

УДК 551.55(470.66)

DOI: 10.34824/VKNIRAN.2022.11.3.001

**ОЦЕНКА РЕСУРСОВ И ПОТЕНЦИАЛА ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ
ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**© Гайсумов Малик Якубович (а), Бадаев Салавди Вахажиевич (b),
Дебиев Майрбек Вахаевич (с)**

- (а) Комплексный научно-исследовательский институт Российской академии наук имени Х.И. Ибрагимова, Российская Федерация, г. Грозный; лаборатория ветроэнергетики, в.н.с., к.г.-м.н., gro_ss@bk.ru
- (b) Комплексный научно-исследовательский институт Российской академии наук имени Х.И. Ибрагимова, Российская Федерация, г. Грозный; лаборатория ветроэнергетики, н.с., badaev_sv@mail.ru
- (с) Грозненский государственный нефтяной университет имени акад. М.Д.Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; кафедра электротехники, к.т.н., доцент, mair76@mail.ru

Аннотация. В статье приведены, краткий обзор развития ветроэнергетики в России и в мире, а также результаты уточнения ветрового потенциала территории Чеченской Республики. В целом территория республики относится к району со средним уровнем ветровой энергии, однако здесь имеется значительный ресурс ветровой энергии, который можно и нужно использовать.

Выполнены расчеты энергии ветра для различных климатических зон и проведена оценка валового, технического и экономического потенциалов. Отмечается возможность использования мощных (750-1000 кВт и более) ветроэнергетических установок (ВЭУ) на Затеречной равнине, где существуют наиболее благоприятные условия для их применения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, энергия и потенциал ветра, Чеченская Республика.

**ASSESSMENT OF WIND ENERGY RESOURCES AND POTENTIAL
CHECHEN REPUBLIC**

**© Gaisumov Malik Yakubovich (a), Badaev Salavdi Vakhadzhievich (b),
Debiev Mayrbek Vakhaevich (c)**

- (a) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; laboratory of wind energy, leading researcher, Ph.D., gro_ss@bk.ru
- (b) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; wind energy laboratory, researcher, badaev_sv@mail.ru

(c) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny; Department of Electrical Engineering, Ph.D., Associate Professor, mair76@mail.ru

Abstract. The article presents a brief overview of the development of wind power in Russia and in the world as well as the results of clarification and detailing of the wind potential of the territory of the Chechen Republic. In general, the territory of the republic refers to the area with an average wind energy level, however, there is a significant resource of wind energy, which can and should be used.

The wind energy calculations for various climatic zones and the gross, technical and economic potentials were evaluated. It is noted the possibility of using powerful (750-1000 kW and more) wind power plants (VEU) on the wrecked plain, where the most favorable conditions for their use exist.

Key words: Renewable energy sources, wind power, energy and wind potential, Chechen Republic.

1 Развитие ветроэнергетики в России и в мире

По данным исследований РАВИ (Российская ассоциация ветровой индустрии) к настоящему времени в мире построено ветроэлектростанций суммарной мощностью более 570 ГВт из них около 30 ГВт – на морском шельфе (офшорная, морская ветроэнергетика) [17].

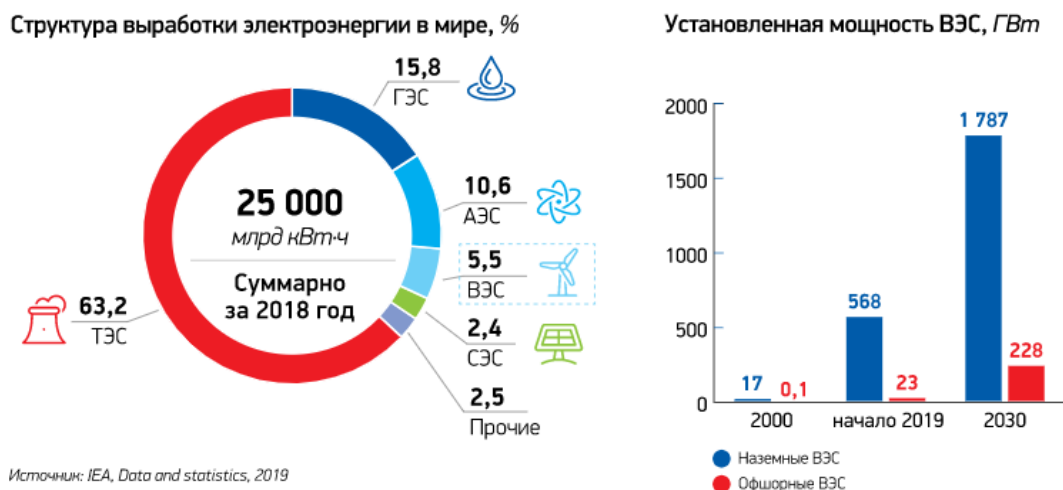


Рис. 1. Современное состояния развития ветроэнергетики в мире [18]

В структуре производства электроэнергии в мире ветроэнергетика занимает четвертое место, а по установленной мощности уже превышает мощности атомных электростанций [18].

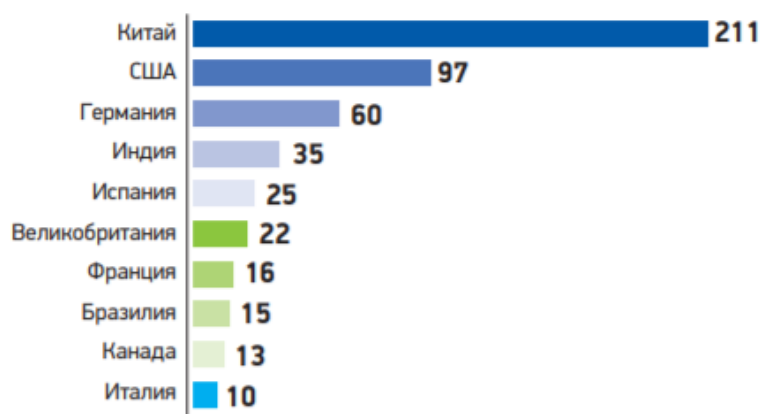


Рис.2. Установленная мощность ВЭС (в ГВт) в странах мира (по состоянию на 2020 г. [9])

Более 75% прироста мощностей ВЭС сформированы пятью крупнейшими рынками ветроэнергетики, это Китай, США, Германия, Индия и Испания.

Предполагается, что к 2024 г. установленная мощность ВЭС значительно возрастет и в натуральном выражении увеличится до 1 200 ГВт [7].

Европейская ассоциация ветроэнергетики Wind Europe опубликовала прогноз развития отрасли в Европе до 2023 года в котором представлен широкий диапазон развития от 67 ГВт до 112 ГВт в зависимости от разных сценариев. В базовом сценарии, европейская энергетика вырастет на 90 ГВт, а ее установленная мощность достигнет 277 ГВт. По прогнозу МЭА (Международное энергетическое агенство), ветроэнергетика станет крупнейшим производителем электричества в ЕС уже в 2027 году.

Согласно отчетам GWEC (Глобальный Совет Ветроэнергетики), к концу 2020 года объем прироста мощностей превысил 60 ГВт, а к 2022 году общее производство должно достичь 840 ГВт [5 -7, 18 и др.]. При этом себестоимость единицы установленной мощности вырабатываемой ВЭС сократилась в несколько раз. На фоне высоких цен на традиционные источники энергии, себестоимость солнечной и ветровой генерации к настоящему времени опустилась ниже генерации на ископаемых энергоресурсах. Во многих регионах мира возникают и быстро растут новые рынки централизованной и распределенной генерации на ВИЭ.

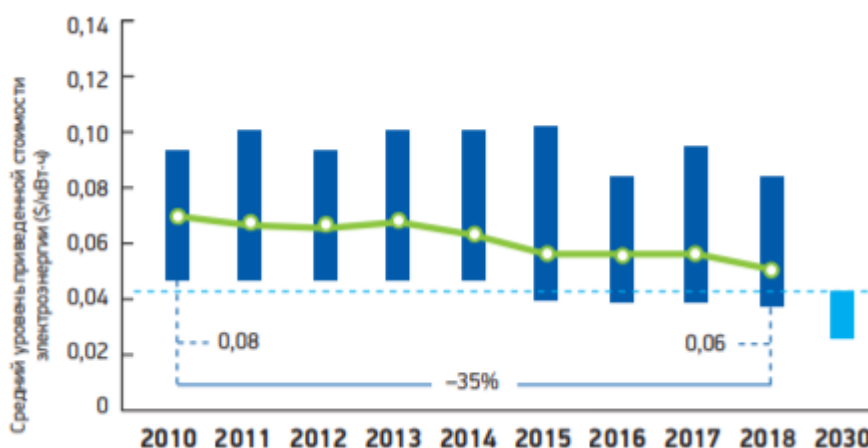


Рис. 3. Динамика приведенной стоимости электроэнергии (LCOE),

производимой ВЭС, \$/кВт·ч (по данным IRENA для 20 ведущих стран мира [5])

Предполагается что уже в 2021 году для наземной ветроэнергетики стоимость выработки составит менее — \$0,04 за 1 кВт·ч., что ниже эксплуатационных расходов угольных генерирующих мощностей [4].

Всего за пять лет рост ветроэнергетики примерно увеличился в 1,5 раза. Но надо отметить, что за последние несколько лет рост мощностей альтернативных источников, в том числе и ветроэнергетики несколько снизился по отношению 2018 годом. Наибольшее количество энергии, вырабатывают США, Дания, Уругвай, Испания и Германия.

По экспертным оценкам, на территории Российской Федерации, технический потенциал ветровой энергии оценивается свыше 6 000 млрд. кВт·ч/год [1] а экономический потенциал составляет примерно 31 млрд. кВт·ч/год.

Технический потенциал энергии ветра субъекта РФ на высоте 100 м над поверхностью земли (при расстановке ВЭУ по всей доступной территории субъекта)

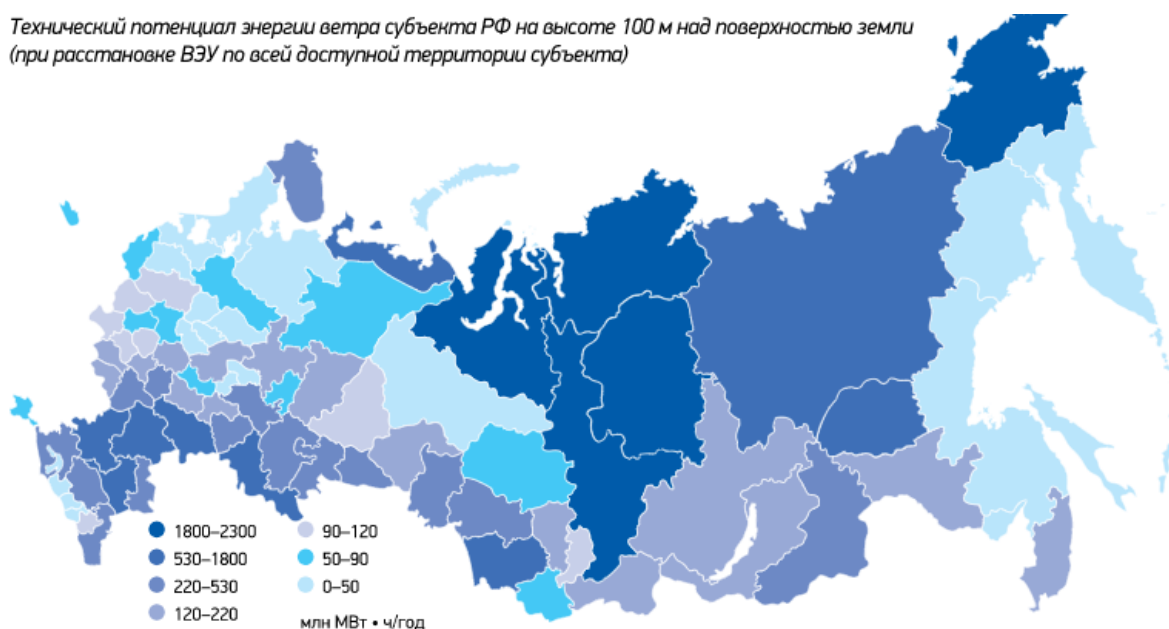


Рис. 4. Ветроэнергетический потенциал территории Российской федерации (Атлас ресурсов ..., 2015)

Необходимо также учитывать и изменения климата, что повлечет за собой и изменения ветроэнергетического потенциала. Так согласно "Материалам к стратегическому прогнозу изменений климата РФ на период до 2030 г. и их влияния на отрасли экономики", подготовленным Росгидрометом, к 2030 г. на территории Северного Кавказа (Чеченская республика, Республика Дагестан, Ставропольский край), ветровые нагрузки возрастут в 1.2 раза.

За последние годы внедрение ветроэнергетических мощностей в России происходит достаточно быстрыми темпами, ввод мощностей составляет более 500 МВт в год [17]. К настоящему моменту на территории России построено более 20 крупных ветропарков на долю которых приходится около 95% суммарной мощности ВЭС. По состоянию на 2021 год введено строй и действует более 600 ВЭУ с установленной мощностью более 100 кВт каждая [14]. Всего в России помимо крупных проектов также работают более 1600 малых ВЭУ, с мощностью от 0.1 до 30 кВт [4].

Одним из ведущих лидеров по развитию ветроэнергетики в России является Ростовская область, здесь заканчивается строительство нескольких ВЭС совокупной мощностью 800 МВт. В случае полной реализации этих проектов к концу 2021 года здесь будет производиться свыше 25% от всей выработки ВЭС России [8].

В Ставропольском крае введены в строй мощности Кочубеевской ВЭС 210 МВт со среднегодовой выработкой порядка 490-510 млн кВт·ч. В перспективе до 2023 года планируется нарастить мощности до 400 мегаватт. Управляющая компания «Ветроэнергетика» года построит в регионе ветропарки общей мощностью до 500 МВт в Андроповском и Кочубеевском районах края. В Целинном районе Калмыкии введены в промышленную эксплуатацию Салынская и Целинская ВЭС, с суммарной мощностью 200 МВт [14, 16, 17].

В настоящее время, целом по югу России с использованием ВЭС вырабатывается до 20 млрд. кВт·ч в год.

2 Характеристика режима и ветровых параметров территории

Территория Чеченской Республики относится к району со средним уровнем ветровой энергии. Характерной особенностью ветровой обстановки является неравномерность распределения скорости ветра по территории и интенсивности в различные периоды года [9, 10, 11 и др.].

Большое разнообразие форм рельефа сказывается и на распределении повторяемости направлений ветров. В замкнутых котловинах и у склонов гор наблюдается наибольшая повторяемость штилей - 44-58%; в предгорных и горных районах - до 30%.

Средняя годовая скорость ветра изменяется в довольно широких пределах - от 0,8 до 6,0 м/сек. Годовой ход скорости ветра определяется годовым ходом атмосферной циркуляции. Наиболее сильные ветры наблюдаются в высокогорных районах в открытых формах рельефа и там, где орографические факторы способствуют увеличению барических градиентов и приводят к сходимости воздушных потоков. Средняя годовая скорость ветра в этих районах достигает 5 - 6 м/сек, на открытых равнинах и в широких долинах - несколько ниже и составляет 3 - 4 м/сек, в предгорьях - до 3, в замкнутых котловинах и в низинных южных районах не превышает 1 - 2 м/сек. [11]. В качестве исходных использованы выборочные данные средне-многолетних характеристик ветра из научно-прикладных справочников «Климат России», Ч.4 – ветер и справочника по климату СССР [12, 13].

Таблица 1

Повторяемость направления ветра и штилей (%) [11]

| Населенные пункты | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | Штиль |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| Наурская | 4 | 8 | 31 | 6 | 2 | 4 | 32 | 13 | 18 |
| Шелковская | 4 | 8 | 30 | 9 | 3 | 14 | 24 | 8 | 11 |
| Грозный | 5 | 11 | 26 | 5 | 4 | 8 | 17 | 24 | 48 |
| Серноводская | 4 | 6 | 22 | 8 | 2 | 8 | 37 | 13 | 12 |
| Урус-Мартан | 13 | 14 | 8 | 5 | 19 | 19 | 13 | 9 | 35 |
| Ведено | 8 | 10 | 25 | 13 | 1 | 4 | 27 | 12 | 24 |
| Шатой | 30 | 34 | 8 | 7 | 11 | 4 | 2 | 4 | 22 |

По материалам таблицы можно сделать вывод, что на Терско-Кумской равнине, Терско-Сунженской возвышенности, Чеченской равнине, в восточной горной части (Ведено) территории республики преобладают ветры западных и восточных румбов, причем в большей степени – ветры западного направления.

В годовом ходе наибольшая скорость ветра, как правило, отмечается весной или зимой при усилении циклонической деятельности, наименьшая - летом и осенью. Как показывают наблюдения, наибольшую повторяемость в большинстве районов имеет ветер скоростью 1 - 5 м/сек (70 - 90 %). Скорости ветра больше 10 м/сек редки и их повторяемость не превышает 10 %. В долинах и котловинах наблюдается в среднем 5 - 15 дней в году с сильным ветром. В отдельных формах рельефа на большой высоте и в местах сужения долин число дней с сильным ветром достигает 20-30.

Преобладание западных ветров над восточными характерно для летних месяцев. В ст. Серноводской, г. Гудермесе западные ветры преобладают в течение всего года [10].

Повторяемость направлений ветра. На ветровой режим наклонной равнины вблизи гор, оказывают влияние ветры типа горно-долинных. Здесь преобладают ветры северных (36%) и южных (45%) румбов. Амплитуда повторяемости северных ветров колеблется в пределах 8-17 %. Уменьшение повторяемости северных ветров приходится на летние месяцы (июнь – 8 %). Повышение повторяемости ветров северного направления наблюдается в феврале-марте, с вершиной большего значения (17%) в марте. Ветры южных направлений имеют два спада, приходящиеся на весну и осень. Причем, глубина амплитуды опускается (8%) в апреле месяце. Гребни амплитуд имеют максимальные значения в июне – августе (июнь – 23 %), зимой – в ноябре-феврале (декабрь – 24 %) [11].

В основном, преобладают северные долинные ветры, дующие со стороны Чеченской наклонной равнины. Годовая повторяемость направления северных ветров составляет 30%, северо-восточных – 34 %, северо-западных – всего 4 %. Южные ветры составляют 11 %, но по сравнению с восточными и, тем более, с западными.

Штилевое состояние воздушных масс характерно для населенных пунктов Чеченской равнины и межгорных котловин. Грозный имеет самый высокий годовой процентный показатель штиля – 48, а наименьший – Гудермес, где количество дней со штилем составляет всего 4 процента. Это самая ветровая местность в республике. В северной открытой плоскостной части территории республики, где воздушные массы не встречают препятствий, скорость ветра достигает максимума.

Таблица 2

Средне-многолетние месячная и годовая скорости ветра (м/с)

| Пункт | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год |
|--------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Наурская | 2.1 | 2.5 | 2.9 | 3.2 | 2.8 | 2.9 | 2.7 | 2.5 | 2.2 | 2.2 | 2.4 | 2.1 | 2.5 |
| Шелковская | 3.0 | 3.6 | 4.1 | 4.5 | 3.9 | 3.6 | 3.4 | 3.5 | 3.2 | 3.2 | 3.6 | 3.0 | 3.6 |
| Грозный | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.3 | 2.1 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 2.0 |
| Гудермес | 2.8 | 2.9 | 3.2 | 3.8 | 3.6 | 3.9 | 3.7 | 3.6 | 3.2 | 2.8 | 2.9 | 2.8 | 3.3 |
| Серноводская | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.4 | 2.2 | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 2.0 | 2.2 |
| Урус-Мартан | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.4 | 1.4 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.0 | 1.3 |
| Ведено | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| Шатой | 2.2 | 2.4 | 2.7 | 2.4 | 2.0 | 1.7 | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 2.0 | 2.3 | 2.1 | 2.0 |

Максимальные скорости ветра в горах приурочены к двум летним месяцам (июль, август). Направление ветров – западной ориентации. Скорость ветра в течение суток меняется довольно резко, особенно в горной местности. Горно-долинные ветры днем могут увеличивать свою скорость в 5 раз по сравнению с ночными часами. Но и на плоскости скорость ветра днем в три раза выше ночной [10, 11].

Сводные данные по среднемесячной и годовой скорости ветра в различные часы суток приведены ниже:

Таблица 3

Средняя месячная и годовая скорость ветра в различные часы суток (м/сек) [10]

| Пункты | Часы | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|----------|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Грозный | 1 | 1.1 | 1.5 | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.2 |
| | 7 | 1.2 | 1.3 | 1.6 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 2.6 | 1.3 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| | 13 | 1.7 | 2.6 | 3.4 | 4.1 | 4.0 | 3.6 | 3.3 | 3.4 | 3.3 | 2.9 | 2.0 | 1.6 |
| | 19 | 1.5 | 1.8 | 2.3 | 3.3 | 3.3 | 3.3 | 3.1 | 2.8 | 2.0 | 1.3 | 1.5 | 1.2 |
| Гудермес | 1 | 2.8 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.4 | 3.1 | 3.1 | 2.7 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 |
| | 7 | 3.0 | 2.9 | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 3.4 | 3.2 | 3.1 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.9 |
| | 13 | 3.1 | 3.5 | 4.2 | 5.4 | 4.7 | 4.6 | 4.1 | 4.4 | 4.2 | 3.6 | 3.4 | 2.9 |
| | 19 | 2.5 | 2.6 | 3.4 | 4.4 | 4.3 | 4.4 | 4.3 | 4.2 | 3.2 | 2.3 | 2.7 | 2.5 |
| Шатой | 1 | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 1.5 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | 1.5 |
| | 7 | 1.5 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.0 | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | 1.4 |
| | 13 | 4.0 | 4.5 | 5.2 | 4.6 | 4.1 | 3.7 | 3.4 | 3.8 | 4.1 | 5.0 | 4.9 | 4.0 |
| | 19 | 1.7 | 2.1 | 2.5 | 2.1 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.5 |
| Армхи | 1 | 2.0 | 2.1 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 |
| | 7 | 2.1 | 2.0 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 |
| | 13 | 2.0 | 2.5 | 3.3 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 3.5 | 3.7 | 3.7 | 3.1 | 2.1 | 1.8 |
| | 19 | 1.8 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.7 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.6 | 1.6 | 1.8 |

Примечание: Для представительности анализа ветрового потенциала привлечены данные по ближайшей к территории ЧР метеостанции с. Армхи.

Таблица 4

Среднее и наибольшее число дней с сильным ветром (15 м/с и более)

| Пункт | Число дней с сильным ветром (15 м/с и более) по месяцам | | | | | | | | | | | | Год |
|-------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Шелковская | | | | | | | | | | | | | |
| среднее | 1.4 | 1.8 | 3.1 | 4.2 | 2.6 | 2.0 | 1.3 | 2.8 | 2.0 | 1.7 | 2.8 | 1.1 | 27 |
| наибольшее | 5 | 7 | 8 | 10 | 10 | 6 | 6 | 7 | 6 | 5 | 10 | 9 | 49 |
| Грозный | | | | | | | | | | | | | |
| среднее | 1.0 | 1.2 | 1.7 | 2.6 | 2.6 | 2.5 | 2.0 | 2.0 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 0.3 | 19 |
| наибольшее | 4 | 7 | 6 | 7 | 12 | 5 | 10 | 7 | 3 | 3 | 3 | 2 | 49 |
| Ведено | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| среднее | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 1.0 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 8 |
| наибольшее | 4 | 4 | 4 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 24 |
| Шатой | | | | | | | | | | | | | |
| среднее | 0.5 | 0.3 | 1.1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 5 |
| наибольшее | 6 | 2 | 6 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 22 |

Зависимость средней скорости ветра от высоты. В обычной практике на метеостанциях приборы для измерения скорости ветра располагаются на высотах 8-10 м. [2, 3], в то же время оси современных ВЭУ располагаются на высотах до 100 м. и более. В связи с этим возникает необходимость установления вертикального профиля скоростей ветра. В общем виде скорость ветра на высоте $h_{ВЭУ}$ оси ветроколеса ВЭУ определяется через скорость ветра на высоте флюгера h_{ϕ} по известной формуле [3]:

$$\bar{v}_{ВЭУ} = \left(\frac{h_{ВЭУ}}{h_{\phi}} \right)^m \bar{v}_{\phi}, \quad (1)$$

В отечественных исследованиях [2, 3, 15 и др.] при расчете вертикального профиля среднегодовых значений скорости ветра показатель m зависит как от времени года, так и от величины средней скорости ветра и принимается диапазоне 0,17 – 0,24 в среднем составляя 0,2. Ниже приведены результаты пересчетов скорости ветра на разные высоты:

Таблица 5

Изменение скорости ветра при перерасчете на возможную высоту ветроагрегата

| №№ пп | Населенные пункты | Ср. скорости ветра на высоте флюгера, м/сек. | Высота ветроагрегата, в м. | | | |
|----------|----------------------|--|----------------------------|-----|-----|-----|
| | | | 25 | 50 | 75 | 100 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Наурская | 2.5 | 3,2 | 4,1 | 4,8 | 5,7 |
| 2 | Шелковская | 3.6 | 4,5 | 5,5 | 6,3 | 6,8 |
| 3 | Грозный | 2.0 | 2,5 | 3,3 | 3,8 | 4,3 |
| 4 | Гудермес | 3.3 | 4,1 | 5,1 | 5,7 | 6,3 |
| 5 | Серноводская | 2.2 | 2,8 | 3,6 | 4,2 | 4,6 |
| 6 | Урус-Мартан | 1.3 | 1,7 | 2,3 | 2,8 | 3,1 |
| 7 | Ведено | 1.4 | 1,9 | 2,4 | 3,0 | 3,4 |

3 Основные параметры характеризующие энергию ветра

Удельная энергия ветрового потока. Расчет средней удельной мощности произведен по известной формуле:

$$P = \sum_i^n P_{v_i} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^n V_i^3 t_i p, \quad (2)$$

где $\rho = \rho_0 \frac{288B}{760T}$ - плотность воздуха

$\rho_0=1,226 \text{ кг/м}^3$ - номинальная плотность воздуха при температуре 15 °С (288 К) и давлении равном 760 мм ртутного столба принимается по справочным данным.

Результаты расчетов для исследуемой территории показали что изменение плотности воздуха в зависимости от среднесуточных давления и температуры составляет менее 2%, и поэтому может в дальнейшем не учитываться.

Нормативный скоростной напор в соответствии с СНиП - Строительная климатология, равен:

$$q = S \cdot \rho \cdot v_{\max}^2, \quad (3)$$

Считается целесообразным использование энергии ветра при скоростях ветра достигающих 5-6 м/сек. на высоте ветроагрегата, тогда выработка электроэнергии ВЭС становится экономически выгодной.

При отсутствии турбулентности объем воздуха, проходящий в единицу времени через поперечное сечение площадью S , обладает кинетической энергией [3]. Отсюда мощность (как энергия в единицу времени) может определяться следующим образом:

$$P_0 = \frac{Mv^2}{2}, \quad (4)$$

где

M – масса воздуха в объеме цилиндра с площадью основания S и длиной равной скорости v .

С учетом плотности воздуха ρ мгновенная мощность равна:

$$P_0 = \frac{S\rho v^3}{2} \text{ (Вт)}, \quad (5)$$

Средняя удельная мощность ($\bar{P}_{y\partial}$) за период времени (например, год) с учетом распределения скорости по интервалам за этот период может быть найдена из следующего выражения [3]:

$$\bar{P}_{y\partial} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^n v_i^3 t_i \text{ (кВт/м}^2\text{)}, \quad (6)$$

В этом случае удельная энергия определяется следующим образом:

$$E = \bar{P}_{y\partial} \cdot T, \quad (7)$$

4. Оценка потенциала

Валовый (теоретический) потенциал (W_B) ветровой энергии региона – это часть среднесуточной суммарной энергии, которая доступна для использования на площади региона в течение одного года [3]. Для определения валового потенциала регион был разбит на зоны, в пределах удельная мощность ветровой энергии, географические, природные и климатические условия являются однородными. А общий валовый потенциал ветровой энергии территории определялся как сумма валовых потенциалов всех зон.

Удельный валовый потенциал определялся значением средней удельной мощностью $\bar{P}_{y\partial}$ ветрового потока (кВтч/год):

$$W_{yB} = \bar{P}_{y0} \frac{T}{20}, \quad (8)$$

где $T=8760$ ч/год.

Валовый потенциал определяется из допущения, что при обтекании потоками препятствия («воздушной плотины») высотой H возмущенный поток полностью восстанавливается на расстоянии $20H$ после препятствия. В этом случае модель определения валового потенциала ветровой энергии представляет систему «воздушных плотин» высотой - H , ориентированных перпендикулярно направлению ветра и расположенных на расстоянии $20H$ друг от друга [3].

С учетом этого валовый потенциал зоны определяется как:

$$W_B = W_{yB} \cdot S, \quad (9)$$

где S – площадь зоны (m^2).

Технический потенциал (W_T) ветровой энергии региона – это суммарная электрическая энергия, которая может быть получена в регионе при современном уровне развития техники и соблюдении экологических норм [2, 3, 9 и др.]. Технический потенциал зависит от параметров ВЭУ, среднегодовой скорости ветра на высоте оголовка ветроагрегата, площади зоны и определен из следующего выражения:

$$W_T = W_B \cdot C_p \cdot \eta_g \cdot \eta_r \cdot \frac{S_T}{S}, \quad (10)$$

где

C_p - коэффициент использования энергии ветра, который зависит от скорости ветра по закону Жуковского-Бетца изменяется от минимального значения 0,05 до максимального 0,593, в большинстве случаев принимается равным 0,2.

η_g - КПД генератора ВЭУ.

η_r - КПД редуктора ВЭУ.

S_T - площадь зоны или региона, на которой с учетом технических и экологических ограничений возможно размещение ВЭУ. Может изменяться от 10 до 30 % от всей площади зоны (региона) [2, 3,15]. В данном случае принят равным 12%.

Экономический потенциал ветровой энергии региона – это величина годового поступления электрической энергии в регионе от использования ВЭУ, получение которой экономически оправдано. С учетом отечественных и зарубежных данных в первом приближении можно считать, что экономический потенциал использования ветровой энергии составляет 0.5% технического потенциала региона.

Заключение

С начала XXI века мировая ветроэнергетика развивается высокими темпами, в некоторых случаях опережая ввод традиционных мощностей. В России с принятием дополнительных законодательных мер, касающихся поддержки развития возобновляемой энергетики, созданы дополнительные стимулы для освоения ветрового потенциала. Развитие

нормативно правовой базы в России, перестало сдерживать внедрение в использование возобновляемых источников энергии. При этом снижаются риски в области энергетической безопасности, связанными с трансграничными вызовами и угрозами.

В целом территория Чеченской Республики относится к району со средним уровнем ветровой энергии однако имеется значительный ресурс ветровой энергии, который можно и нужно использовать.

Выполненные расчеты ветрового потенциала с пересчетом скоростей ветра и повторяемостей с высоты флюгеров на высоту 100 метров (высота ветроэнергетической установки мощностью 500-1000 кВт), показали, что суммарный ветроэнергетический валовый потенциал территории W_v составляет -1620,0 млрд кВт·ч/год, технический потенциал $W_t \approx 29,0$ млрд кВт·ч/год и экономический ориентировочно составил $W_{\varepsilon} \approx 0,15$ млрд кВт·ч/год.

В силу специфичности выполнения замеров параметров ветра на метеостанциях Гидрометцентра России, которые ведутся в населенных пунктах на высотах 8-10 метров, выполненные расчеты носят общий характер. Для уточнения характерных особенностей ветровой обстановки необходимо проведение дополнительных метеоизмерений для уточнения вертикального профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России. М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ, 2015. 160 с.
2. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология. М.: Колос. 2008.196 с.
3. Безруких П.П. Ветроэнергетика: Справочное и методическое пособие. М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2010. 320 с.
4. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2019 г. ГИС «Энергоэффективность», 2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/gosudarstvennyu_doklad_po_energoeffektivnosti_.html (дата обращения: 11.11.2022).
5. Enargo. Renewable energy sources. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.enargo.ru/technologies_wind.php (дата обращения: 9.11.2022).
6. Energy Strategy 2020: A strategy for competitive, sustainable and secure energy. European Commission. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.eur-lex.europa.eu>.
7. Energy Strategy 2050: Energy roadmap 2050. European Commission. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.eur-lex.europa.eu/ec.europa.eu> (дата обращения: 2.12.2022).
8. Интернет-сайт компании АО «НоваВинд». [Электронный ресурс] – Режим доступа: (www.novawind.ru) (дата обращения: 8.12.2022).
9. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. Оценка потенциала солнечной и ветровой энергии юга России. Тр. КНИИ РАН: Грозный, 2010. С. 224-236.
10. Керимов И.А., Дебиев М.В. Ресурсы солнечной и ветровой энергии Чеченской республики // Современные проблемы геологии, геофизики Северного Кавказа. Мате-

- риалы Всероссийской научно-техн. конф. Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2011. С. 288-296.
11. Керимов И.А., Дебиев М.В., Магомадов Р.А.-М., Хамсуркаев Х.И. Ресурсы солнечной и ветровой энергии Чеченской республики // Электронный журнал «Инженерный вестник Дона», №1/2012. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/only2012/677>(дата обращения: 2.12.2022).
 12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3 –многолетние данные. Вып.13. часть 1-6 –ветер и атмосферное давление. Ленинград: Техническая книга, 1990. 726 с.
 13. Научно-прикладной справочник «Климат России». Ч. 4 - ветер. Обнинск: ВНИИ-ГМИ-МЦД. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://aisorim.meteo.ru/climsprn/pages/Part_4.htm (дата обращения: 15.12.2022).
 14. Обзор Российского ветроэнергетического рынка и рейтинг регионов России за 2019 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rawi.ru/windpower/market-report/report-2019/> (дата обращения: 17.12.2022).
 15. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: Справочник – учеб. пособие / Ю.С.Васильев и др. СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2008. 250 с.
 16. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года». Институт энергетических исследований РАН и Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. 2019. 211 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019_Rus.pdf (дата обращения: 18.12.2022).
 17. Российская Ассоциация Ветроиндустрии (РАВИ). <https://rawi.ru/ru/> (дата обращения: 18.12.2022).
 18. Статистический обзор мировой энергетики. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 15.12.2022).

REFERENCES

1. Atlas of renewable energy resources in Russia. Moscow: HSE Institute of Energy, 2015. 160 p.
2. Bezrukikh P.P. The use of wind energy. Technology, economics, ecology. M.: Kolos. 2008.196 p
3. . 3. Bezrukikh P.P. Wind energy: Reference and methodological manual. Moscow: Publishing house "ENERGY", 2010. 320 p.
4. State report on the state of energy conservation and energy efficiency improvement in the Russian Federation in 2019 GIS "Energy Efficiency", 2020. [Electronic resource] – Access mode: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/gosudarstvennyu_doklad_po_energoeffektivnosti_.html (accessed: 11.11.2022).
5. Enargo. Renewable energy sources. [Electronic resource] – Access mode: http://www.enargo.ru/technologies_wind.php (accessed: 9.11.2022).
6. Energy Strategy 2020: A strategy for competitive, sustainable and secure energy. European Commission. [Electronic resource] – Access mode: <http://www.eur-lex.europa.eu> .

7. Energy Strategy 2050: Energy roadmap 2050. European Commission. [Electronic Resource] – Access mode: [http://www .eur-lex.europa.eu/ec.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu/ec.europa.eu) (accessed: 2.12.2022).
8. The website of JSC "NovaVind". [Electronic resource] – Access mode: (www.novawind.ru) (accessed: 8.12.2022).
9. Kerimov I.A., Gaisumov M.Ya., Akhmatkhanov R.S. Assessment of the potential of solar and wind energy in the south of Russia. Tr. KNII RAS: Grozny, 2010. Pp. 224-236.
10. Kerimov I.A., Debiev M.V. Solar and wind energy resources of the Chechen Republic // Modern problems of geology, geophysics of the North Caucasus. Materials of the All-Russian Scientific and Technical conf. Grozny: Academy of Sciences of the Chechen Republic, 2011. Pp. 288-296.
11. Kerimov I.A., Debiev M.V., Magomadov R.A.-M., Khamsurkaev H.I. Resources of solar and wind energy of the Chechen Republic // Electronic journal "In-generny vestnik Don", No. 1/2012. [Electronic resource] – Access mode: [http://www. ivdon.ru /magazine/archive/only2012/677](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/only2012/677) (accessed: 2.12.2022).
12. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3 –long-term data. Issue 13. Part 1-6 – wind and atmospheric pressure. Leningrad: Technical Book, 1990. 726 p.
13. Scientific and applied reference book "Climate of Russia". Part 4 - wind. Obninsk: VNIIGMI-MCD. [Electronic resource] – Access mode: http://aisori-m.meteo.ru/climspn/pages/Part_4.htm) (accessed: 12.15.2022).
14. Overview of the Russian wind energy market and the rating of Russian regions for 2019 [Electronic resource] – Access mode: [https://rawi.ru/windpower/market-report/report-2019 /](https://rawi.ru/windpower/market-report/report-2019/) (accessed: 17.12.2022).
15. Estimates of renewable energy resources in Russia: Reference book – study. manual / Yu.S. Vasiliev et al. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University.un-ta, 2008. 250 p.
16. Forecast of energy development of the world and Russia until 2040". The Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences and the Energy Center of the Moscow School of Management SKOLKOVO. 2019. 211 p. [Electronic resource] – Access mode: [https://energy.skolkovo. ru/downloads/documents/senec/Research/SKOLKOVO _EneC_Forecast_2019_Rus.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/senec/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019_Rus.pdf) (accessed: 12.18.2022).
17. Russian Wind Industry Association (RAVI). [https://rawi.ru/ru /](https://rawi.ru/ru/) (date of issue: 12/18/2022).
18. Statistical overview of world energy. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (accessed: 12.15.2022).