-1-compressed.pdf

⁴ АРВЭ. Статистика ВИЭ [Электронный ресурс]. URL: <https://rreda.ru/industry/statistics/>

⁵ Отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году (на основе оперативных данных) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2024/ups_rep2023.pdf

⁶ АРВЭ Конкурсные отборы инвестиционных проектов ВИЭ [Электронный ресурс]. – URL: <https://rreda.ru/industry/competitive-selection/>

предварительных расчетов по ожидаемой выработке энергии.

Одной из основных характеристик, определяющих энергетическую ценность ветра, является его скорость. Для определения скорости ветра используют данные ветрового кадастра – систематизированного свода сведений, характеризующего ветровые условия местности.

Методы исследования. Для эффективного использования ветропотенциала в первую очередь необходимо иметь точную информацию о метеоусловиях места установки ВЭУ. Для этого на начальных этапах исследований проводится анализ метеоданных местности. В качестве источника информации берутся многолетние архивные данные метеостанций. По полученным данным определяется среднегодовая скорость ветра и роза ветров в районе строительства ветропарка.

Метеостанции ведут систематические наблюдения за скоростью ветра. Измерение скорости ветра на метеостанциях проводится ежедневно, каждые три часа в течение суток.

Первичная обработка информации о скорости ветра выполняется по следующим формулам [3, 4]:

$$v_{Gi} = \frac{\sum_{j=1}^J v_{Mij}}{J}, \quad (1)$$

где v_{Gi} – среднегодовая скорость ветра i -го года, м/с; J – число месяцев в году, шт.; v_{Mij} – среднемесячная скорость ветра i -го года, j -го месяца, м/с;

$$v_{Mij} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L v_{jni}}{NL}, \quad (2)$$

где N – количество дней в месяце, шт.; L – число замеров скорости ветра в сутки, шт.; v_{jni} – скорость ветра i -го замера n -х суток j -го месяца, м/с.

Такие усредненные значения скорости за длительный промежуток времени характеризуют ветер за определенный период времени.

Для оценки ветроэнергетической ценности конкретной местности необходимы данные о скоростях ветра на различных высотах в приземном слое.

При установившемся ветровом режиме скорость ветра возрастает с увеличением высоты от поверхности Земли.

Для оценки эффективности использования ветрового потока необходим расчет вертикального профиля скоростей ветра. Для его расчета могут использоваться как логарифмические зависимости

$$v(z) = v(z_r) \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)}, \quad (3)$$

так и показательные функции [3, 5]

$$v(z) = v(z_r) \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha, \quad (4)$$

где $V(z)$ – скорость ветра на произвольной высоте z , м/с; z – произвольная высота над поверхностью земли, м; $v(z_r)$ – скорость ветра на высоте флюгера z_r , м/с; z_r – определенная высота над поверхностью Земли (высота флюгера), м; z_0 – показатель шероховатости подстилающей поверхности, м (ГОСТ Р 54418.11-2017); α – степень сдвига ветра, зависящая от шероховатости подстилающей поверхности (степенной закон). Для стандартных классов ВЭУ нормальный профиль скорости ветра, в соответствии с ГОСТ Р 54418.1-1023, рекомендуется определять по степенному закону, принимая $\alpha = 0,2$.

Одной из основных характеристик ветроэнергетического кадастра является повторяемость скоростей ветра (вероятность скорости ветра по градациям), которая показывает повторяемость значений различных градаций скоростей ветра в процентах от общего числа случаев за рассматриваемый период на определенной высоте в конкретной местности.

Наиболее распространенным подходом для определения повторяемости скорости ветра по градациям является распределение Вейбулла, которое описывается следующими выражениями⁷:

– интегральная повторяемость

$$F(V_0) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{V_0}{C} \right)^k \right]; \quad (5)$$

– дифференциальная повторяемость

$$f(V_0) = \frac{k}{C} \left(\frac{V_0}{C} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V_0}{C} \right)^k \right], \quad (6)$$

где V_0 – предельное значение скорости ветра, м/с; C – параметр масштаба распределения Вейбулла; k – параметр формы распределения Вейбулла.

Наиболее достоверные результаты дает расчет повторяемости скорости ветра по фактическим данным метеостанций [3].

Для статистической обработки метеонаблюдений используется равенство [6, 7]

$$p_i = \frac{m_i}{n}, \quad (7)$$

где p_i – повторяемость скоростей в i -м интервале скорости; m_i – количество замеров скорости, относящихся к i -му интервалу; n – общее количество обрабатываемых наблюдений за рассматриваемый период времени.

⁷ ГОСТ Р 54418.1-2023 (МЭК 61400-1:2019) Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Ч. 1. Технические требования [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Data/821/82110.pdf>

Общая мгновенная мощность суммарного (полного) ветрового потока определяется по формуле⁸

$$N_n = \frac{1}{2} \rho S v^3, \quad (8)$$

где ρ – плотность воздуха при соответствующих значениях температуры окружающей среды и атмосферного давления, кг/м³; S – площадь сечения ветрового потока, м²; v – средняя скорость ветра, определяемая по данным метеонаблюдений, м/с.

Согласно (8), основное влияние на мощность ветрового потока оказывает скорость ветра. Однако, поскольку температурный диапазон регионов достаточно широк, не стоит исключать влияния плотности воздуха на итоговое значение мощности ветрового потока.

Результаты исследования. Ивановская область расположена в центре Восточно-Европейской равнины, в бассейне рек Волги и Клязьмы, такое физико-географическое расположение области оказывает существенное влияние на формирование ветрового режима региона [8, 9].

Обычно ВЭУ используют ветер на высоте 50–100 м от поверхности Земли (ветер в приземном слое), поэтому анализ движения воздушных потоков проводился именно на этих высотах.

Оценка ветрового потенциала и климатических особенностей Ивановской области проводилась на основе данных пяти метеостанций области (г. Иваново (№27347), г. Кинешма (№27346), г. Приволжск (№27344), г. Юрвец (№27355), г. Плес (№27441)) за период с 2014 по 2024 год⁹. Следует отметить, что измерения параметров на метеостанциях производятся каждые 3 часа. Следовательно, за 10-летний период метеонаблюдений формируется достаточный объем информации для анализа.

Так как значения скоростей ветра и его направления зависят от времени года, то расчет производился для каждого календарного месяца каждого года из 10-летнего периода исследований (2014–2024 гг.), после чего результаты расчетов усреднялись.

Анализ данных метеорологических станций рассматриваемого региона в виде первично обработанных статистических характеристик по измерению скоростей ветра в течение года за 10-летний период представлен на рис. 1.

Для расчета скорости ветра на определенной высоте использовалась степенная функция. Расчет производился для высот 50, 80 и 100 м. На рис. 2 представлены усредненные данные скоростей ветра по Ивановской области на разных высотах.

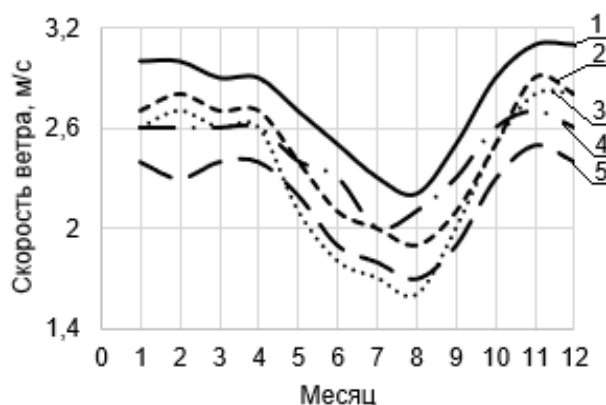


Рис. 1. Годовой ход среднемесячных скоростей за 10-летний период метеонаблюдений: 1 – метеостанция г. Иваново; 2 – метеостанция г. Пlesa; 3 – метеостанция г. Приволжска; 4 – метеостанция г. Юрвец; 5 – метеостанция г. Кинешмы

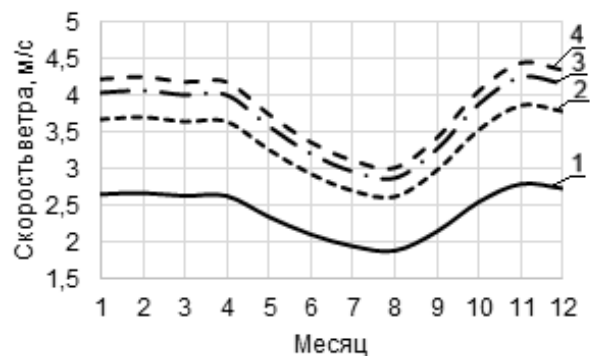


Рис. 2. Годовой ход среднемесячных скоростей за 10-летний период метеонаблюдений: 1 – на высоте 10 м; 2 – на высоте 50 м; 3 – на высоте 80 м; 4 – на высоте 100 м

Изучая метеоусловия региона, необходимо обратить внимание и на максимальные скорости ветров, которые также влияют на работу ветроустановок. Необходимо отметить, что максимальные скорости (порывы) ветра – это кратковременное возрастание скорости ветра по сравнению с ее средней величиной.

По данным метеонаблюдений, максимальные скорости ветра (порывы) в регионе составляют 11–23 м/с, осредненные показатели таких скоростей за 10-летний период представлены на рис. 3. Скорости, не превышающие 20 м/с, не являются критическими для работы ветроустановок, так как скорость ветра, при которой происходит отключение ветрогенератора от сети, составляет 20–25 м/с, в зависимости от заводских характеристик ВЭУ.

⁸ РД 52.04.275-89 Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок: методические указания. – Утв. Гос. комитетом СССР по гидрометеорологии / М.М. Борисенко [и др.]; Гос. комитет СССР по гидрометеорологии. – М.: Госкомгидромет, 1991. – 57 с.

⁹ Rp5.Ru URL: <https://rp5.ru/docs/about/ru>

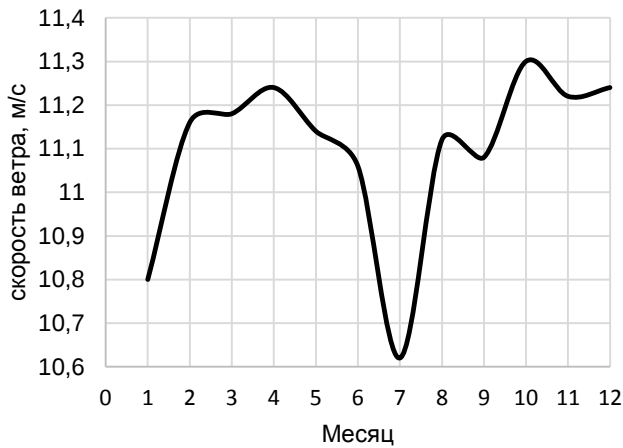


Рис. 3. График порывов ветра в Ивановской области за 10-летний период метеонаблюдений

Важнейшей характеристикой ветрового кадастра является повторяемость скоростей ветра по градациям. На рис. 4–7 показано распределение повторяемости скоростей ветра на разных высотах в процентах за 10-летний период наблюдений по Ивановской области.

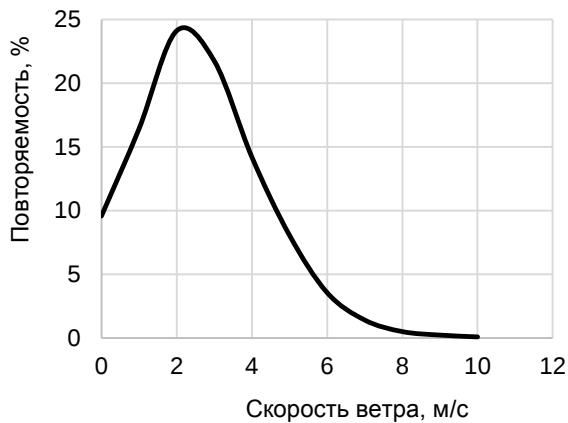


Рис. 4. Повторяемость скоростей ветра на высоте 10 м



Рис. 5. Повторяемость скоростей ветра на высоте 50 м



Рис. 6. Повторяемость скоростей ветра на высоте 80 м

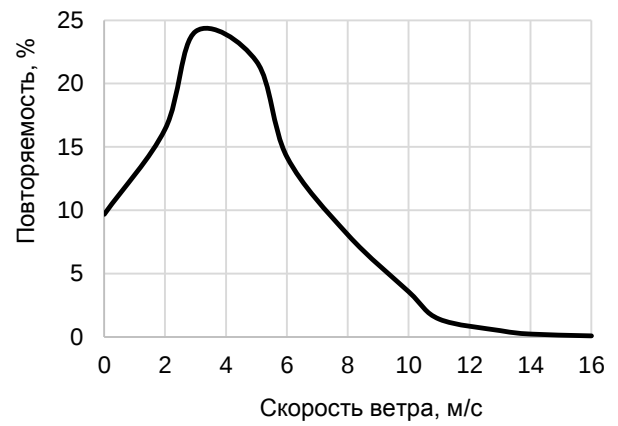


Рис. 7. Повторяемость скоростей ветра на высоте 100 м

Анализ изменения направлений ветров по Ивановской области за рассматриваемый период показал, что преобладающим направлением ветра в холодное время года является юго-западное, а в теплое – северо-западное (рис. 8–11).

В целом за год в Ивановской области преобладают южные ветры с повторяемостью 16 %, реже всего наблюдаются ветры северо-восточного направления с повторяемостью 4,5 %.

В течение всего периода метеонаблюдений ежегодно наблюдаются периоды затишья (штиль). Минимальное количество штилевой погоды наблюдается в зимний период, максимальное – в летний (рис. 12).

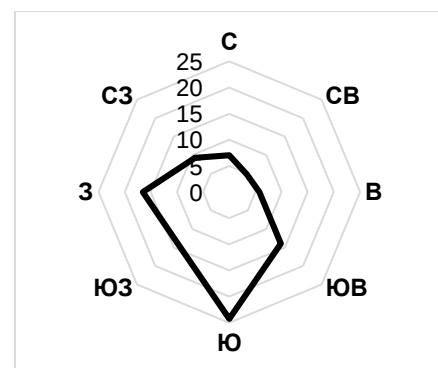


Рис. 8. Роза ветров (зима)

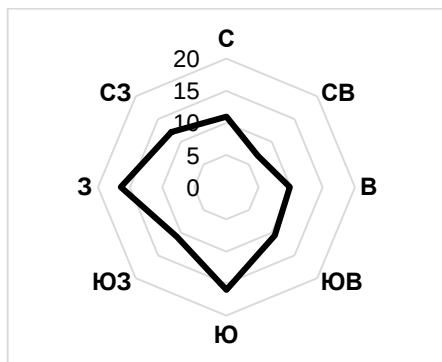


Рис. 9. Роза ветров (весна)

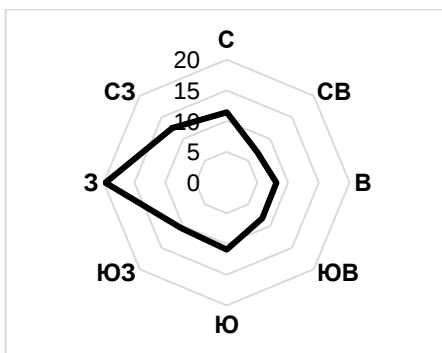


Рис. 10. Роза ветров (лето)

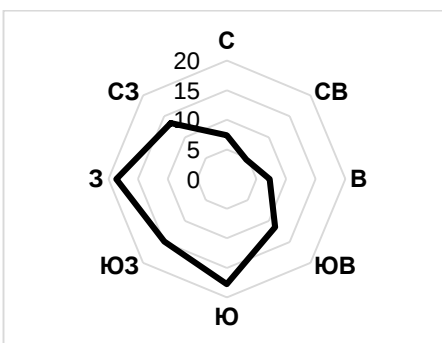


Рис. 11. Роза ветров (осень)

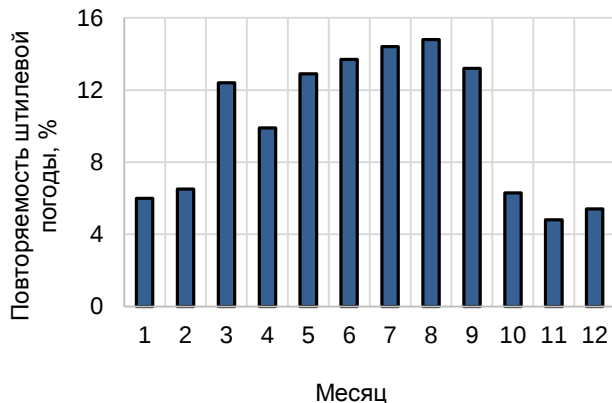


Рис. 12. Повторяемость штилевой погоды (Ивановская область)

Следует отметить, что эффективность работы ВЭУ снижается при низких температурах (-30°C – -45°C), поэтому был проанализирован температурный режим области (рис. 13).

Температура воздуха обратно пропорциональна его плотности, поэтому с понижением температуры растет удельная мощность ветрового потока за счет увеличения плотности воздуха.

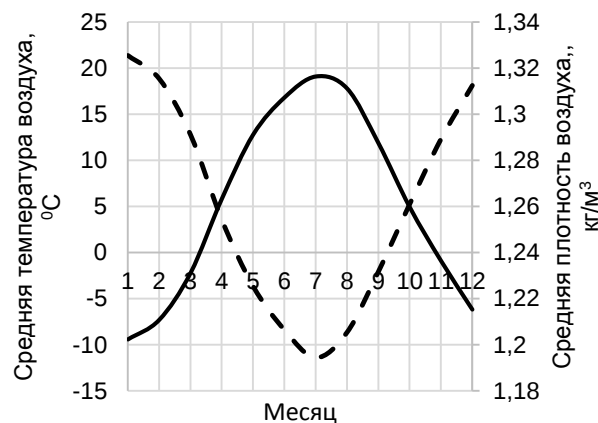


Рис. 13. Зависимость температуры и плотности воздуха на высоте флюгера от календарного месяца за 10-летний период метеонаблюдений (Ивановская область, 2014–2024 гг.)

При изучении ветропотенциала региона стоит обратить внимание на изменение скорости ветра за длительный период времени. Анализируя средние скорости ветра в период с 1950 по 2024 год, можно сказать, что в Ивановской области устойчиво сохраняется тенденция уменьшения средней скорости ветра (рис. 14)¹⁰ [10].



Рис. 14. Изменение средней годовой скорости ветра

За период 1950–2024 гг. средняя скорость ветра на территории Ивановской области составила около 3,4 м/с. Причем, если в 1950–1970-е годы среднегодовая скорость ветра составляла 4–4,2 м/с, то в 2020–2024-е годы она снизилась до 2,4 м/с. За рассматриваемый

¹⁰ Погодные сервисы [Электронный ресурс]. – URL: <http://pogoda-service.ru/>

период изменение средней годовой скорости ветра составило $-0,05 \div -0,955$ м/с/10 лет, исключение составляет период 1970–1979 гг., когда произошло увеличение средней годовой скорости на 0,23 м/с относительно предыдущего десятилетия.

Направление, со стороны которого чаще всего в регион приходит воздушный поток, практически не изменилось (рис. 15).

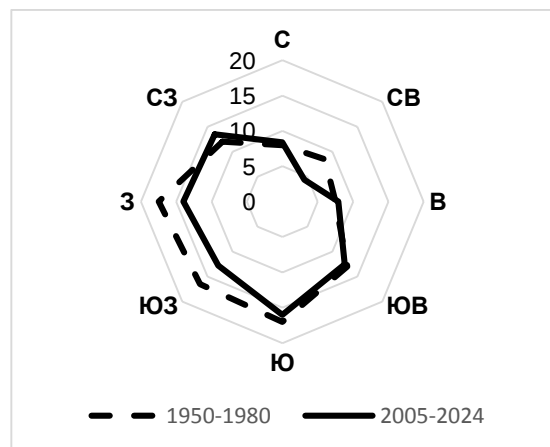


Рис. 15. Сравнение роз ветров за периоды наблюдений

В настоящее время процентное соотношение северо-западных, северо-восточных и юго-западных ветров немного изменилось относительно более раннего периода (рис. 15). Кроме того, увеличилось количество дней штилевой погоды (рис. 16).

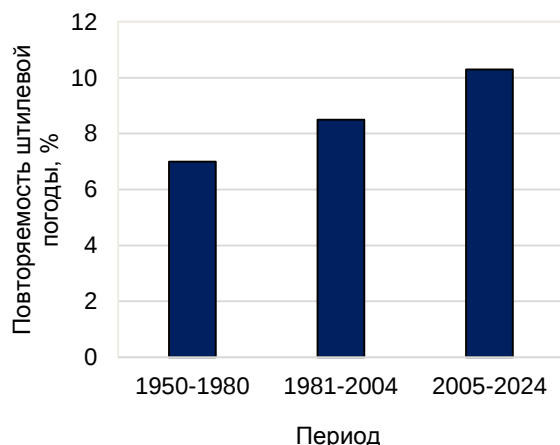


Рис. 16. Повторяемость штилевой погоды в рассматриваемые периоды

Анализ изменения температурного режима региона в период с 1950 по 2024 год показал тенденцию к увеличению среднемесячных и среднегодовых температур. Среднегодовая температура увеличилась с 3,25 до 5,25 °С.

Выводы. Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. В Ивановской области за последние 70 лет наблюдается устойчивая тенденция к снижению средних скоростей ветра во все сезоны года. В среднем снижение скорости за десятилетие составляет 0,22 м/с. А значит, можно предположить, что скорости ветра в регионе продолжат снижаться.

Полученные данные согласуются с обобщенными выводами по Центральному федеральному округу, подготовленными Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ)¹¹.

2. Средние скорости ветра по области без учета порывов ветра на высоте флюгера находятся в пределах 3 м/с, минимальные скорости наблюдаются в летний период и не превышают 2 м/с. В холодное время года скорости ветра увеличиваются до 3 м/с.

3. На высотах 80–100 м скорости ветра достигают значений 4–5 м/с. Следует отметить, что номинальную мощность промышленные ВЭУ достигают при скоростях ветра от 8–12 м/с. А значит, при таких условиях ветрогенераторы будут работать на минимальных мощностях, что является нецелесообразным.

4. При таких незначительных скоростях ветра можно говорить об использовании небольших горизонтально-осевых ВЭУ либо вертикально-осевых ветроустановках, работающих при более низких скоростях ветра.

5. Большая доля штилевой погоды в Ивановской области также говорит о нецелесообразности использования региона для установки промышленных ветрогенераторов.

Список литературы

1. Алиев Р.А., Захарчева К.С. Декарбонизация мировой экономики как фактор смены стратегий энергетических компаний в XXI в. / Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, кафедра международных комплексных проблем природопользования и экологии. – М.: МГИМО-Университет, 2021. – 175 с.
2. Актуальные вопросы декарбонизации. Ч. 1 / И.Н. Плотникова, С.А. Володин, Ю.Ю. Кочнева, А.Р. Салыхова; под науч. ред. М.Х. Салахова, М.С. Тагирова. – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ, 2021. – 56 с.
3. Безруких П.П., Безруких П.П. (мл.), Грибков С.В. Ветроэнергетика. – М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2014. – 304 с.
4. Ветроэнергетика Красноярского края / А.В. Бастрон, В.А. Тремясов, Н.В. Цугленок, А.В. Чебодаев; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – 252 с.
5. Заварина М.В. Расчетные скорости ветра на высотах нижнего слоя атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 162 с.
6. Дегтярев А.С., Драбенко В.А., Драбенко В.А. Статистические методы обработки метеорологической

¹¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. – М., 2025. – 139 с.

информации: учебник [Электронный ресурс]. – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом», 2015. – 225 с. – URL: http://elibrshu.ru/files_books/pdf/rid_3cd9b14d6de146f082034e50c59b383b.pdf

7. **Малинин В.Н.** Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник [Электронный ресурс]. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 408 с. – URL: http://elibrshu.ru/files_books/pdf/img-417184359.pdf

8. **Новичков Д.В.** Физическая география Ивановской области. – Шуя: Изд-во «Весть», 2003. – 156 с.

9. **Атлас** ресурсов возобновляемой энергии на территории России / Т.И. Андреев, Т.С. Габдерахманова, О.В. Данилова и др. – М.: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2015. – 160 с.

10. **Научно-прикладной справочник** по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 29: Кировская, Костромская, Ярославская, Ивановская, Владимирская, Горьковская, Рязанская области, Удмуртская, Марийская, Чувашская, Мордовская АССР. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 582 с.

References

1. Aliev, R., Zakharcheva, K. *Dekarbonizatsiya mirovoy ekonomiki kak faktor smeny strategiy energeticheskikh kompaniy v XXI v.* [Decarbonization of the world economy as a factor in changing energy company strategies in the 21st century]. Moscow: MGIMO-University, 2021. 175 p.

2. Plotnikova, I.N., Volodin, S.A., Kochneva, Yu.Yu., Salyakhova, A.R. *Aktual'nye voprosy dekarbonizatsii. Ch. 1* [Topical issues of decarbonization. Part 1]. Kazan': Izdatel'stvo «FEN» Akademii nauk RT, 2021. 56 p.

3. Bezrukh, P.P., Bezrukh, P.P. (ml.), Gribkov, S.V. *Vetroenergetika* [Wind power engineering]. Moscow: Intekhenergo-Izdat, Teploenergetik, 2014. 304 p.

4. Bastron, A.V., Tremyasov, V.A., Tsuglenok, N.V., Chebodaev, A.V. *Vetroenergetika Krasnoyarskogo kraya* [Wind energy of the Krasnoyarsk region]. Krasnoyarsk, 2015. 252 p.

5. Zavarina, M.V. *Raschetnye skorosti vetra na vysotakh nizhnego sloya atmosfery* [Estimated wind speeds at the heights of the lower layer of the atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 162 p.

6. Degtyarev, A.S., Drabenko, V.A., Drabenko, V.A. *Statisticheskie metody obrabotki meteorologicheskoy informatsii* [Statistical methods of meteorological information processing]. Saint-Petersburg: LLC «Andreevskiy izdatel'skiy dom», 2015. 225 c. Available at: http://elibrshu.ru/files_books/pdf/rid_3cd9b14d6de146f082034e50c59b383b.pdf

7. Malinin, V.N. *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii* [Statistical methods of analysis of hydrometeorological information]. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo RGGMU, 2008. 408 p. Available at: http://elibrshu.ru/files_books/pdf/img-417184359.pdf

8. Novichkov, D.V. *Fizicheskaya geografiya Ivanovskoy oblasti* [Physical geography of Ivanovo region]. Shuya: Izdatel'stvo «Vest'», 2003. 156 p.

9. Andreenko, T.I., Gabderakhmanova, T.S., Danilova, O.V. *Atlas resursov vozobnovlyаемой energii na territorii Rossii* [Atlas of Renewable Energy Resources in Russia]. Moscow: Rossiyskiy khimiko-tekhnologicheskii universitet im. D.I. Mendeleeva, 2015. 160 p.

10. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Ser. 3. Mnogoletnie dannye. Ch. 1–6. Vyp. 29: Kirovskaya, Kostromskaya, Yaroslavskaya, Ivanovskaya, Vladimirovskaya, Gor'kovskaya, Ryazanskaya oblasti, Udmurtskaya, Mariyskaya, Chuvashskaya, Mordovskaya ASSR* [Scientific and Applied Reference Book on Climate of the USSR. Series 3, Multiyear data. Parts 1–6. Issue 29: Kirov, Kostroma, Yaroslavl, Ivanovo, Vladimir, Gorky, Ryazan oblasts, Udmurt, Mari, Chuvash, Mordovian ASSR]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 582 p.