

Энергоэкономический анализ работы арктической ветроэлектростанции в Кольской энергосистеме

Рецензия эксперта на статью получена 02.07.2025 [The expert review of the article was received on July 2, 2025]

По данным «Схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2025–2030 годы» [1], ввод в эксплуатацию генерирующего оборудования в Российской Федерации составит 17 ГВт, в том числе 3 ГВт ВЭС. Одним из актуальных регионов для развития ветровой энергетики являются регионы Арктики, в том числе Кольский полуостров, имеющий большие ветроэнергетические ресурсы: технические — 44 919 ТВт·ч, валовый — 112,3–138,0 ТВт·ч и экономический — 0,56–0,69 ТВт·ч [2]. Особенно высокий ветропотенциал наблюдается в прибрежной зоне Баренцева моря.

В соответствии с этим реализован проект Кольской ВЭС. Данный пилотный проект выполнен в экстремальных климатических условиях (низкие температуры и вечная мерзлота) и имеет особые проектные и эксплуатационные характеристики для работы в арктическом климате [3]. Опыт строительства Кольской ВЭС может быть распространён на другие ветроэнергетические объекты в Арктике.

Мурманская область расположена на Кольском полуострове, который омывается водами Баренцева и Белого морей, площадь региона составляет 144,9 тыс. км². Большая часть территории находится севернее полярного круга; Мурманская область полностью включена в Арктическую зону Российской Федерации.

Численность населения Мурманской области, по данным Мурманскстата [4], составляет 657 тыс. человек.

Административным центром Мурманской области является город Мурманск, который расположен на скалистом восточном побережье Кольского залива Баренцева моря. Он является крупнейшим в мире городом, который находится

за северным полярным кругом, население города составляет 278 тыс. человек. Мурманск — один из крупнейших портов России.

В структуру энергетики региона входит Кольская АЭС, находящаяся в 200 км к югу от Мурманска на берегу озера Имандра, в составе которой имеется четыре энергоблока суммарной электрической мощностью 1760 МВт. А также 17 ГЭС, входящих в четыре каскада: Нивский, Туломский, Пазский и Серебрянский, суммарной установленной мощ-

Проект Кольской ВЭС выполнен в экстремальных климатических условиях (низкие температуры и вечная мерзлота) и имеет особые проектные и эксплуатационные характеристики для работы в арктическом климате. Опыт строительства Кольской ВЭС может быть распространён на другие ветроэнергетические объекты в Арктике

ностью 1623,9 МВт. Мурманская ТЭЦ и Апатитская ТЭЦ, которые являются основными поставщиками тепловой энергии в городах Мурманск и Апатиты, обладают суммарной установленной мощностью 242 МВт. Также с декабря 2022 года введена в эксплуатацию Кольская ВЭС мощностью 202,4 МВт.

На первое января 2024 года установленная мощность электростанций энергосистемы Мурманской области составляла 3837,4 МВт. Доля видов генерации электростанций энергосистемы Мурманской области представлена в табл. 1 [1].

УДК 620.92. Научная специальность: 2.4.5.

Энергоэкономический анализ работы арктической ветроэлектростанции в Кольской энергосистеме

Виктор Васильевич Елистратов, д.т.н., профессор, директор Научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе», профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства (ВШ ГЭС) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ, г. Санкт-Петербург); **Вячеслав Алексеевич Антонов**, аспирант, Институт энергетики (ИЭ) СПбПУ (г. Санкт-Петербург)

Проведено исследование объёмов выработки электроэнергии на Кольской ВЭС. Выполнен анализ влияния климата (скоростей ветра и низких температур) на выработку электроэнергии данной ВЭС. Ключевые показатели составили: выработка — 500 ГВт·ч/год, КИУМ — 28%. Выявлены ограничения из-за недостатка пропускной способности сетей, что снижает использование мощности. Определены экономические критерии окупаемости: на рынке без поддержки окупаемость проекта составит более 40 лет, что нерентабельно, по ДПМ ВИЭ — проект рентабелен.

Ключевые слова: Кольская ветроэлектростанция, ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, арктический регион, Мурманская область, энергоэкономический анализ, сетевые ограничения, климатические условия, окупаемость инвестиций, ДПМ ВИЭ, энергопрофицит, генерация электроэнергии.

UDC 620.92. Scientific specialty number: 2.4.5.

Energy and economic analysis of the operation of the Arctic wind farm in the Kola power grid

Viktor V. Elistratov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the "Renewable Energy and Installations Based on Them" Scientific and Educational Center, Professor at the Graduate School of Hydraulic and Power Engineering (GS HPE) of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU, St. Petersburg); **Vyacheslav A. Antonov**, postgraduate student, Institute of Energy (IE) of SPbPU (St. Petersburg)

A study of the volume of electricity generation at the Kola wind farm has been conducted. The analysis of the influence of climate (wind speeds and low temperatures) on the power generation of this wind power plant has been performed. The key indicators were: production — 500 GWh/year, capacity factor of 28%. Limitations have been identified due to a lack of network bandwidth, which reduces power usage. Economic payback criteria have been defined: in the market without support, the payback period for the project will be more than 40 years, which is unprofitable, and under contracts for the supply of renewable energy facilities, the project is profitable.

Keywords: Kola wind farm, wind power, renewable energy sources, Arctic region, Murmansk region, energy economic analysis, network constraints, climatic conditions, return on investment, contracts for the supply of renewable energy facilities, energy surplus, electricity generation.

Распределение видов генерации в Мурманской области

табл. 1

Генерация	Мощность, млн кВт·ч	Доля, %	Генерация	Мощность, млн кВт·ч	Доля, %
АЭС	1760	45,86	ТЭС	250,0	6,51
ГЭС	1625	42,35	ВЭС	202,4	5,27

Баланс электроэнергии Мурманской области [1, 5, 6]

табл. 2

Год	Генерация, млн кВт·ч	Потребление + экспорт, млн кВт·ч	Переток в Республику Карелия, млн кВт·ч
2018	17 286	12 534	3876
2019	16 673	12 721	3414
2020	16 493	12 383	3691
2021	16 606	11 973	3772
2022	18 234	11 998	5767
2023	18 185	11 843	5936

Мурманская область — энергопрофицитный регион, в котором часть мощности является не востребоваваемой. До 2022 года часть выработанной электроэнергии экспортировалась в Норвегию и Финляндию, после мая 2022 года экспорт был остановлен, и переток осуществляется только в Республику Карелию по Кола-Карельскому транзиту. В табл. 2 представлен баланс по электроэнергии в Мурманской области за последние шесть лет.

Экспортируемая часть электроэнергии входила в структуру потребления Мурманской области, поскольку экспорт проводился через приграничную торговлю.

В 2022 году рост генерации на 10 % и рост перетока в Карелию на 52 % был обусловлен вводом в эксплуатацию второй

линии Кола-Карельского транзита. Рост пропускной способности воздушной линии электропередачи 330 кВ позволил использовать часть не востребоваваемой мощности, но не решил проблему полностью, и после ввода Кольской ВЭС в эксплуатацию данная проблема усугубилась.

В 2017 году проект Кольской ВЭС был отобран к реализации в Мурманской области при проведении отбора объектов ВИЭ-генерации по программе договоров предоставления мощности на ВИЭ-объекты (ДПМ ВИЭ), поскольку большая доля маневренной генерации ГЭС позволяет балансировать нестабильную генерацию ВЭС, а также существовала возможность экспортировать избыток «зелёной» электроэнергии в соседние страны.

Кольская ВЭС — крупнейшая ветроэлектростанция в России, расположенная за полярным кругом, она находится в 70 км восточнее Мурманска и в 40 км от Баренцева моря. Мощность Кольской ВЭС составляет 202,35 МВт. Это местоположение характеризуется высокой скоростью ветра, что обусловлено плоским рельефом. Низкие температуры увеличивают плотность воздуха, что позволяет поддерживать высокую мощность даже при снижении скорости ветра. Используя данные метеостанции, расположенной в селе Териберка [7], был произведён пересчёт каждого значения скорости ветра на высоте флюгера на скорость на высоте оси ступицы ветроколеса по формуле [8]:

$$v_h = v_{\text{ф}} \left(\frac{h}{h_{\text{ф}}} \right)^{\alpha}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где $v_{\text{ф}}$ — скорость ветра на высоте флюгера, м/с; $h_{\text{ф}}$ — высота флюгера, $h_{\text{ф}} = 10$ м; h — высота оси ступицы ветроколеса, $h = 84$ м; α — коэффициент шероховатости поверхности, по первому классу (холмистая равнина) принимается $\alpha = 0,15$.

Максимальная скорость ветра в Мурманской области приходится на зимний период. Среднегодовая скорость ветра на высоте оси ступицы ветроколеса составляет 9,6 м/с, что является довольно высоким показателем.

На рис.1 представлены средняя по месяцам пересчитанная скорость ветра и средняя по месяцам температура (по данным метеостанции). Зима в регионе — продолжительная, с устойчивыми низкими температурами. Минимальная и максимальная температуры в Мурманской области могут достигать -21°C и $+28^{\circ}\text{C}$, соответственно.

На Кольской ВЭС установлены 57 ветроэнергетических установок (ВЭУ) Siemens Gamesa 3.4-132 мощностью 3,55 МВт (табл. 3). Генерация электроэнергии начинается при скорости ветра, равной 2,5 м/с, расчётная скорость ветра составляет 12 м/с, при достижении скорости ветра свыше 25 м/с лопасти ВЭУ останавливаются в целях безопасности.

Оборудование ВЭУ адаптировано для работы при низких температурах [3].

Электрическая схема ВЭС состоит из двух групп ветроустановок, напряжение вырабатываемого электротока сначала повышается через трансформаторы до 35 кВ, далее через автотрансформатор 35/150 повышается до 150 кВ и направляется на подстанцию «Мурманская» (330/150), где электроэнергия перераспределяется на нужды Мурманской области или передаётся в Республику Карелию по Кола-Карельскому транзиту.

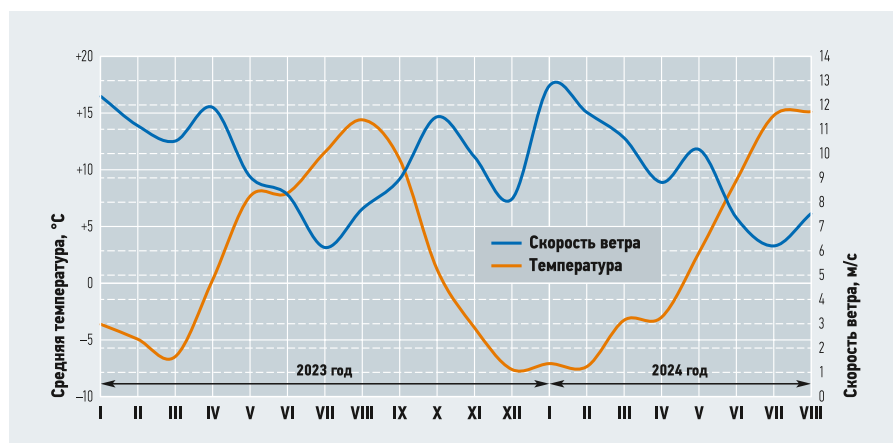


Рис. 1. Погодные характеристики в месте расположения Кольской ВЭС

Характеристики ветроэнергетической установки Siemens Gamesa 3.4–132

табл. 3

Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Ном. мощность, МВт	3,55	Площадь «ометания» ротора, м ²	13 685
Класс ветра	IEC IIA	Длина лопастей, м	64,5
Мин. скорость ветра, м/с	2,5	Высота башни, м	84
Макс. скорость ветра, м/с	25	Тип редуктора	Трёхступенчатый
Рабочие температуры, °C	–50...+30	Тип генератора	Асинхронный генератор с двойным питанием
Система управления	Угол поворота лопастей и переменная скорость	Напряжение генератора (переменный ток), В	690
Макс. уровень шума, дБ(А)	104		
Диаметр ротора, м	132		

Доля Кольской ВЭС в структуре выработки Кольской энергосистемы составляет 3 %. Основную долю занимают АЭС (55–60 % общей выработки) и ГЭС (от 35 до 41 %). На рис. 2 приведена структура выработки в Кольской энергосистеме.

В Кольской энергосистеме существует невостребованная мощность, что делает Кольскую АЭС единственной атомной электростанцией в России с характерным сезонным графиком работы. Это также влияет и на выработку ВЭС, поскольку ограниченная пропускная способность Кола-Карельского транзита не позволяет станциям данной энергосистемы вырабатывать максимально возможное количество электроэнергии.

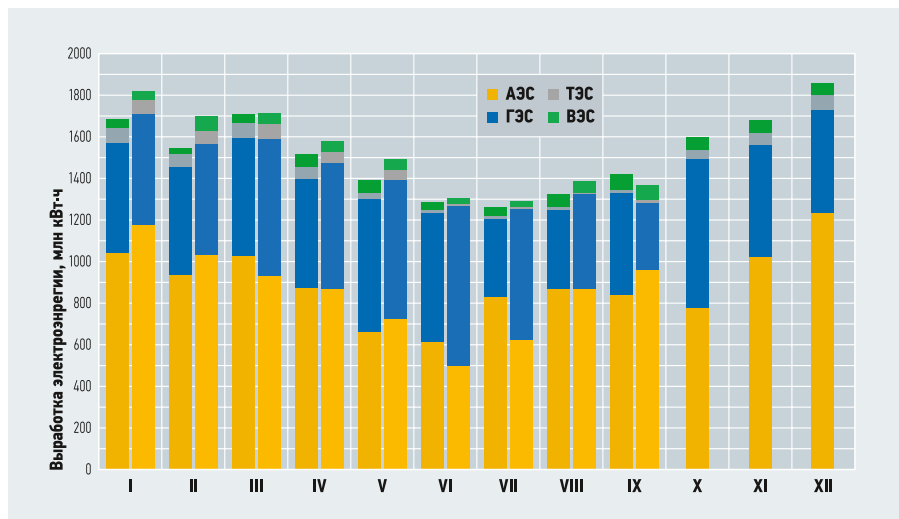


Рис. 2. Структура выработки Кольской энергосистемы в 2023–2024 годах

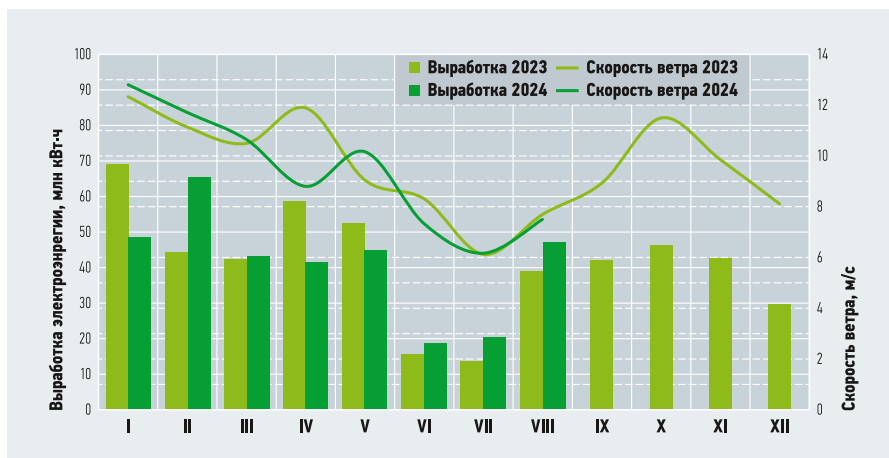


Рис. 3. Годовой график выработки и скорости ветра Кольской ВЭС

Проведя анализ объемов выработки электроэнергии на Кольской ВЭС за 2023–2024 годы [1] и сопоставив их со скоростью ветра в данный период [3], как это показано на рис. 3, можно определить, что корреляция между этими величинами составляет всего 80 %. Это объясняется сетевыми ограничениями, которые имеют различное влияние в разные месяцы года и зависят от ремонтных работ на воздушных линиях электропередач, полноводности рек в регионе и необходимости поддерживать стабильную генерацию АЭС.

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) Кольской ВЭС за 2023 год составляет 28 %, что на 9 % ниже величины, рассчитанной в работе [9], опубликованной в 2020 году во время возведения Кольской ВЭС.

График суточной мощности Кольской ВЭС по сезонам характеризуется сниженной выработкой в летний период, причём периоды роста и снижения выработки в летний и зимний период различны. В зимний период ВЭС вырабатывает больше электроэнергии в ночные и утренние часы и имеет более стабильный среднесуточный график выработки, в отличие

от летнего периода, когда пик выработки приходится на пиковые часы потребления днём и вечером. В связи со сниженной выработкой ВЭС и АЭС в летний период сетевые ограничения в этот период имеют более слабое воздействие.

Поскольку Кольская энергосистема — энергоизбыточный регион, в данной энергосистеме много «дешёвой» генерации. При вводе Кольской ВЭС в действие с декабря 2022 года по настоящее время произошло увеличение и так избыточной ге-

нерации, что вызвало частые «запираания» энергоканала «Кола — Карелия». Это привело к тому, что избыточная генерация остаётся в регионе и не может быть экспортирована в Карельскую энергосистему. Количество произошедших «запираний» можно оценить, используя значение «индекса балансирующего рынка» (ИБР). Значение ИБР — это цена, которая формируется на рынке электроэнергии в час поставки в зависимости от величины спроса и предложения. Нулевое значение данного индекса в Кольской энергосистеме означает, что количество произведённой электроэнергии превышает потребление и экспортные возможности энергосистемы, «запирая» избыточную мощность внутри энергосистемы. Рост данного индекса после ввода Кольской ВЭС продемонстрирован на рис. 4 [10].

С вводом первой очереди Кольской ВЭС (170 МВт) произошёл резкий рост нулевых значений ИБР, что объясняется нестабильной генерацией ВЭС и малым запасом экспортных мощностей региона.

В дальнейшем, с июня 2023 года, количество нулевых значений ИБР вернулось к состоянию до ввода ВЭС за счёт снижения выработки ВЭС в летний период,

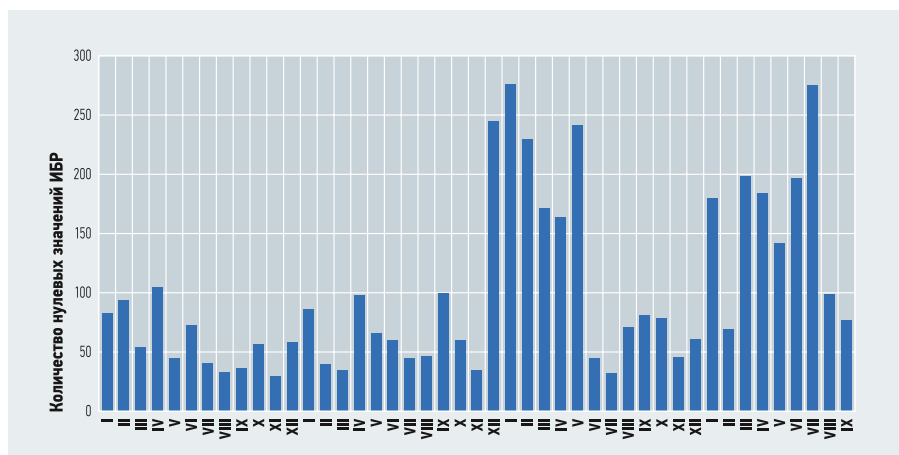


Рис. 4. Количество нулевых значений ИБР по месяцам

Выработка электроэнергии на Кольской ВЭС

табл. 4

Дата	План выработки, МВт·ч	Фактическая выработка, МВт·ч	Разница, %
Первое полугодие 2023 года	280 328	283 075	1,0
Второе полугодие 2023 года	360 990	213 659	-40,8
Первое полугодие 2024 года	279 133	262 866	-5,8
Июль — август 2024 года	83 137	67 827	-18,4
Итого	1 003 589	827 427	-17,6

однако количество нулевых значений ИБР увеличилось с января 2024 года, что указывает на то, что проблема не была решена. Имеющийся большой объём избыточной генерации необходимо использовать, модернизируя сетевую инфраструктуру или подключив новых потребителей, либо выведя из эксплуатации неостребованную мощность, что приведёт к увеличению цены на электроэнергию.

Поскольку при «запирании» энергоканала в Карелию первоначально разгружается ВЭС и ГЭС, это приводит к снижению выработки ВЭС относительно плановых показателей. Фактическая генерация Кольской ВЭС с января 2023 года оказывается ниже планируемой на 17,6% [1, 5], что показано в табл. 4.

Данная ситуация могла быть одним из факторов внедрения нового подхода к территориальному размещению объектов ВИЭ-генерации, при котором Системный оператор ЕЭС получил функцию согласования площадок размещения объектов ВИЭ, отобранных с 2024 года [11].

Согласно Постановлению Правительства РФ №561 [11], срок окупаемости инвестиций по программе ДПМ ВИЭ [12] для Кольской ВЭС составляет 16 лет. В данный срок также включается первый год, в который отсутствует оплата за мощность и, следовательно, не производится возврат инвестиций.

Для оценки экономической эффективности программы ДПМ ВИЭ были рассчитаны дисконтированные сроки окупаемости проекта Кольской ВЭС при работе на оптовом и розничном рынках. При отсутствии программы поддержки дисконтированный срок окупаемости проекта Кольской ВЭС на оптовом и розничном рынках электроэнергии и мощности составит около 41 и 42 лет, соответственно. Расчёт был проведён по правилам оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) с использованием регламентов ОРЭМ [13].

Базовая предельная величина капитальных затрат на возведение 1 кВт установленной мощности генерирующего объекта, функционирующего на основе энергии ветра и введённого в эксплуатацию в 2021 году, была установлена равной 109 342 руб/кВт [12].

Дисконтированный срок окупаемости при работе на оптовом рынке электроэнергии рассчитывается по формуле:

$$Y_0 = \min Y, \text{ при котором } \left[\sum_{h=1}^{8760} N_h (1 - N_{\text{сн}}) \rho_h + \sum_{m=1}^{12} (N_{\text{уст}} \rho_{\text{ком}} K_{\text{сез},m} - \text{OpEX}) \right] Y \geq \text{CapEX}, \quad (2)$$

здесь CapEX (Capital EXpenditure) — капитальные затраты на ВЭС мощностью 202,35 МВт (рассчитывается перемножением установленной мощности и базовой предельной величины затрат), CapEX = 22,125 млрд руб.; OpEX (Operating EXpense) — удельные эксплуатационные затраты, OpEX = 250 тыс. руб. за 1 МВт в месяц [12]; $N_{\text{сн}}$ — потребление на собственные нужды ВЭС, $N_{\text{сн}} = 0,5\%$ [12]; $K_{\text{сез}}$ — коэффициент сезонности [5]; $\rho_{\text{ком}}$ — цена мощности на оптовом рынке, $\rho_{\text{ком}} = 248$ тыс. руб. за 1 МВт в месяц [14]; $\rho_{\text{розн}}$ — цена мощности на розничном рынке (ежемесячное значение принимается по данным гарантирующего поставщика электроэнергии в Мурманской области за 2023 год [5]); N_h — часовая выработка, МВт; ρ_h — цена на электроэнергию (почасовое значение принимается по данным [5]), руб/МВт. Определено, что $Y_0 = 40,9$ лет.

Дисконтированный срок окупаемости при работе на розничном рынке электроэнергии рассчитывается по формуле:

$$Y_p = \min Y, \text{ при котором } \left[\sum_{h=1}^{8760} N_h (1 - N_{\text{сн}}) \rho_h + \sum_{m=1}^{12} (N_{\text{розн},m} \rho_{\text{розн},m} - N_{\text{уст},m} \text{OpEX}) \right] Y \geq \text{CapEX}, \quad (3)$$

отсюда $Y_p = 42,3$ года.

Период окупаемости ВЭС при работе без поддержки по программе ДПМ ВИЭ гораздо выше сроков службы ВЭУ, что является препятствием для развития ветроэнергетики без рыночных программ поддержки. Данные значения периодов окупаемости равны сроку службы ВЭУ, что делает ВЭУ неконкурентоспособными в рыночных условиях без методов поддержки, таких как ДПМ ВИЭ.

Заключение

Проведённый энергоэкономический анализ работы Кольской ВЭС — крупнейшей арктической ветроэлектростанции России — позволил получить следующие результаты и выводы:

1. Доля выработки электроэнергии Кольской ВЭС в энергобалансе Мурманской области составляет до 3% от выработки всего региона. Годовая выработка достигает 500 ГВт·ч при КИУМ, равном 28%.
2. Высокая среднегодовая скорость ветра (9,6 м/с) в Мурманской области — благоприятный фактор для установки ВЭС, но слабая сетевая инфраструктура не позволяет использовать данный источник электроэнергии на полную мощность. Без данных ограничений производство электроэнергии увеличилось бы на 17,6%.
3. Срок окупаемости ВЭС при поддержке ДПМ ВИЭ составляет 16 лет, при пересчёте работы на условиях оптового и розничного рынка срок окупаемости составляет более 40 лет. ●

1. Схемы и программы развития электроэнергетических систем России [Электр. текст]. Системный оператор единой энергетической системы (СО ЕЭС). Режим доступа: so-ups.ru. Дата обращ.: 10.08.2025.
2. Елистратов В.В., Васильев С.Ю., Безруких П.П. Оценка ресурсов возобновляемых источников энергии в России. — СПб.: Изд-во СПбПУ, 2008. 250 с.
3. «ЭЛ-5 Энерго»: официальный интернет-портал [Электр. текст]. ПАО «ЭЛ5-Энерго». Режим доступа: el5-energo.ru. Дата обращ.: 10.09.2025.
4. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области (Мурманскстат) [Электр. текст]. Федеральная служба государственной статистики РФ (Росстат). Режим доступа: 51.rosstat.gov.ru. Дата обращ.: 05.08.2025.
5. Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии [Электр. ресурс]. АО «АТС». Режим доступа: atsenergo.ru. Дата обращ.: 15.09.2025.
6. Министерство энергетики и ЖКХ Мурманской области: официальный интернет-портал [Электр. ресурс]. Режим доступа: minenergo.gov-murman.ru. Дата обращ.: 25.08.2025.
7. Прогноз погоды [Электр. ресурс]. Режим доступа: rp5.ru. Дата обращ.: 20.09.2025.
8. Елистратов В.В., Кудряшева И.Г., Богун И.В. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии. — СПб.: Политех-Пресс, 2022. 528 с.
9. Белей В.Ф., Коцарь Г.В. Оценка ветропотенциала Мурманской области и эффективности Кольской ветроэлектростанции // Вестник МГТУ, 2020. Т. 23. №4. С. 376–386.
10. Оптовый рынок электроэнергии и мощности [Электр. ресурс]. Режим доступа: br.so-ups.ru. Дата обращ.: 25.09.2025.
11. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии: Постановление Правительства РФ от 03.05.2024 №561.
12. О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности: Постановление Правительства РФ от 28.05.2013 №449.
13. Ассоциация «НП Совет рынка» [Электр. ресурс]. Режим доступа: np-sr.ru. Дата обращ.: 20.09.2025.
14. Конкурентный отбор мощности [Электр. ресурс]. Режим доступа: kom.so-ups.ru. Дата обращ.: 18.09.2025.

References — see page 80.

Energy and economic analysis of the operation of the Arctic wind farm in the Kola power grid. Pp. 76–79.

Viktor V. Elistratov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the “Renewable Energy and Installations Based on Them” Scientific and Educational Center, Professor at the Graduate School of Hydraulic and Power Engineering (GS HPE) of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU, St. Petersburg); **Vyacheslav A. Antonov**, postgraduate student, Institute of Energy (IE) of SPbPU (St. Petersburg)

1. *Skhemy i programmy razvitiya elektroenergeticheskikh sistem Rossii* [Schemes and Programs for the Development of Electric Power Systems of Russia]. *Sistemnyy operator edinoj energeticheskoy sistemy (SO EES)* [System Operator of the Unified Energy System (SO UES)]. Web-source: so-ups.ru. Access date: August 10, 2025. [In Russian]
2. V.V. Elistratov, S.Yu. Vasil'ev, P.P. Bezrukikh. *Otsenki resursov vozobnovlyemykh istochnikov energii v Rossii* [Assessing Resources of Renewable Energy Sources in Russia]. St. Petersburg. *Izd-vo SPbPU* [Publishing House of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. 2008. 250 p. [In Russian]
3. “EL-5 Energo”: *ofitsial'nyy internet-portal* [The official internet portal of “EL-5 Energo”]. PAO “EL5-Energo” [“EL5-Energo”, PJSC]. Web-source: el5-energo.ru. Access date: September 10, 2025. [In Russian]
4. *Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Murmanskoy oblasti (Murmanskstat)* [Territorial Department of the Federal State Statistics Service for Murmansk region (Murmanskstat)]. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki RF (Rosstat)* [Federal State Statistics Service of the Russian Federation (Rosstat)]. Web-source: 51.rosstat.gov.ru. Access date: August 5, 2025. [In Russian]
5. *Administrator torgovoy sistemy optovogo rynka elektroenergii* [Administrator of the wholesale electricity market trading system]. AO “ATS” [“ATS”, JSC]. Web-source: atsenargo.ru. Access date: September 15, 2025. [In Russian]
6. *Ministerstvo energetiki i ZKKh Murmanskoy oblasti: ofitsial'nyy internet-portal* [The official internet portal of Ministry of Energy and Housing and Utilities of the Murmansk Region]. Web-source: minenergo.gov-murman.ru. Access date: August 25, 2025. [In Russian]
7. *Prognoz pogody* [Weather forecast]. Web-source: rp5.ru. Access date: September 20, 2025. [In Russian]
8. V.V. Elistratov, I.G. Kudryasheva, I.V. Bogun. *Resursy i tekhnologii ispol'zovaniya vozobnovlyemykh istochnikov energii* [Resources and technologies for using renewable energy sources]. St. Petersburg. *Politekhn-Press* [“Politech-Press” Publishers]. 2022. 528 p. [In Russian]
9. V.F. Beley, G.V. Kotsar. *Otsenka vetropotentsiala Murmanskoy oblasti i effektivnosti Kol'skoy vetroelektrostantsii* [Assessment of the wind potential of the Murmansk region and the efficiency of the Kola wind farm]. *Vestnik MGTU* [Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University]. 2020. Vol. 23. No. 4. Pp. 376–386. [In Russian]
10. *Optovyy rynek elektroenergii i moshchnosti* [Wholesale electricity and capacity market]. Web-source: br.so-ups.ru. Access date: September 25, 2025. [In Russian]
11. *O vnesenii izmenenij v nekotorye akty Pravitel'stva Rossijskoy Federatsii po voprosam stimulirovaniya ispol'zovaniya vozobnovlyemykh istochnikov energii* [On amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation on issues of stimulating the use of renewable energy sources]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 03.05.2024 №561* [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 561 of May 3, 2024]. [In Russian]
12. *O mekhanizme stimulirovaniya ispol'zovaniya vozobnovlyemykh istochnikov energii na op-tovom rynke elektricheskoy energii i moshchnosti* [On the mechanism for stimulating the use of renewable energy sources in the wholesale electricity and capacity market]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 28.05.2013 №449* [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 449 of May 28, 2013]. [In Russian]
13. *Assotsiatsiya “NP Sovet rynka”* [Association “Market Council” Non-Commercial Partnership]. Web-source: np-sr.ru. Access date: September 20, 2025. [In Russian]
14. *Konkurentnyy otbor moshchnosti* [Competitive capacity selection]. Web-source: kom.so-ups.ru. Access date: September 18, 2025. [In Russian]