

Научная статья

УДК 330

DOI: <http://doi.org/10.15350/2409-7616.2023.3.23>

## РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ ВО ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ: РОССИЙСКИЙ АСПЕКТ

П.И. Севостьянов, В.Е. Шунков, А.Р. Макаев

### **Севостьянов Павел Игоревич,**

кандидат политических наук, доцент кафедры политического анализа и социально-психологических процессов, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова; действительный государственный советник РФ, Москва, Россия.

РИНЦ SPIN-код: 2721-9402

[Sevostyanov.PI@rea.ru](mailto:Sevostyanov.PI@rea.ru)

**Шунков Валентин Евгеньевич,** научный сотрудник, Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН), Москва, Россия.  
[shunkovjr@niisi.msk.ru](mailto:shunkovjr@niisi.msk.ru)

### **Макаев Артем Радикович,**

лаборант кафедры политического анализа и социально-психологических процессов, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова Москва, Россия.

РИНЦ SPIN-код: 4001-7721

[Макаев.AR@rea.ru](mailto:Макаев.AR@rea.ru)

**Аннотация.** *Внедрение энергогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в механизмы устойчивого функционирования топливно-энергетического комплекса современных государств является приоритетным направлением экономической политики и актуальной исследовательской задачей. Целью исследования является оценка социально-экономических последствий увеличения мощностей ветряных электростанций для России с определением наиболее существенных рисков внедрения ветроэнергетических технологий при влиянии политических и экономических факторов. Методология представлена преимущественно ивент-анализом международной повестки в сфере внедрения ветрогенерации. В результате исследования определены возможности и приоритетные векторы развития ветроэнергетики с учётом российского контекста в условиях международной напряженности и динамики мировой экономики в среднесрочной и долгосрочной перспективе; проведена операционализация основных рисков развития ветроэнергетических технологий в России, связанных с санкционным давлением,*

*сложностями в международном сотрудничестве, уходом с российского рынка крупных европейских корпораций. Кроме того, проанализированы государственные меры поддержки экономики России в целях наращивания объемов ветряной энергетики и уменьшения стоимости энергии.*

**Ключевые слова:** *климатическая политика, энергетический переход, технологическая независимость, ветроэнергетика, ветряные электростанции, возобновляемые источники энергии.*

**Библиографическая ссылка:** *Севостьянов П.И., Шунков В.Е., Макаев А.Р. Развитие ветроэнергетики во время формирования циркулярной экономики: российский аспект // ЦИТИСЭ. 2023. № 3. С. 269-281. DOI: <http://doi.org/10.15350/2409-7616.2023.3.23>*

Research Full Article

UDC 330

## DEVELOPMENT OF WIND ENERGY DURING THE FORMATION OF THE CIRCULAR ECONOMY: THE RUSSIAN ASPECT

P.I. Sevostyanov, V.E. Shunkov, A.R. Makaev

### **Pavel I. Sevostyanov,**

Candidate of Political Sciences, Associate Professor of the Department of Political Analysis and Socio-Psychological Processes, Plekhanov Russian Economic University; Full State Councilor of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation.

Sevostyanov.PI@rea.ru.

### **Valentin E. Shunkov,**

Researcher, Research Institute of Systems Research of the Russian Academy of Sciences (NIISI RAS), Moscow, Russian Federation.

shunkovjr@niisi.msk.ru.

### **Artem R. Makaev,**

Laboratory assistant of the Department of Political Analysis and Socio-Psychological Processes, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation.

Makaev.AR@rea.ru

**Abstract.** *The introduction of energy generation based on renewable energy sources (RES) into the mechanisms of sustainable functioning of the fuel and energy complex of modern states is a priority direction of economic policy and an urgent research task. The purpose of the study is to assess the*

*socio-economic consequences of increasing the capacity of wind power plants for Russia with the identification of the most significant risks of the introduction of wind energy technologies under the influence of political and economic factors. The methodology is mainly represented by an event analysis of the international agenda in the field of wind generation implementation. As a result of the study, the possibilities and priority vectors of wind energy development were identified, taking into account the Russian context in the conditions of international tension and the dynamics of the world economy in the medium and long term; the operationalization of the main risks of the development of wind energy technologies in Russia related to sanctions pressure, difficulties in international cooperation, and the withdrawal of large European corporations from the Russian market was carried out. In addition, the state measures to support the Russian economy in order to increase the volume of wind energy and reduce the cost of energy are analyzed.*

**Keywords:** *climate policy, energy transition, technological independence, wind power, wind farms, renewable energy sources.*

**For citation:** *Sevostyanov P.I., Shunkov V.E., Makayev A.R. Development of wind energy during the formation of a circular economy: the Russian aspect. CITISE, 2023, no. 3, pp. 269-281. DOI: <http://doi.org/10.15350/2409-7616.2023.3.23>*

### **Введение.**

Вопросы связанные с развитием ветроэнергетики, в настоящее время стоят на повестке дня у всех развитых и развивающихся стран. Востребованность этого направления в развитии энергетического сектора экономики видно, как из количества международных конференций и конгрессов на эту тематику, так и из национальных планов развития энергетического сектора.

Эксперты в области ветроэнергетики определили её плюсы и минусы:

- **плюсы** - создание новых рабочих мест, минимальное время и для установки; простота обслуживания и невысокие эксплуатационные расходы; экономическая эффективность (затраты-выгода); отсутствие загрязнения окружающей среды, особенно атмосферы;
- **минусы** - работа устройств зависит от силы потока ветра, турбины станций создают низкочастотные и опасные для человека шумы; создаются опасность для птиц.

В журнале «Академия Энергетики.РФ», приведены 10 прогнозов о развитии мировой ветроэнергетики, которые составили эксперты аналитического агентства BloombergNEF. Эксперты пишут, что страны Европы, Ближнего Востока и Африки установят рекордные 22 ГВт наземных ветровых мощностей. Это будет на 3 ГВт больше, чем в прошлом году. Германия, Швеция, Финляндия, Польша, Испания, Франция, Италия и Турция уже на пути к тому, чтобы ежегодно устанавливать более 1 ГВт мощностей. Несмотря на «зелёный» бум в Европе, эксперты считают, что в 2022 году темпы роста мощностей ВЭС по всему миру, вероятно, снизятся до примерно 76 ГВт. Годом ранее показатель составил 79 ГВт, а в 2020 достиг рекордных 91 ГВт<sup>1</sup>.

Приведём перечень направлений развития ветроэнергетики, которые раскрыли эксперты аналитического агентства BloombergNEF:

- 1) Страны Европы, Ближнего Востока и Африки установят рекордные 22 ГВт наземных ветровых мощностей;
- 2) Второй год подряд прирост мощностей морских ВЭС превысит 10 ГВт;

<sup>1</sup> Что ждёт ветроэнергетику в 2022 году / Академия Энергетики.РФ. - URL <https://energyacademy.ru/tpost/xfrg99fib1-что-zhdet-vetroenergetiku-v-2022-godu?ysclid=110i14k8ic535813858>

- 3) Плавающие ВЭС привлекут миллиарды новых инвестиций;
- 4) Интерес нефтегазовых компаний в проектах оффшорных ВЭС увеличится;
- 5) Китайские производители ветротурбин продолжают покорять глобальный ветроэнергетический рынок;
- 6) Цены на турбины в 2022 году останутся высокими;
- 7) Количество неисправных ветротурбин увеличится;
- 8) Консолидация среди производителей турбин;
- 9) Состоится второй аукцион с «отрицательными субсидиями» на строительство оффшорной ВЭС;
- 10) На аукционах по морской ветроэнергетике будет все больше требований по использованию оборудования местного производства. На рисунке 1 представлена динамика развития отрасли ветроэнергетики по годам и регионам мира.



Source: BloombergNEF. Note: MENAT stands for Middle East, North Africa and Turkey.

**Рисунок 1** – Динамика развития генерирующих мощностей ветроэнергетики

На сегодняшний день Россия не отстает от европейских государств в наращивании объемов ветряной энергетики и уменьшении стоимости энергии. Например, компания «Фортум», являющаяся в России лидером в области зелёной энергетики, в 2019 году ввела в эксплуатацию ветряные электростанции суммарной мощностью 478 МВт, а суммарный портфель «Фортум» и его совместных предприятий составляет примерно 3,4 ГВт мощностей ветряной и солнечной энергетики, а на 2025-2027 год уже запланировано строительство ветряных электростанций ещё на 1,3 ГВт. Казалось бы, это не так много, но цифра уже больше, чем вырабатывает современный блок АЭС, например, ВВЭР-1200, используемые в Белорусской АЭС. При этом стоимость строительства АЭС и ветряных генераторов на общую мощность сейчас примерно одинакова, но эксплуатационные затраты для ветряков гораздо ниже. Конечно, именно белорусскую АЭС заменить ветряками не получилось бы — в районе строительства АЭС слишком слабые ветры, их хватит для работы ветряных генераторов только на нижнем пределе мощности. Здесь нужно отметить, что сейчас является серьёзной задачей составление карт ветров на высоте около 100 метров, для этого нужны новые спутники и метеостанции, а в идеальном варианте — отдельные подразделения энергетических компаний, которые смогут просчитывать наиболее выгодные места

расположений ветряных генераторов. И речь здесь не только о скорости ветра. На эффективность ветряков оказывает влияние холмистость местности и расстояние до ближайших объектов (включая соседние ветрогенераторы), искажающих потоки ветра. При этом можно использовать ветряки разной мощности, чтобы на одной площади использовать разные воздушные горизонты. Таким образом, получится увеличить снимаемую с единицы площади мощность.

#### **Методология.**

В рамках исследования используется ряд общенаучных и специфических методов: в частности, контент-анализ эмпирических данных, ивент-анализ (событийный анализ) международной повестки в части внедрения ветроэнергетических технологий, сокращения стоимости эксплуатационных затрат топливно-энергетического комплекса в масштабе Российской Федерации. Кроме того, задействованы элементы факторного анализа, который предусматривает изучение и систематизацию ключевых политических и экономических факторов, оказывающих влияние на социально-экономические последствия развития ветроэнергетики с учётом российского контекста. Анализ опирается на предшествующие работы ряда исследователей, рассматривавших проблематику трансформации мировой энергетики под влиянием экономических и политических факторов: в частности, используются выводы, полученные С. Dent, М. Katsarava, R. Gaschler, М. O'Sullivan, D.Sangroya, J. Nayak и др.

#### **Результаты.**

##### ***1.1. Российский проект***

Теоретически в России стал бы выгодным глобальный проект, предусматривающий установку ветрогенераторов вдоль всего северного побережья. Там сильные и довольно стабильные ветры, а также низкая плотность населения, что значительно упрощает размещение ветряков по сравнению с густонаселённой Европой, где актуальной является проблема ограничения минимального расстояния ветряных генераторов от жилых построек. К. Dent полагает, что сегодня «Европа и Восточная Азия находятся на переднем крае развития ветроэнергетики» [5, Р, 211], поскольку «на их долю приходится почти 70% общей установленной мощности и большинство крупнейших в мире производителей ветряных турбин» [Там же]. В то же время следует принимать во внимание и то, что у России также имеется большой потенциал по размещению ветряных генераторов, «а учитывая протяженность морской границы России, теоретически можно стать лидером в области ветроэнергетики» [3, С. 79].

Разумеется, для реализации такого проекта понадобится, как уже сказано выше, заняться картографией ветров и набрать статистику по этой теме за несколько лет. Кроме того, низкая населённость северных прибрежных районов одновременно является и минусом — при реализации проекта неизбежно возникнут логистические сложности, которые, однако, могут быть нивелированы за счёт морских путей. Сейчас большая доля ветряных генераторов возводится не просто в приморской зоне, но в воде, на расстоянии одной-двух сотен метров от берега — в этой зоне ветер наиболее стабилен и не имеет наземных преград, хотя стоимость постройки и получается выше за счёт сложности строительства. Выбор в пользу морского строительства обусловлен отсутствием ограничений, связанных с размещением вблизи жилых зон, ценных сельскохозяйственных земель и заповедников. Учитывая такой вариант и активное освоение северного морского пути, возведение подобного рода ветряков можно упростить, ведь строительство морских ветрогенераторов происходит непосредственно с кораблей. В таком случае главной проблемой останется только непосредственно доставка электроэнергии от места выработки к потребителям, поэтому наземные коммуникации всё равно придётся строить.

При должной поддержке на федеральном уровне, такой проект может создать большое количество новых рабочих мест и фактически создать в России новую отрасль, которая способна привлечь иностранные инвестиции в российскую экономику. При реализации такого масштабного проекта неминуемо возникнет много новых технических задач, связанных с работой в условиях севера, однако выработанные решения дадут толчок общему развитию технологий ветроэнергетики и стимулируют научно-технические организации.

Что касается энергетической окупаемости, ещё в 2014 году школа технического и промышленного машиностроения Орегонского университета провела масштабное исследование энергетической окупаемости на примере одних из самых распространённых сейчас 2 МВт промышленных ветрогенераторов производства Siemens. Исследование показало, что полная энергетическая окупаемость наступает всего за 5-7 месяцев, при том, что срок службы ветряных электростанций сейчас составляет не меньше 20 лет (См. Рис.2).

За расчётную мощность в исследовании взяты показатели в условиях северо-западного побережья США (6,12 ГВт-ч в год при загруженности 35%), что примерно составляет среднее значение по США. Расчёты проводились в соответствии с международной методикой энергетической окупаемости за полный жизненный цикл ReCiPe 2008, учитывающей не только затраты на производство, но и эксплуатационные расходы за весь 20-летний срок службы.

В окупаемости были учтены расходы энергии на добычу полезных ископаемых, производство деталей, доставку частей ветрогенератора с разных заводов, установку на месте, обслуживание в течение всего срока (одних только смазочных материалов за 20 лет расходуется от 273 до 546 тонн, в зависимости от модели) и, в конце концов, его утилизацию с частичной переработкой по окончании срока службы. Электростанции на ископаемом топливе имеют гораздо больший срок энергетической окупаемости и требуют гораздо больших расходов на текущее обслуживание, а срок службы оборудования зачастую меньше, чем у ветряных электростанций.

### 1.2. Размеры и мощность

Самые большие из серийно производимых сейчас ветряных генераторов, несмотря на цену примерно в 14 млн. долларов, окупаются ещё быстрее. Их максимальная мощность при скорости ветра 13-15 м/с составляет 7-8МВт, и они идеально подходят для размещения в морских прибрежных зонах. Диаметр пропеллера этих гигантов составляет чуть больше 150 метров, и они способны работать уже при скорости ветра всего в 3-5 м/с.

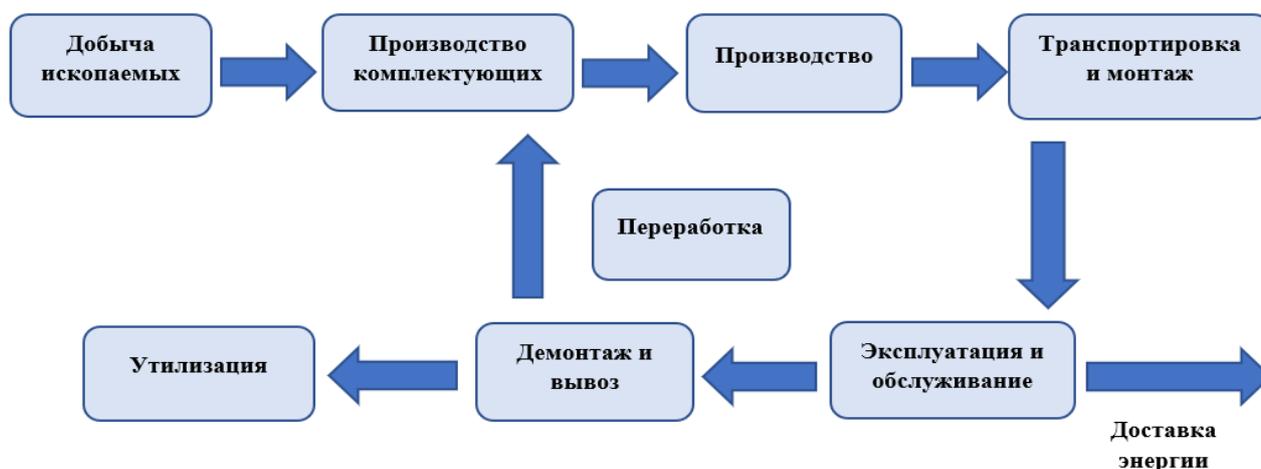
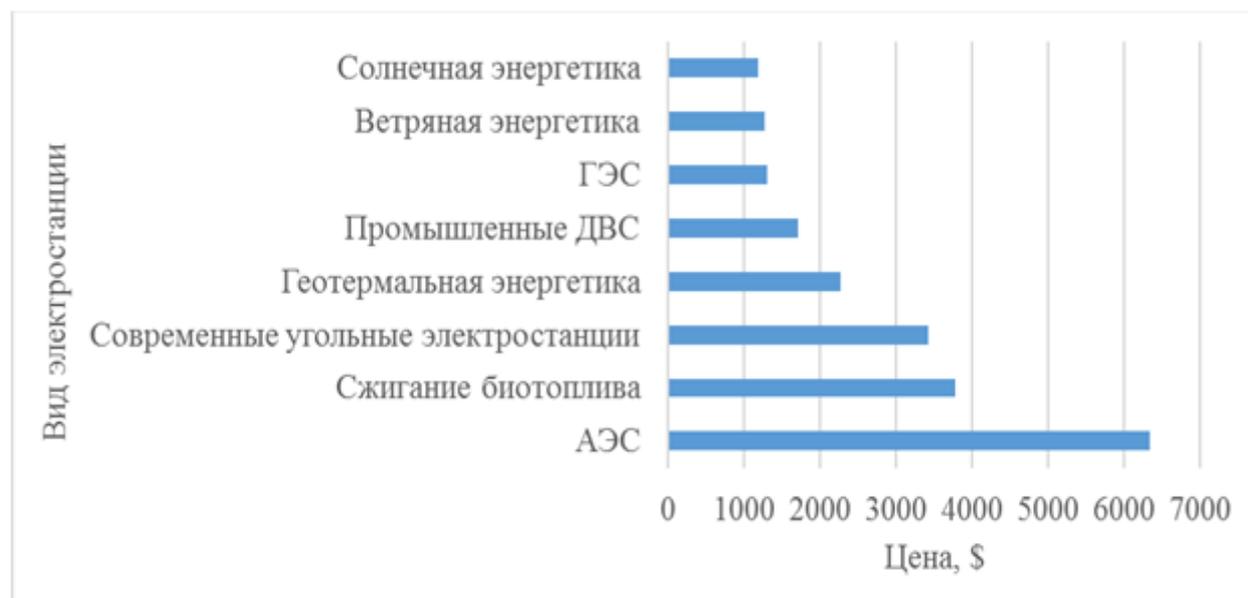


Рисунок 2 - Жизненный цикл ветрогенератора при расчете энергетической окупаемости

При достижении скорости ветра 25 м/с генерация прекращается в целях безопасности. Казалось бы, на таких скоростях ветра лопасти должны вращаться быстро, но это не так. На самом деле они вращаются неторопливо и степенно, делая всего 5-11 оборотов в минуту, в зависимости от скорости ветра, поэтому ветряная электростанция даже не создаёт сильного шума. При этом надёжность ветряка достигается простотой конструкции — у турбины нет редуктора (коробки передач), используется прямой привод. Самым мощным (но не самым крупным) из этих ветрогенераторов-гигантов является Enercon E126, а не продукт лидирующей на рынке ветрогенераторов немецкой компании Siemens. Больше всего генераторов этой модели построено в Швеции, там суммарная вырабатываемая ими мощность достигает 4 ГВт, это почти 10% всей вырабатываемой в Швеции электроэнергии. Общая же доля возобновляемых источников энергии в Швеции составляет 60%, и это при том, что Швеция занимает лишь десятое место по объёмам вырабатываемой ветряками энергии. Первое место занимает Китай, он же является лидером по темпам строительства новых ветряков и АЭС.

Однако такие установки, как и любой промышленный ветряк, лучше всего работают в прибрежных зонах, где ветер силен и достаточно стабилен. Поэтому перед проектированием новых масштабных ветряных электростанций следует сверяться с годовой картой ветров, учитывающей ветер на высоте ветряных генераторов, и учитывать «мёртвую зону» ветряного генератора — генераторы изменяют и замедляют воздушный поток, поэтому при слишком тесном расположении ветряков возможна потеря мощности. В обычных прогнозах погоды сообщают скорость ветра на высоте 10 м над землёй, а для ветровой турбины следует измерять скорость на высоте ротора, где ветры гораздо сильнее. Поэтому для ветряной энергетики важен запуск метеоспутников. Почему же даже такие гиганты оправданы в строительстве? Всё дело в том, что зелёная энергетика является действительно дешёвой не только в эксплуатации, но и в строительстве. По данным доклада Управления Энергетической Информации США за 2021 год, самыми недорогими (при правильном выборе региона размещения) станциями являются солнечные и ветряные энергоустановки (См. Рис.3).



**Рисунок 3** - Общие затраты на возведение электростанции в расчете на кВт мощности

### **1.3. Воздействие на окружающую среду**

Периодически разгорается полемика о воздействии ветроэнергетики на окружающую среду — опасность для птиц, негативное влияние на природу и здоровье человека в связи с издаваемым слышимым шумом, инфразвуком и электромагнитным излучением.

Что касается птиц, если говорить об антропогенном факторе, то, как показывают доступные исследования, больше всего птиц, в порядке убывания, гибнет от домашних кошек (в Новой Зеландии вообще введён запрет на свободный выгул домашних кошек, т.к. они стали угрозой вымирания для целых видов), столкновений со стёклами зданий и контакта с линиями электропередачи. От ветряных станций, в пересчёте на ГВт вырабатываемой энергии, гибнет в 5 раз меньше птиц, чем от традиционных электростанций на ископаемом топливе. То есть ветряная энергетика в любом случае безопасней классических электростанций. Но даже на эту проблему давно обратили внимание: поэтому ветряки вращаются медленнее, а гондолы ветряных генераторов сделали неподходящими для гнездования.

Шум и электромагнитное излучение генераторов, разумеется, в некоторой степени присутствуют. В разных странах существуют норма на расстояние в 500-1000 метров от ветряных генераторов до жилья. Мощность электромагнитного излучения падает обратно квадрату расстоянию, и поэтому даже непосредственно под ветряком не представляет никакой опасности, в повседневной жизни мы сталкиваемся с гораздо более мощными источниками. Например, присутствующие повсюду точки доступа Wi-Fi, и мобильные телефоны.

Шум же ветровой турбины непосредственно у генератора не выше, чем у работающей газонокосилки, и существенно меньше, чем у газогенераторных или паровых турбин. Разумеется, жить под большим ветряком неприятно и нежелательно, так же как рядом с железнодорожными путями или оживлёнными шоссе. Для того чтобы шум не мешал, необходимо строить ветровые электростанции на расстоянии от жилых домов. Во всём мире рекомендуемый максимальный уровень шума в ночное время примерно равен 35-45дБ. Это примерно равно громкости работающего внешнего блока кондиционера. Исследование, проведённое компанией Resonate Acoustics по заказу министерства защиты окружающей среды Южной Австралии, показало, что уровень инфразвука вблизи ветровых ферм и в других районах в домах вблизи оцениваемых ветряных турбин не выше, чем в других городских и сельских районах, и вклад ветровых турбин в измеренные уровни инфразвука является незначительным по сравнению с фоновым уровнем инфразвука в окружающей среде. Такие же данные по слышимому шуму и инфразвуку показали исследования в Германии — на расстоянии больше 480 метров от ветряков никаких воздействий, отличающихся от общего шума, не найдено. Государственный департамент здоровья Канады провел большое исследование о влиянии инфразвука на здоровье человека, в числе прочего, показав, что шум ветряных генераторов и инфразвук не влияет на насекомых и животных.

До сих пор слабо исследованной проблемой является глобальное влияние ветрогенераторов на карты ветров. Размещение ветряков на малых площадях не оказывает какого-либо заметного влияния на климат, однако при полномасштабном переходе на зелёную энергетику, ситуация может измениться. Так же, как размещение солнечных электростанций меняет локальный уровень инсоляции, большие кластеры ветряков, теоретически, могут ощутимо влиять на ветровую обстановку — генераторы при своей работе отбирают часть энергии ветра, замедляя его поток. Замедление воздушных потоков, в свою очередь, может вызывать изменение температуры. Конечно, влияние ветроэнергетики на экологию в любом случае будет меньше, чем от сжигания угля. Однако, убедиться действительно ли ветрогенераторы способны негативно влиять на климат, получится только на практике, причём для этого нужно длительное наблюдение — погода явление

нестабильное даже если рассматривать десятилетний период. Однако даже если ошутимое влияние будет выявлено, его можно использовать во благо — подобно тому, как деревья высаживают вдоль полей для избежания эрозии почв, ветряные генераторы можно ставить в районах, где эрозия почвы особенно сильна (а это как раз районы с сильными ветрами), одновременно вырабатывая энергию и решая экологическую проблему. Кроме того, даже теоретически, наименьшее влияние на ветровую обстановку оказывают активно возводимые сейчас морские ветряные генераторы, единственным ошутимым минусом которых является их более высокая стоимость из-за особенностей возведения и прокладки электрических кабелей по дну до суши.

#### **1.4. Новая инженерия**

Разумеется, инженерам хочется избежать минусов, свойственным используемым сейчас ветряным генераторам. Самым интересным и выглядящим наиболее жизнеспособным из проектов, имеющих кардинально новый подход к энергии ветра, пожалуй, является создание безлопастных ветрогенераторов. Испанская компания Vortex Bladeless ещё 6 лет назад сделала первый рабочий прототип такой установки. Со стороны устройство выглядит, как слегка покачивающийся под ветром вертикальный цилиндр, установленный на неподвижном основании, чем напоминает автомобильную игрушку в виде собаки с качающейся головой.

Генерирование электроэнергии происходит за счёт аэродинамического эффекта вихреобразования. То есть устройство не просто покачивается от ветра, и вырабатывает энергию за счёт сил упругости. Если углубляться в гидромеханику, то, когда ветер проходит через мачту столба, поток видоизменяется в круговые вихри. Как только частота кругового вихря совпадает с собственной резонансной частотой цилиндра ветрогенератора и возникает аэроупругий флаттер (динамические крутильные колебания). Как правило, в инженерном и архитектурном проектировании специалисты всячески избегают этого феномена, так как он приводит к разрушению конструкций. Самый известный негативный пример, заставивший инженеров работать над этим эффектом – разрушение Такомского моста в 1940 году при скорости ветра в 18 м/с., событие произошло всего через четыре месяца после открытия. Видео обрушения можно свободно найти в интернете. Именно этот, обычно негативный, эффект обеспечивает работу безлопастного генератора. Цилиндр и его крепление сделаны из полимеров, хорошо выдерживающих нагрузки от ветра и подлежащих вторичной переработке, а движение магнитов, прикреплённых к цилиндру относительно магнитов в основании, создаёт индукционный ток в катушках, что позволяет вырабатывать энергию. Такая конструкция намного проще и надёжнее, чем обычные ветряные генераторы, а возможность изменения резонансной частоты цилиндра за счёт изменения его длины (что предусмотрено конструкцией), позволяет работать в широком диапазоне скорости ветра. Причём, если при ураганном ветре обычные генераторы вынуждены разворачивать весь ротор или хотя бы лопасти по ветру, чтобы их не разрушило, то безлопастные генераторы останутся целы, так как на высоких скоростях ветра явления резонанса не будет, а аэродинамически это просто столб, который ветер будет легко обтекать, не ломая.

Первый коммерческий вариант такого генератора имеет размер высоту 12.5 метров, весит около 100 кг и выдаёт мощность около 4 кВт энергии. В будущем компания планирует также создать промышленный вариант ветрогенераторов высотой до 140 метров с энергетической мощностью до 1 мегаватта. В целом, эффективность этих генераторов при той же скорости ветра на единицу площади сечения воздушного потока, с которой генератор забирает энергию, меньше примерно на 30%, чем у классических ветряков. Однако в итоге энергия должна быть дешевле на 30-40%, так как эти безлопастные ветряки дешёвы в производстве и имеют гораздо меньшие эксплуатационные издержки за счёт отсутствия движущихся частей и имеют гораздо меньшую «мёртвую зону», т.е. их можно располагать

гораздо ближе друг к другу. Кроме того, такие генераторы обладают ещё несколькими плюсами, среди которых возможность эффективной работы при слабых ветрах скоростью 3-4 м/с (в то время как для большинства ветряков оптимальными являются 10 м/с), и почти полное отсутствие шума. Такой набор качеств делает оптимальным вариант использования уже существующих вариантов этих генераторов внутри городов, не мешая жителям, оставив свободные просторы для обычных ветряков. Таким образом, безлопастные генераторы, скорее всего не вытеснят, а дополнят классические ветряные генераторы.

### **1.5. Новые типы турбин**

Ещё одним, пока не получившим широкого применения, вариантом является запуск турбин в воздух. Дело в том, что на высоте около полукилометра дуют стабильные воздушные потоки, что делает очень привлекательным идею вырабатывать ветряную энергию именно там, ведь тогда мы будем слабо зависеть от погоды и региона размещения. Как же инженеры предлагают решить данную задачу? Варианта по большому счёту два. Первый: жёсткий планер с размещёнными на нём турбинами. Второй: аэростат или дирижабль. Разумеется, в обоих случаях необходим трос-проводник для передачи энергии на землю, что сильно осложняет дела. Но рабочие образцы, правда, пока не нашедшие промышленного применения, уже есть.

Компания Altaeros предпочла вариант аэростата. Причём генераторная турбина расположена внутри него. По виду эта конструкция похожа на турбину самолёта с надувным кожухом, наполненным гелием. За счёт гелия этот аэростат поднимается на высоту около 600 метров и закрепляется тросами-кабелями на земле. Идея, в общем, достаточно проста, и не очень нова. Задумка в большинстве случаев заканчивается на расчёте стоимости обслуживания. С одной стороны, такие генераторы легко перевозить с места на место и устанавливать, они помещаются в грузовик. С другой стороны, гелий дорог и достаточно текуч, поэтому генераторы придётся периодически опускать на землю и дозаправлять новой порцией гелия. Кроме того, их вероятно, придётся опускать во время ураганов, иначе велика опасность обрыва тросов. Здесь мог бы помочь водород — он дешевле гелия, но из-за его взрывоопасности это слишком рискованно. Разработчики из Altaeros же выбрали интересный путь для снижения эксплуатационных расходов — дополнительно зарабатывать на аэростатах, помещая на борт не только ветровую турбину, но ещё и метеорологическое и телекоммуникационное оборудование. При этом разработчики утверждают, что использовать генераторы можно в разных климатических зонах, аэростаты достаточно надёжны, чтобы выдержать перепады температур и влажности. Наверное, если этот проект и найдёт применение, то это будет всё-таки что-то вроде экстренного развёртывания мобильных электростанций в условиях катастроф — здесь и телекоммуникационное оборудование пригодится. Такие аэростаты могут очень пригодиться при ликвидации последствий наводнений и ураганов, которых становится всё больше из-за глобального изменения климата.

Компания Makani, некогда входящая в холдинг Alphabet, а ныне закрытая, с 2007 по 2020 год занималась разработкой второго варианта летающих ветряных генераторов — планеров с генераторными турбинами на борту. Промышленных образцов компанией создано не было, но они сделали хорошую научную базу для новых компаний, и разработки в этой области продолжают. С планером дела обстоят немного сложнее — его тяжелее поднимать и опускать в небо, ему сложнее работать при нестабильных ветрах. При этом планер рассчитан так, что после подъёма начинает петлять в воздухе восьмёрками, подобно воздушному змею во время сильного ветра, это позволяет вырабатывать больше энергии. С подъёмом и посадкой задачу удалось решить достаточно изящно — во время фаз взлёта и приземления генераторные турбины работают не на выработку, а на потребление энергии, превращаясь в моторы, таким образом, во время взлёта и посадки мы имеем уже не планер, а

маленький самолёт. Со стабильностью же выработки энергии во время переменных ветров пришлось бороться при помощи программного обеспечения и расчётов конструкции планера, по информации компании, нагрузки на планер при полёте составили от 7 до 15G. Кульминацией разработки стал прототип воздушного генератора, созданный в декабре 2016 года. По итогу получился планер из углеродного волокна, несущий на борту 8 генераторов/двигателей, и имеющий размах крыльев небольшого реактивного самолета, способный генерировать до 600 киловатт электроэнергии. Контроль стабильности полёта планера обеспечивает бортовой компьютер, при необходимости, регулирующий траекторию и высоту при помощи моторов. К сожалению, из-за сложности производства и эксплуатации, такой вид генераторов вряд ли будет конкурентоспособен на рынке.

#### **Заключение.**

Зелёная энергетика будет вытеснять с рынка угольные и газовые электростанции. Ветряная энергетика занимает в области использования альтернативных источников энергии для ТЭК первое место. У России есть все возможности для освоения ветроэнергетических технологий. Данный процесс является частью более широкого тренда на декарбонизацию и включение российского государства в глобальный энергетический переход. На сегодняшний день «у России выгодные стартовые позиции: удачное географическое расположение, способность экономики к диверсификации, наличие необходимых минералов и редкоземельных элементов, развитая гидроэнергетика, перспективная научная база. То есть все необходимое, чтобы создать новую отрасль» [2, С. 55].

Согласно исследованиям, проведенным в США, полная энергетическая окупаемость ветряных электростанций наступает всего за 5-7 месяцев, при том, что срок их службы составляет не меньше 20 лет, что является дополнительным преимуществом внедрения ветроэнергетических технологий на долгосрочную перспективу.

Накоплен международный опыт в разработке и внедрении ветроэнергетических технологий. В то же время требуется более тщательная апробация методик оценки взаимного влияния ветроэнергетических электростанций и окружающей среды. Исследователи отмечают глобальное влияние ветрогенераторов на карты ветров. Размещение ветряков на малых площадях не оказывает какого-либо заметного влияния на климат, однако при полномасштабном переходе на зелёную энергетику, ситуация может измениться. Кроме того, существуют проблемы другого плана, вызванные влиянием политических и экономических факторов. В частности «в сложившейся ситуации затруднительно переходить на ветряки, т.к. производители промышленных установок официально ушли с рынка России. Если говорить про ветряную энергетику, разумным вариантом будет коллаборация с Китаем, но это долгий процесс, кроме того, нужно налаживать собственные производства ветряных энергетических установок, а также увеличивать добычу и разведку редкоземельных элементов (80 % добываемых РЗЭ – это неодим, необходимый для ветрогенераторов и электромоторов), чтобы в перспективе стать независимыми от Китая» [3, С. 79].

#### **Список источников:**

1. Евсеев В.О. Особенности тенденций развития макроэкономических показателей России // ЦИТИСЭ. 2015. № 2(2). С. 13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24194980>
2. Севостьянов П.И., Макаев А.Р. Глобальный вызов: формирование международного климатического императива // Social Phenomena and Processes. 2022. № 2 (3). С. 47-56. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50367920>
3. Севостьянов П.И., Макаев А.Р. Политические условия декарбонизации в рамках энергетического перехода: международные риски и возможности для России //

Среднерусский вестник общественных наук. 2023. Т. 18, № 1. С. 72-86. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50321115>

4. Севостьянов П.И., Матюхин А.В. "Энергетический переход" в современной международной повестке // Обозреватель. 2022. № 2 (385). С. 19-31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48017462>

5. Dent C.M. Wind energy development in East Asia and Europe // Asia Eur J. 2013. Vol. 11, P. 211–230. EDN: [WAILDL](#), DOI: [10.1007/s10308-013-0360-8](https://doi.org/10.1007/s10308-013-0360-8)

6. El Yazidi M., Redouane A., Benzirar M. et al. Analysis of Wind Data and Assessment of Wind Energy Potential in Lamhiriz Village, Morocco // Appl. Sol. Energy. 2019. Vol. 55. P. 429–437. EDN: [RHBBPC](#), DOI: [10.3103/S0003701X19060033](https://doi.org/10.3103/S0003701X19060033)

7. Katsarava M., Gaschler R. Fluctuations in the wind energy supply do not impair acceptance of wind farms // Sustainable Energy res. 2023. Vol. 10, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40807-022-00071-8>

8. King D., Schrag D., Dadi Z. Climate change: A risk assessment climate change risks to national and international security // Renewable Resources Journal. 2015. Vol. 29, № 3. P. 14–21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47613248>

9. Kumar G.B.A., Shivashankar Optimal power point tracking of solar and wind energy in a hybrid wind solar energy system // International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2022. № 13. P. 77–103. EDN: [NZAVHR](#), DOI: [10.1007/s40095-021-00399-9](https://doi.org/10.1007/s40095-021-00399-9)

10. Miryousefi A.S., Ahadi A., Hayati H. Novel method for reliability and risk evaluation of wind energy conversion systems considering wind speed correlation // Frontiers in Energy. 2016. № 10. P. 46–56. EDN: [KZVAXG](#), DOI: [10.1007/s11708-015-0384-4](https://doi.org/10.1007/s11708-015-0384-4)

11. Nwaigwe K.N. Assessment of wind energy technology adoption, application and utilization: a critical review // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2022. Vol. 19. P. 4525–4536. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03402-2>

12. O’Sullivan M. Industrial life cycle: relevance of national markets in the development of new industries for energy technologies – the case of wind energy // J Evol Econ. 2020. № 30. P. 1063–1107. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00191-020-00677-5>

13. Sangroya D., Nayak J. Effectiveness of state incentives for promoting wind energy: A panel data examination // Frontiers in Energy. 2015. № 9. P. 247–258. EDN: [EWRADX](#), DOI: [10.1007/s11708-015-0364-8](https://doi.org/10.1007/s11708-015-0364-8)

14. Zakhidov R.A. Modern trends in wind-power engineering // Appl. Sol. Energy. 2008. Vol. 44. P. 147–148. EDN: [XMRNQN](#), DOI: [10.3103/S0003701X08020217](https://doi.org/10.3103/S0003701X08020217)

15. Zheng C., Zhuang H., Li X. et al. Wind energy and wave energy resources assessment in the East China Sea and South China Sea // Sci. China Technol. Sci. 2012. Vol. 55. P. 163–173. EDN: [WWENGU](#), DOI: [10.1007/s11431-011-4646-z](https://doi.org/10.1007/s11431-011-4646-z)

## References:

1. Evseev V.O. Features of trends in the development of macroeconomic indicators of Russia. *CITISE*, 2015, no. 2(2), p. 13. (In Russian). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24194980>

2. Sevostyanov P.I., Makaev A.R. Political conditions of decarbonization within the framework of the energy transition: international risks and opportunities for Russia. *Central Russian Bulletin of Social Sciences*, 2023, vol. 18, no. 1, pp. 72-86. (In Russian). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50321115>

3. Sevostyanov P.I., Makaev A.R. Global challenge: the formation of an international climate imperative. *Social Phenomena and Processes*, 2022, no. 2 (3), pp. 47-56. (In Russian). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50367920>

4. Sevostyanov P.I., Matiukhin A.V. "Energy transition" in the modern international agenda. *Observer*, 2022, no. 2 (385), pp. 19-31. (In Russian). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48017462>
5. Dent C.M. Wind energy development in East Asia and Europe. *Asia Eur J*, 2013, vol. 11, pp. 211–230. EDN: [WAILDL](#), DOI: [10.1007/s10308-013-0360-8](https://doi.org/10.1007/s10308-013-0360-8)
6. El Yazidi M., Redouane A., Benzirar M. et al. Analysis of Wind Data and Assessment of Wind Energy Potential in Lamhiriz Village, Morocco. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, pp. 429–437. EDN: [RHBBPC](#), DOI: [10.3103/S0003701X19060033](https://doi.org/10.3103/S0003701X19060033)
7. Katsarava M., Gaschler R. Fluctuations in the wind energy supply do not impair acceptance of wind farms. *Sustainable Energy res*, 2023, vol. 10, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40807-022-00071-8>
8. King D., Schrag D., Dadi Z. Climate change: A risk assessment climate change risks to national and international security. *Renewable Resources Journal*, 2015, vol. 29, no. 3, pp. 14-21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47613248>
9. Kumar G.B.A., Shivashankar Optimal power point tracking of solar and wind energy in a hybrid wind solar energy system. *International Journal of Energy and Environmental Engineering.*, 2022, no 13, pp. 77–103. EDN: [NZAVHR](#), DOI: [10.1007/s40095-021-00399-9](https://doi.org/10.1007/s40095-021-00399-9)
10. Miryousefi A.S., Ahadi A., Hayati H. Novel method for reliability and risk evaluation of wind energy conversion systems considering wind speed correlation. *Frontiers in Energy*, 2016, no 10, pp. 46–56. EDN: [KZVAXG](#), DOI: [10.1007/s11708-015-0384-4](https://doi.org/10.1007/s11708-015-0384-4)
11. Nwaigwe K.N. Assessment of wind energy technology adoption, application and utilization: a critical review. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 2022, vol. 19, pp. 4525–4536. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03402-2>
12. O’Sullivan M. Industrial life cycle: relevance of national markets in the development of new industries for energy technologies – the case of wind energy. *Journal of Evolutionary Economics*, 2020, no. 30, pp. 1063–1107. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00191-020-00677-5>
13. Sangroya D., Nayak J. Effectiveness of state incentives for promoting wind energy: A panel data examination. *Frontiers in Energy*, 2015, no. 9, pp. 247–258. EDN: [EWRADX](#), DOI: [10.1007/s11708-015-0364-8](https://doi.org/10.1007/s11708-015-0364-8)
14. Zakhidov R.A. Modern trends in wind-power engineering. *Appl Sol Energy*, 2008, vol. 44, pp. 147–148. EDN: [XMRNQN](#), DOI: [10.3103/S0003701X08020217](https://doi.org/10.3103/S0003701X08020217)
15. Zheng C., Zhuang H., Li X. et al. Wind energy and wave energy resources assessment in the East China Sea and South China Sea. *Sci. China Technol. Sci*, 2012, vol. 55, pp. 163–173. EDN: [WWENGU](#), DOI: [10.1007/s11431-011-4646-z](https://doi.org/10.1007/s11431-011-4646-z)

Submitted: 05 July 2023

Accepted: 07 August 2023

Published: 08 August 2023

