

2022
№4(16)

Окружающая среда и энергостудение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703
(Online)

Окружающая среда и энергосбережение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

2022 №4(16)

Научный, образовательный, культурно-просветительский сетевой журнал
Scientific, educational, cultural and educational network Journal

Основан в 2018 году,
1-й номер вышел в январе 2019 г.
Выходит четыре раза в год
при научно-информационной поддержке
Географического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова.

Founded in 2018,
The 1st issue was released in January 2019.
Published four times a year with scientific and
information support
Geographical faculty of Lomonosov Moscow
State University.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 74521 от 7 декабря 2018 г.

Индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», Public Knowledge Project, Open Archives Initiative, OpenAIRE



Главный редактор

Залиханов Михаил Чоккаевич, д.г.н., профессор,
академик РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зам. главного редактора

Дегтярев Кирилл Станиславович, к.геогр.н
(МГУ им. М. В. Ломоносова)

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН)

Ответственный секретарь

Соловьев Дмитрий Александрович, к.физ.-мат.н.
(ИО РАН).

Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь РИА
(МЗИ)

Березкин Михаил Юрьевич, к.геогр.н (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН).

Гулев Сергей Константинович, д.ф.-м.н., профессор, член-
корреспондент РАН (ИО РАН).

Дегтярев Кирилл Станиславович, к.геогр.н (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Добролюбов Сергей Анатольевич, д.геогр.н., профессор, член-
корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН).

Залиханов Алим Михайлович, к.геогр.н, (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Киселева Софья Валентиновна, к.физ.-мат. н. (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Красовская Татьяна Михайловна, д.геогр.н., профессор (МГУ
им. М. В. Ломоносова).

Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (KTH Royal Institute of
Technology, Sweden).

Нигматулин Роберт Искандрович, д.ф.-м.н., профессор,
академик РАН (ИО РАН).

Панченко Владимир Анатольевич, к.т.н., доцент (Российский
университет транспорта (МИИТ))

Показеев Константин Васильевич, д.физ.-мат.н., профессор
(МГУ им. М. В. Ломоносова).

Рафикова Юлия Юрьевна, к.геогр.н. (МГУ им. М.В.
Ломоносова)

Соловьев Дмитрий Александрович, к.физ.-мат.н.,
ответственный секретарь (ИО РАН).

Тикунов Владимир Сергеевич, д.геогр.н., профессор (МГУ им.
М. В. Ломоносова).

Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ
возобновляемых источников энергии географического
факультета МГУ им. М.В.Ломоносова
Тел./ факс +7 (499) 939-42-57
e-mail: info@jeees.ru

Официальный сайт журнала <http://jeees.ru>

Окружающая

среда и энергосодержание. 2023 №4(16)

Научный, образовательный, культурно-просветительский
сетевой журнал (периодическое сетевое издание)

Редактор К.С.Дегтярев

Корректор К.Г.Горюшкин

Верстка М.Ю.Березкин

Перевод на английский язык

К.С.Дегтярев

Подписан в свет 20.01.2023.

Издатель:

ООО "Глобализация и устойчивое развитие. Институт
энергетической стратегии"

125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011.

Тел./факс: +7 (495) 229-4241 доб. 224.

E-mail: guies@guies.ru.

Перепечатка или воспроизведение материалов
номера любым способом полностью или по частям
допускается только с письменного разрешения Издателя.

Учредитель: Соловьев Д.А.

© Редакция журнала

«Окружающая среда и энергосодержание», 2020

Государственный Рубрикатор НТИ России
(ГРНТИ): 37; 39; 44; 45

Содержание

К.С. Дегтярев, Ю.Ю. Рафикова

**Всероссийская научная молодёжная школа с
международным участием «Возобновляемые источники
энергии и приоритеты научно-технологического развития
энергетики России 4**

К.С. Дегтярев

**Подходы к географической экспертизе и районированию
территорий для развития возобновляемой энергетики10**

О.А. Любчик

**Роль возобновляемой энергетики в декарбонизации
энергетического сектора Республики Беларусь27**

Т.И. Андреев, Ю.Ю. Рафикова, Н.В. Тетерина

**Геоинформационный инструмент для анализа
энергетического потенциала древесных отходов как фактора
циркулярной экономики в регионах РФ38**

Д.А. Соловьев, Л.В. Нефедова

**Перспективы использования европейской ветроэнергетики
для преодоления энергетического кризиса50**

К.В. Чекарев, А.М. Залиханов

**Парусная энергетическая установка наземного базирования:
увеличение мощности59**

В.М. Глазачев

**Проекты развития возобновляемой энергетики в странах
Центрально-Азиатского региона71**

Content

K.S. Degtyarev, Yu.Yu. Rafikova

**All-Russian Youth Scientific School "Renewable Energy Sources
and Priorities for Scientific and Technological Development of
Russian Energy Industry..... 4**

K.S. Degtyarev

**Approaches to a Geographic Expert Evaluation and Zoning of
Territories for Renewable Energy Development.....10**

V.A. Liubchik

**Role of Renewable Energy in Decarbonization of Belarus Energy
Sector.....27**

T.I. Andreenko, Yu.Yu. Rafikova, N.V. Teterina

**Geoinformation Tools for Analysis of the Energy Potential of
Wood Waste as a Factor of Circular Economy in the Regions of
Russian Federation38**

D.A. Solovyev, L.V. Nefedova

**The Prospects for the Use of European Wind Energy to Overcome
the Energy Crisis50**

K.V. Chekarev, A.M. Zalikhanov

The Power Increasing of the Land-based Sailing Power Plant.....59

V.M. Glazachev

**Renewable Energy Development Projects in the Countries of
Central Asian Region.....71**

УДК 621.311.24.

**Всероссийская научная молодёжная школа с
международным участием «Возобновляемые
источники энергии и приоритеты научно-
технологического развития энергетики России»**

Дегтярев Кирилл Станиславович ^[0000-0002-1738-6320] ¹,
Рафикова Юлия Юрьевна ^[0000-0003-3204-9135] ²

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

¹E-mail: kir1111@rambler.ru

²E-mail: ju.rafikova@gmail.com

Аннотация. Статья информирует об очередной всероссийской научной молодёжной школе, посвящённой возобновляемой энергетике – «Возобновляемые источники энергии и приоритеты научно-технологического развития России», прошедшей на географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова. Рассмотрены лекции, доклады, основные направления и вопросы конференции, отражающие ситуацию с направлениями развития энергетики в России и в мире в перспективе.

Ключевые слова: научная школа, образование, молодые учёные, возобновляемые источники энергии, география энергетики, биоэнергетика, ветроэнергетика, электротранспорт, солнечная энергетика, водородная энергетика, аккумуляция энергии.

16-17 ноября 2022 года на географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова прошла очередная Всероссийская научная молодёжная школа (НМШ) с международным участием «Возобновляемые источники энергии и приоритеты научно-технологического развития энергетики России», о которой сообщалось ранее [1]. Это уже тринадцатая по счёту НШМ – первое мероприятие состоялось в 1999 году. Традиционно НМШ проходят под эгидой Географического факультета МГУ при тесном сотрудничестве с другими

академическими и производственными организациями, работающими в сфере энергетики, исследования и использования природных ресурсов.

В этот раз в качестве её соорганизатора выступил Институт энергетических исследований (ИНЭИ) РАН.



Рис. 1. Обсуждение докладов стендовой сессии НМШ ВИЭ-2022.



Рис.2. Участники НМШ ВИЭ-2022

На открытии Школы вступительными словами поприветствовали участников заместитель декана географического факультета МГУ по научной работе С.А. Сократов и директор Института энергетических исследований РАН академик С. П. Филиппов. После этого мероприятие продолжилось лекциями ведущих

специалистов по возобновляемой энергетике и устными и стендовыми докладами молодых ученых.

Программа Школы включала в себя широкий спектр вопросов: от изменения климата и декарбонизации российской экономики (доклады академика С.В. Алексеенко (Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН) и д.т.н. О.С. Попеля (Объединенный институт высоких температур РАН)) до моделирования энергетических систем (доклад д.т.н. П.В. Илюшина, Институт энергетических исследований РАН) и актуальных российских технологий в области использования ВИЭ (доклады д.т.н. Е.И. Терукова (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН), к.т.н. В.Г. Масолова (руководитель ООО «Автономные электросистемы»), д.ф.-м.н. С.И. Бредихина (Институт физики твердого тела РАН)). Лекции вызвали искренний интерес и множество дискуссий среди участников Школы.

В 2022 года в мероприятии в очном и дистанционном форматах приняли участие около 150 человек - 50 докладчиков и около 100 слушателей, из 20 городов России (Москва, Санкт-Петербург, Архангельск, Белогорск (Крым), Воронеж, Грозный, Кемерово, Красноярск, Махачкала (республика Дагестан), Нижний Новгород, Новосибирск, Ростов-на-Дону, Саратов, Севастополь, Симферополь, Таганрог, Томск, Улан-Удэ, Элиста (республика Калмыкия), а также Белоруссии, Казахстана, Узбекистана и Ирана, представляющих более 30 вузов, научно-исследовательских, проектных и производственных организаций. (рис. 3)

Доклады молодых учёных Школы-2022, отражающие наиболее актуальные научные направления в этой области в России, можно сгруппировать по следующим основным тематикам:

- География возобновляемых энергоресурсов и возобновляемой энергетики, географические аспекты использования энергоресурсов;
- Государственная политика в сфере возобновляемой энергетики;
- Использование ВИЭ в составе энергосистем, проблемы и их преодоление;
- Технологии аккумулирования энергии;
- Технологии солнечной энергетики;
- Технологии биоэнергетики;
- Развитие электротранспорта, география электротранспорта и его влияние на работу энергосистем и энергопотребление и др.



Рис. 3. География участников НМШ ВИЭ 2000-2022 гг.

Как отмечалось ранее в [2] тематика докладов НМШ ВИЭ за 20-летний период варьировалась год от года вместе с возрастанием интереса в стране к тем или иным областям возобновляемой энергетики. В последние годы, вместе с развитием отрасли и увеличением поддержки научных исследований, возникли и новые тематические направления, такие как геоинформационные системы (ГИС), вопросы управления энергетическими объектами и сетями на ВИЭ, аккумулирующие системы. Обсуждения результатов данных исследований привлекали особый интерес участников Школ, а живое общение в ходе конференций приводило к возникновению новых идей и проектов, которые в свою очередь подавались на конкурсы, защищались в диссертациях и провоцировали создание новых научных групп.

Прошедшая Школа показала сохранение интереса к возобновляемой энергетике, несмотря на сложные условия в настоящее время, и наличие у неё перспектив развития в нашей стране в комплексе с развитием технологий аккумулирования энергии, водородной и атомной энергетикой и при международном взаимодействии с исследователями и практиками из стран ЕАЭС и «дальнего» зарубежья. В рамках Школы также успешно решается задача междисциплинарного взаимодействия в вопросах исследований возобновляемых энергоресурсов и развития энергетических технологий.

В завершение мероприятия лучшие доклады молодых ученых были отмечены дипломами и памятными призами. По итогам НМШ издан сборник докладов с индексацией в РИНЦ [3]. На странице НИЛ ВИЭ сайта географического

факультета МГУ можно ознакомиться с видеоматериалами и презентациями докладов [4].

Благодарность. Работа выполнена в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды"

Литература

1. Всероссийская научная молодежная школа «ВИЭ и приоритеты научно-технологического развития энергетики России». URL: <http://jeees.ru/2022/09/08/school2022/>
2. Нефедова Л. В., Рафикова Ю. Ю. Научные молодежные школы Возобновляемые источники энергии на географическом факультете МГУ имени М.В.Ломоносова // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. — 2020. — № 31-33 (353-355). — С. 12–19.
3. Возобновляемые источники энергии и приоритеты научно-технического развития энергетики России: сборник докладов Школы молодых учёных. — М.: ИНЭИ РАН, 2022. — 222 с.: ил.
4. Научная молодежная Школа «Возобновляемые источники энергии и приоритеты научно-технологического развития энергетики России». URL: http://geogr.msu.ru/structure/labs/vie/VII_nauch_school/

References

1. Vserossiyskaya nauchnaya molodezhnaya shkola «VIE I priority nauchno- texnologicheskogo razvitiya energetiki Rossii». URL:<http://jeees.ru/2022/09/08/school2022/>
2. Nefedova L. V., Rafikova Yu. Yu. Scientific youth schools Renewable energy sources at the Faculty of Geography of Moscow State University named after M. V. Lomonosov // International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology. - 2020. - No. 31-33 (353-355). — P. 12–19.
3. Vozobnovlyaemye istochniki energii I priority nauchno-texnicheskogo razvitiya energetiki Rossii sbornik dokladov Shkoly molodyx uchyonyx. — M. INEI RAN 2022. — 222 s. il.
4. Nauchnaya molodezhnaya Shkola «Vozobnovlyaemye istochniki energii I priority nauchno-texnologicheskogo razvitiya energetiki Rossii». URL: http://geogr.msu.ru/structure/labs/vie/VII_nauch_school/

All-Russian Youth Scientific School “Renewable Energy Sources and Priorities for Scientific and Technological Development of Russian Energy Industry”

Kirill Degtyarev^[0000-0002-1738-6320] ¹, Yuliya Rafikova^[0000-0003-3204-9135] ²
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

¹E-mail: kir1111@rambler.ru

²E-mail: ju.rafikova@gmail.com

Abstract. The article informs on the current international scientific conference and youth researcher's school devoted to renewable energy: “Renewable Energy Sources and Priorities for Scientific and Technological Development of Russian Energy Industry”, that took place at Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty. The issue views on the lectures, reports, principal items of the conference that reflect the situation and outlook for directions of energy development in both Russia and the World.

Keywords: conference, research school, education, young scientists, renewable energy, geography of energy, bioenergy, wind energy, electric vehicles, solar energy, hydrogen, energy storage.

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the Development Program of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Lomonosov Moscow State University "The future of the planet and global environmental changes"

УДК 911.2:911.9:504.

Подходы к географической экспертизе и районированию территорий для развития возобновляемой энергетики

Дегтярев Кирилл Станиславович ^[0000-0002-1738-6320]

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: kir1111@rambler.ru

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к комплексной географической экспертизе регионов и районирования территорий с точки зрения предпосылок развития возобновляемой энергетики. Приведены примеры проведения экспертиз такого рода, обозначены основные качественные и количественные показатели, используемые для дифференциации территорий по спектру и объёму возобновляемых энергоресурсов. Предложена схема районирования территории России для данных целей. На примерах нескольких регионов, расположенных в разных природно-хозяйственных зонах (Вологодская, Липецкая и Ростовская области и Республика Кабардино-Балкария) проводится апробация данной схемы.

Ключевые слова: возобновляемые энергетические ресурсы, географическая экспертиза, районирование, география России.

1 Введение. Понятие о комплексной географической оценке возобновляемых энергетических ресурсов территории

Использование комплексной географической оценки (экспертизы, диагностики) территории (региона) [1, 2] для определения предпосылок развития возобновляемой энергетики, ставит целью выявление, на страновом, региональном или локальном уровне, спектра возобновляемых энергоресурсов (ВЭР), который может быть использован с положительным социально-экономическим и экологическим эффектом в данных условиях.

Критерии эффективности использования ВЭР для энергообеспечения территорий включают:

1. Широту спектра (диверсификацию) ВЭР и распределение возобновляемых энергетических потоков по сезонам, что даёт ответ на вопрос о возможностях комбинированного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для удовлетворения энергетических потребностей в течение года и покрытии энергетических потребностей региона за счёт местных возобновляемых источников.

2. Величину (потенциального) спроса на энергию на данной территории, наличие потенциальных потребителей возобновляемой энергии.

3. Затраты на выработку энергии на основе ВИЭ – основными показателями являются инвестиционные затраты, операционные затраты и интегральный показатель нормированной, или выровненной, стоимости энергии (levelized costs of energy, LCOE) в сравнении с затратами на получение энергии из невозобновляемых источников.

Полноценная географическая экспертиза ВЭР территории включает исследование и оценку широкого набора характеристик, в том числе сложных и трудно поддающихся формализации. По сути, она сходна с классической географической характеристикой территории, включая физико-географическую и экономико-географическую составляющие. Различия заключаются в акценте на показателях, имеющих наибольшее значение для ВИЭ и возобновляемой энергетики. Географическое описание территории включает следующие основные характеристики:

Географическое положение – географические координаты, принадлежность к геосистеме более высокого порядка – климатическому поясу, природной зоне; положение относительно других геосистем;

- Климат;
- Геологическое строение и рельеф;
- Гидрологическая сеть;
- Почвы и растительность;
- Экономико-географические характеристики: экономико-географическое положение, население – плотность и структура расселения, хозяйство территории, структура землепользования, характеристики топливно-энергетического комплекса.

Существует связь всех этих характеристик с оценкой возобновляемых энергоресурсов и перспектив их использования.

В то же время, практически невозможно провести точное соответствие между какой-либо одним географическим параметром (например, перепадом высот, количеством осадков, плотностью населения и т.д.) и ресурсом какого-либо одного ВИЭ; необходим анализ всего комплекса параметров – именно комплексная характеристика территории даёт представления о её возобновляемых энергоресурсах и целесообразности их использования.

При этом, даже одна характеристика (например, принадлежность к природно-растительной зоне или климатическому поясу) может дать предварительное представление обо всём комплексе ВИЭ и задать направление дальнейшего поиска.

Географическую экспертизу ВЭР территории можно разбить на два основных блока: физико-географический (табл.1) и экономико-географический (табл. 4).

Таблица 1. Составляющие географической характеристики территории и их связь с оценкой возобновляемых энергоресурсов и перспектив их использования (физико-географический блок)

Составляющие	Значение для оценки ВЭР и возможностей их использования
Географическое положение	
Широта местности	Предварительная оценка потока солнечной энергии
Принадлежность к климатическому поясу и природно-растительной зоне	Предварительное представление о комплексе возобновляемых ресурсов, включая солнечную, биоэнергию (продуктивность биомассы), гидроэнергию (как следствие характерных для данной природной зоны количества осадков и увлажнения), до некоторой степени – ветровую энергию (через характерный для данного климатического пояса режим движения воздушных масс)
Положение относительно других геосистем	Наибольший интерес представляют переходные зоны между геосистемами: суша – море (или крупная река, большое озеро), равнина – горы, лес – степь (залесённые и открытые пространства). Как правило, переходные зоны отличаются более интенсивными энергетическими потоками и, как следствие, более высокими значениями и более широким спектром возобновляемых энергоресурсов
Климатические характеристики	
Поток солнечной энергии и его распределение в течение года; количество дней/часов в году с солнечным сиянием и их распределение	Уточнённая оценка потока солнечной энергии
Температуры воздуха и их распределение	Предварительное представление о потребностях в энергообеспечении. Предварительное представление о ресурсах биомассы.
Годовое количество осадков и их распределение в течение года; коэффициент увлажнения; водный баланс территории	Предварительное представление о водности рек и гидрологическом режиме и, как следствие, гидроэнергетическом потенциале, а также о продуктивности биосферы и, как следствие, биоэнергетическом потенциале
Скорости ветра и их распределение	Уточнённая оценка потока ветровой энергии
Геологическое строение, рельеф, гидросеть	
Горные породы, слагающие верхние слои, их залегание и свойства, свойства грунтов и почв	Имеет значение для оценки гидроэнергетического потенциала (проницаемость пород), биоэнергетического потенциала (условия произрастания растений), а также инженерно-геологических аспектов строительства – в т.ч. энергетических объектов.

Составляющие	Значение для оценки ВЭР и возможностей их использования
Тектоническая активность, вулканическая активность, разломы земной коры	Предварительное представление о ресурсах геотермальной энергии территории
Топография, перепады высот, уклоны местности	В сочетании с характеристиками увлажнения территории даёт более точное представление о гидроэнергетических ресурсах территории. Предварительное представление о ветроэнергетических ресурсах. Горный рельеф может рассматриваться как первичный индикатор территории с повышенными геотермальными ресурсами. Представление об инженерно-геологических аспектах строительства - в т.ч. энергетических объектов. В целом, большие перепады высот, особенно в зонах перехода от равнинной к горной местности – на орографических барьерах и в горных областях, создают специфический режим возобновляемых энергетических потоков, как правило, сопровождающийся их ростом и диверсификацией. Возобновляемые энергоресурсы горных территорий следует рассматривать в качестве особого объекта исследований.
Гидрологическая сеть, её конфигурация и густота, площадь водных объектов, характеристики речного стока в створах рек, распределение стока в течение года	Уточнённая оценка гидроэнергетических ресурсов территории. Площадь болот даёт предварительное представление о возможных торфяных ресурсах территории. Наличие крупных водных объектов служит первичным индикатором ветроэнергетических ресурсов (в береговой зоне), возможно – ресурсов волновой энергии или (в морских береговых зонах) приливной энергии. Представление о площадях, пригодных для строительства - в т.ч. энергетических объектов.
Растительность	
Тип растительности	Предварительное представление об объёме биоресурсов
Запасы древесины	Более точное представление о древесных биоресурсах
Продуктивность биомассы	Уточнённое представление о биоресурсах

Характеристики, приведённые в табл.1, можно разделить на две группы:

1. Качественные, на основе которых мы можем строить предположения и определять направления дальнейшего поиска;
2. Количественные, позволяющие нам давать более точные оценки ВЭР и, в некоторых случаях, переходить к оценке стоимостных показателей.

К первой группе относится, прежде всего, комплекс, связанный с географическим положением. На основе данных о широте местности мы можем сделать предварительный вывод о количестве поступающей солнечной энергии, в сочетании с принадлежностью территории к определённому климатическому поясу и природной зоне – также о наличии биоресурсов и гидроресурсов, отчасти и ветровых ресурсов – постольку, поскольку определённый климатический пояс

связан с определённой системой атмосферной циркуляции. Уточнение географического положения относительно переходных зон между геосистемами (суша – крупный водоём или водоток; предгорные территории, переход от залесённых к открытым пространствам) даёт нам дополнительную информацию, позволяющую сужать направление поиска территорий, наиболее благоприятных для развития возобновляемой энергетики. В общем случае, к таковым относятся территории, обладающие комбинацией следующих условий [3]:

- низкоширотное положение;
- зона влажного климата;
- прибрежное и предгорное положение.

Предварительное суждение об объёме и разнообразии ВЭР территории даёт её принадлежность к определённой климатической зоне, с которой сопряжён тёплый или холодный и влажный или сухой климат (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость ВЭР от климатической зональности

Характеристики климата	Теплый (климат низких широт)	Холодный (климат высоких широт)
Влажный	Солнечная энергия; Биоэнергия (отходы сельского хозяйства и лесопереработки); Гидроэнергия	Биоэнергия (отходы лесопереработки); Гидроэнергия
Сухой	Солнечная энергия; Биоэнергия (отходы сельского хозяйства)	-

Дополняющие характеристики связаны с географически азональными и интразональными факторами, определяемыми свойствами подстилающей поверхности: геологическим строением и тектонической активностью, рельефом, в значительной степени – характером естественного растительного покрова (табл. 3).

Комбинация зональных и интразональных факторов создаёт на Земле совокупность геосистем (территориально-природных комплексов), ранжируемых определённым образом: физико-географические пояса и зоны, страны, области, ландшафты более или менее высокого ранга. Принадлежность территории к определённой геосистеме сама по себе даёт представление о вероятном наборе и объёме ВЭР.

В свою очередь, совокупность количественных физико-географических показателей включает значения: солнечной радиации, приходящей на земную поверхность, годового количества осадков и коэффициента увлажнения, объёма речного стока, перепадов высот, скоростей ветра, объёмов и продуктивности биомассы.

Они также дают представление о возобновляемых энергоресурсах территории с различной степенью приближения. Например, большое количество осадков может быть индикатором большого объёма биоресурсов и гидроресурсов, но

непосредственные данные о приросте биомассы, расходах воды в створах рек и скоростях течения воды дают более точное представление.

Таблица 3. Примеры зависимости ВЭР от интразональных и аazonальных характеристик территории

Характеристики	Влияние на ВЭР
Возвышенные, предгорные и горные территории	Специфическая высотная зональность; Увеличение скоростей ветра; Рост количества осадков – увеличение объёма гидро- и биоэнергетических ресурсов; Увеличение перепада высот – рост гидроресурсов; в то же время – усложнение инженерно-геологических условий; Индикатор высокой тектонической активности и, как следствие, наличия доступных геотермальных ресурсов; Увеличение объёма приходящей на земную поверхность солнечной радиации вследствие роста прозрачности атмосферы на больших высотах (при вероятном уменьшении объёмов остальных видов ВЭР на высотах более 200-3000 метров).
Прибрежные территории	Увеличение скоростей ветра; При определённом положении и характере береговой линии – приливная энергия.
Открытые пространства	Увеличение скоростей ветра; Лесостепная и степная зоны обычно характеризуются развитым сельским хозяйством и, как следствие – биоэнергетическими энергоресурсами, связанными с сельскохозяйственными отходами.

В связи с этим, возможна оценка ВЭР территории исключительно на основе количественных параметров, минуя стадию исследований на качественном уровне, иными словами, сразу использовать данные инструментальных наблюдений, игнорируя результаты общих географических исследований.

Однако, качественная физико-географическая информация необходима для самого процесса выбора перспективных территорий. Например, вряд ли целесообразно детальное исследование гидроэнергетического потенциала для равнинных ландшафтов степной зоны или измерения солнечной радиации в подзоне северной тайги – в обоих случаях можно а priori сделать вывод об отсутствии перспективы.

Количественные характеристики, в свою очередь, являются неотъемлемой частью геосистем определённого типа. Например, переход от лесной к степной зоне в европейской части России происходит на 50⁰-55⁰ с.ш. и маркируется увеличением годовых сумм солнечной радиации на горизонтальную поверхность земли до уровней выше 1100 -1200 кВтч/м², снижением среднегодового количества осадков до уровня менее 500 мм, а коэффициента увлажнения – ниже уровня 1,0.

Экономико-географический блок также включает сложный и разветвлённый набор показателей (табл. 4). В отличие от физико-географической составляющей,

характеризующей «предложение» ВЭР со стороны природы, большинство экономико-географических характеристик подходят со стороны «спроса», или возможностей использования природного потенциала возобновляемых энергоресурсов, исходя из определённого состояния населения и хозяйства территории.

Таблица 4. Составляющие географической характеристики территории и их связь с оценкой возобновляемых энергоресурсов и перспектив их использования (экономико-географический блок)

Составляющие	Значение для оценки ВЭР и возможностей их использования
Средняя плотность населения	Оценка потребностей в энергообеспечении. Оценка объёмов отходов (которые можно использовать для производства энергии) и потребностях в энергообеспечении
Плотность и дисперсность расселения сельского населения [4]	Потребности в автономном энергообеспечении. Возможности размещения объектов, в том числе размещения мощностей на основе ВИЭ.
Объёмы растениеводства и животноводства	Оценка ресурсов биоэнергетики на отходах сельскохозяйственного производства
Наличие лесоперерабатывающего комплекса, объёмы заготовки и переработки древесины	Оценка ресурсов биоэнергетики на отходах лесоперерабатывающего комплекса.
Структура землепользования, доли площадей, используемых различным образом	Оценка возможностей размещения генерирующих объектов и энергетической инфраструктуры, в том числе размещения мощностей на основе ВИЭ
Уровень экономического развития региона, структура экономики, финансовые и социально-экономические показатели (ВРП, бюджет, доходы населения)	Информационная основа для выявления, с одной стороны, финансово-экономических возможностей региона в развитии возобновляемой энергетики, с другой – проблем, которые могут быть решены за счёт развития возобновляемой энергетики.
Энергетика региона: объёмы производства и потребления, баланс энергии, состояние энергетических станций и сетей, проблемы с энергообеспечением, цены на энергию	Анализ энергетических проблем региона и возможностей их решения с помощью использования местных возобновляемых энергоресурсов. Информационная основа для оценки экономической эффективности возобновляемой энергетики.

Составляющие	Значение для оценки ВЭР и возможностей их использования
Комплекс социально-институциональных факторов	Выявление готовности и желания общества по развитию возобновляемой энергетики и наличия институтов её поддержки

Ряд характеристик с позиций возобновляемой энергетики может быть интерпретирован двояко. В частности, низкая плотность населения может означать, с одной стороны, целесообразность использования местных ВИЭ для энергообеспечения, с другой – незначительный абсолютный объём потенциального спроса. Также высокий уровень экономического развития предполагает лучшие возможности развития возобновляемой энергетики – более высокий платежеспособный спрос; в то время, как более насущной потребностью это может быть для депрессивных регионов.

Возвращаясь к вопросу о критериях эффективности использования ВЭР на территории, можно с некоторой долей условности сказать, что ответ на вопрос о первой группе критериев – связанных с наличием ВЭР, в большей степени даёт физико-географическая составляющая; на второй вопрос, о потенциальном спросе на возобновляемую энергию – экономико-географическая часть; наконец, выведение результирующего параметра – стоимости энергии на территории, возможно только при совмещении результатов физико- и экономико-географического анализа, включающего как количественные оценки естественных энергетических потоков, так и анализ хозяйственных и других социальных условий исследуемой территории.

2 Опыт проведения географической экспертизы и районирования для развития возобновляемой энергетики в регионах России

Ранее автором проводилось комплексное исследование региона на примере Республики Калмыкия [5, 6], микрорайонирование данного региона на основе информации по плотности и расселению населения и показателям развития разных отраслей сельского хозяйства (растениеводства и животноводства) в районно-муниципальных образованиях республики, а также данных по солнечной радиации и скоростям ветра [7, 8], а также сравнительный экономический анализ условий эффективности малой автономной энергетики по сравнению с сетевым энергоснабжением.

Также ранее проводился анализ плотности и дисперсности расселения сельского населения, с точки зрения предпосылок развития малой автономной энергетики, по всем субъектам Российской Федерации [4].

Кроме того, на основе, прежде всего, качественной физико-географической и экономико-географической информации была создана предварительная схема макрорайонирования территории России с точки зрения возобновляемых энергоресурсов [9] с выделением четырёх крупных поясов (рис.1): 1) Арктического; 2) Лесного (северного); 3) Степного (южного) и 4) Южного

горного, а также выявлением отдельных областей в пределах или на стыках этих поясов, отличающихся повышенной концентрацией и диверсификацией возобновляемых энергетических потоков: Кольской, Южной (Крымско-Кавказской), Алтайской, Чукотско-Камчатской и Приморско-Сахалинской (табл.5).

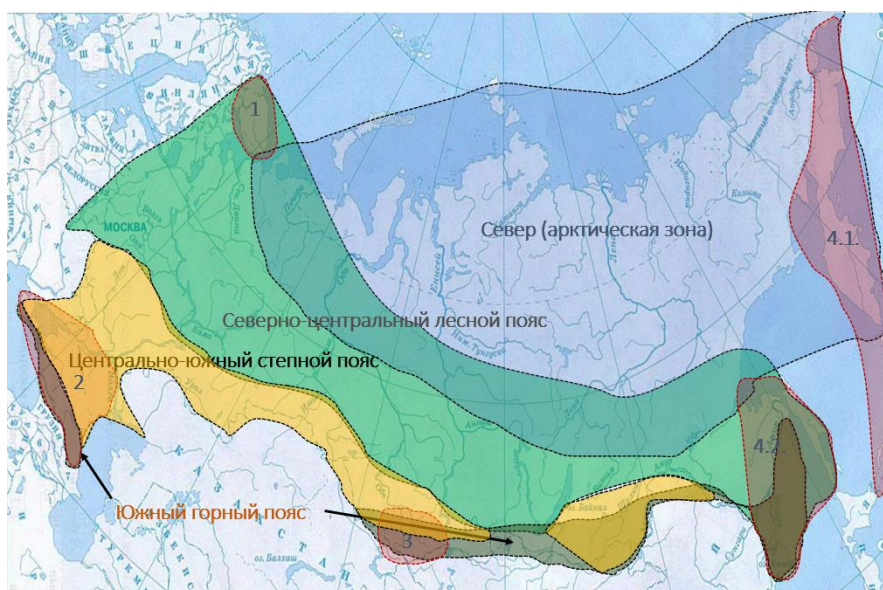


Рис. 1. Схема районирования территории России с точки зрения предпосылок развития возобновляемой энергетики [9]

Таблица 5. Пояснения к схеме районирования России (рис. 1) в контексте ВЭР [9]

Природно-хозяйственный пояс	Охватываемая территория	Особенности с точки зрения ВИЭ
Север (Арктическая зона)	Крайний север Европейской части, большая часть Сибири и Дальнего Востока	Локально высокий природный потенциал ВИЭ. Низкая плотность и высокая дисперсность расселения населения, удалённость от централизованных сетевых источников энергии
Северный лесной	Север и Центр Европейской части, Верхнее и Среднее Поволжье, Северный и Средний Урал, средняя часть Сибири, южная часть Дальнего Востока	Высокий потенциал гидроэнергии и биоэнергии на основе лесной биомассы, торфа и лесопереработки, локально – сельского хозяйства. Сравнительно низкий солнечный и ветровой, Высокая дисперсность расселения сельского населения на большей части территории

Природно-хозяйственный пояс	Охватываемая территория	Особенности с точки зрения ВИЭ
Южный степной	Центр и Юг Европейской части России, Нижнее Поволжье, Южный Урал, южные районы Западной, Средней Сибири, Прибайкалья и Забайкалья	Высокий потенциал солнечной и ветровой энергии, а также биоэнергии на отходах сельского хозяйства. Низкий потенциал гидроэнергии. Высокая доля сельского населения, часто сталкивающегося с проблемами в энергоснабжении
Южный горный	Крым и Кавказ, горы Южной Сибири, юг Хабаровского края и Приморский край	Максимальный потенциал солнечной и ветровой энергии, гидроэнергии, геотермальной энергии; высокий потенциал биоэнергии на отходах с/х. Высокая доля сельского населения, часто сталкивающегося с проблемами в энергоснабжении.
Области повышенного объёма и разнообразия ВЭР		
1. Кольская	Кольский полуостров и прилегающие акватории	Повышенный потенциал гидроэнергии, ветровой и приливной энергии
2. Южная (Крымско-Кавказская)	Кавказ, Предкавказье, Крым	Повышенный потенциал солнечной, ветровой, гидро-, геотермальной и биоэнергии
3. Алтайская	Горы и предгорья Алтая	Повышенный потенциал солнечной, ветровой и биоэнергии
4.1. Камчатско-Курильская	Камчатка, Курильские острова и прилегающие акватории	Повышенный потенциал геотермальной, приливной, гидро- и ветровой энергии
4.2. Приморско-Сахалинская	Приморский край, юг Хабаровского края, Сахалин	Повышенный потенциал солнечной, ветровой, приливной и биоэнергии

Детальная географическая экспертиза территории даже уровня районно-муниципального образования – сложная и объёмная задача, которая не может быть выполнена в рамках одной статьи.

Однако, на первом этапе возможно, на основе ряда количественных показателей, провести своего рода экспресс-анализ территории с отнесением её к определённому типу и проведением типологии территорий на основе их сравнительного анализа. В данной работе он проводится на примере нескольких регионов европейской части России с использованием опыта и методики предшествовавших исследований.

3 Информационно-методическая основа для районирования регионов европейской части России

Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы предусматривает увеличение к 2030 году доли ВИЭ до 40% в установленной мощности электростанций и до 26% в структуре выработки электроэнергии (рис. 2) [11].

Были выбраны 4 субъекта Федерации (рис.2), принадлежащие к разным природным зонам и отличающиеся различными типами хозяйства:

1. Вологодская область - в ранее предложенной типологии относящаяся к лесному поясу; в физико-географическом отношении принадлежащая подзоне средней тайги лесной зоны;
2. Липецкая область - находящаяся в лесостепной зоне;
3. Ростовская область – относящаяся к степному поясу и находящаяся в подзоне типичных степей степной зоны;
4. Республика Кабардино-Балкария – относящаяся к Южному горному поясу и расположенная в зоне высотной поясности Северного Кавказа; рассмотрен регион центральной части Северного Кавказа, учитывая существенные физико-географические различия между его западным и восточным секторами.

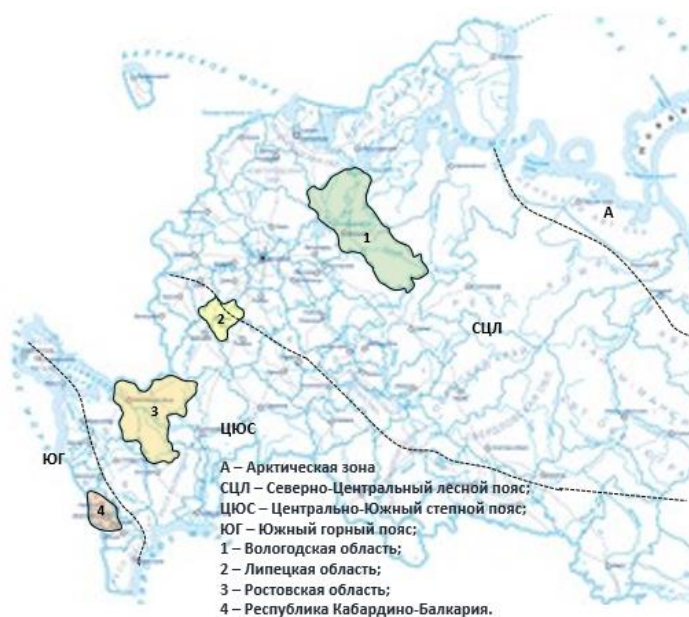


Рис. 2. Местоположение исследуемых регионов

Для сравнительной оценки и типологии территорий был выбран ряд количественных показателей (табл. 6), отвечающих принципам простоты, доступности и охвата основного спектра возобновляемых энергоресурсов.

Таблица 6. Показатели для экспресс-оценки ВЭР территорий и их типологии

Показатель [источники]	Ед. изм.	Комментарии
Солнечная радиация, приходящая на 1 м ² горизонтальной поверхности в январе [10], средние климатические данные	кВтч/м ²	Максимальные различия между территориями, расположенными на разных широтах, приходится на зимнее время, в связи с чем сопоставление зимних показателей даёт более контрастную картину (по сравнению со средними) и более наглядно иллюстрирует проблематику использования солнечной энергии. Используются данные в узлах координатной сетки с шагом 1 ⁰ широты и 2 ⁰ долготы
Среднегодовые скорости ветра на высоте 10 метров [10], средние климатические данные	м/с	Используются данные в узлах координатной сетки с шагом 1 ⁰ широты и 1 ⁰ долготы. Высота 10 метров выбрана в связи с ориентацией, прежде всего, на развитие малой автономной возобновляемой энергетики; используются данные только для равнинных территорий вследствие недостатка данных по горным областям
Местный речной сток [11], средний в пересчёте на 1 га площади региона, усреднённые данные	м ³ /га	Даёт предварительное представление об объёмах гидроресурсов территории
Запасы древесины (лесных ресурсов), средние в пересчёте на 1 га площади региона [12]	м ³ /га	Даёт предварительное представление о биоресурсах лесного хозяйства
Сборы зерновых культур (средние за 2016-2020 гг.) [13], в пересчёте на 1 га общей площади региона	кг/га	Даёт предварительное представление о биоресурсах отходов сельского хозяйства
Средняя площадь, приходящаяся на одного сельского жителя - показатель, обратный средней плотности сельского населения (рассчитанной на основе данных по оценке населения на начало 2021 года) [13]	га/чел.	Даёт предварительное представление, с одной стороны, о возможных потребностях в автономном энергообеспечении за счёт местных ВИЭ (расстояние между потенциальными потребителями), с другой – о наличии свободных пространств для размещения мощностей

На данном этапе этот подход не позволяет вывести абсолютные пороговые показатели, на основе которых можно судить о стоимости использования возобновляемой энергетики в данном регионе. Прежде всего, он даёт возможность разделить регионы по сравнительным преимуществам использования разных видов ВЭР, провести их типологию и районирование по данному признаку и задать направления более детальных исследований.

4 Результаты и обсуждение

Вышеперечисленные показатели по регионам (табл. 7) демонстрируют существенные изменения всего комплекса ВИЭ при смене природных и хозяйственных зон и подтверждают предложенную ранее схему районирования.

Таблица 7. Различия регионов

Регион	Вологодская обл.	Липецкая обл.	Ростовская обл.	КБР
<i>Координаты</i>	58-62 ⁰ с.ш. 36-48 ⁰ в.д.	52-53 ⁰ с.ш. 38-40 ⁰ в.д.	46-50 ⁰ с.ш. 39-44 ⁰ в.д.	43-44 ⁰ с.ш. 42-45 ⁰ в.д.
<i>Площадь, тыс. км²</i>	145	24	101	13
<i>Численность сельского населения, тыс.чел.</i>	314	399	1 331	417
Солнечная радиация в январе, кВтч/м ²	10,3	28,2	32,0	45,8
Среднегодовые скорости ветра, м/с	2,5	4,5	4,6	-
Местный речной сток, м ³ /га	2 906	1 331	426	2 887
Запасы древесины, м ³ /га	116,4	13,5	2,2	28,2
Сборы зерновых, кг/га	12	1 380	1 199	925
Площадь на одного сельского жителя, га/чел.	46,1	6,0	7,6	3,0

Территория Вологодской области, расположенная в лесной зоне, отличается минимальными показателями, характеризующими солнечные, ветровые и сельскохозяйственные биоэнергоресурсы, но наибольшими (среди равнинных территорий) величинами, определяющими гидро- и лесные биоэнергоресурсы. В дополнение можно отметить и большие запасы торфа в Вологодской и других северных областях, рассматриваемого как медленно восстанавливаемую разновидность возобновляемых биоэнергоресурсов.

В лесостепной и степной зонах – в Ростовской и Липецкой областях, напротив, высоки показатели солнечных, ветровых и биоэнергоресурсов сельского хозяйства при минимальных значениях по лесным биоэнергоресурсам и гидроэнергоресурсам.

Далее на юг и с переходом к кавказской горной системе, в нашем случае – на территории Кабардино-Балкарии, резко растут показатели гидроэнергетических ресурсов и продолжается рост солнечной энергии, а также увеличение ресурсов древесной биомассы при некотором снижении, относительно степной зоны, биоэнергетических показателей сельского хозяйства. Оценка ветровых энергоресурсов в горных районах требует отдельных исследований на локальном уровне.

Помимо зональных факторов, свою роль играет специфика подстилающей поверхности данной территории. В частности, более высокие скорости ветра в степной зоне, вероятно, связаны с открытыми незалесёнными пространствами. При этом максимальные значения скоростей ветра в Ростовской области – более 5,2 м/с, наблюдаются на юго-западе и юге области, на территориях, прилегающих к побережью Азовского моря; также они повышены – до 4,7 м/с, в южной части области, в низовьях Дона и Кумо-Манычской впадине. За счёт этого средние скорости ветра по Ростовской области оказываются несколько выше, чем в Липецкой. Также существенно более высокие значения солнечной радиации для Кабардино-Балкарии по сравнению с Ростовской областью могут быть связаны не только более низкоширотным положением, но и с ростом прозрачности атмосферы, однако этот вопрос также требует отдельных исследований.

В работе не рассматривается перепад высот в пределах территорий, определяющий, прежде всего, гидроэнергетические ресурсы территории, наряду с объёмами стока. Это также предмет отдельных детальных исследований. Кроме того, на равнинных территориях эта величина сопоставима – разница между самыми высокими и самыми низкими точками в пределах Вологодской, Липецкой и Ростовской областей составляет 250-300 метров, а в Кабардино-Балкарии превышает 5000 метров, что обеспечивает максимальный гидроэнергетический потенциал.

В дополнение, низкая плотность сельского населения на севере европейской части России (Вологодская область) и, как следствие, большие свободные площади и большие расстояния между потребителями создают там дополнительные предпосылки для автономного энергоснабжения территорий на основе местных ВИЭ. В то же время, низкая плотность потребителей с высокой вероятностью указывает на сравнительно небольшие объёмы энергопотребления и, как следствие, невысокие потребности в возобновляемой энергии в абсолютных величинах.

5 Выводы

1. Комплексная географическая экспертиза территории с точки зрения предпосылок развития возобновляемой энергетики включает оценку широкого спектра качественных и количественных физико-географических и экономико-географических характеристик и представляет собой объёмную и сложную работу.

2. В качестве предварительного варианта, предназначенного для выявления принципиальных различий между территориями и их районирования предложен набор простых и доступных количественных показателей (солнечная энергия, скорости ветра, речной сток, запасы древесины, сборы зерновых и средняя площадь, приходящаяся на одного сельского жителя), позволяющих сравнивать территории по объёму и спектру ВЭР.

3. По данным показателям было проведено сравнение субъектов РФ, находящихся в разных природно-хозяйственных зонах: Вологодской, Липецкой, Ростовской областей и республики Кабардино-Балкария.

4. Выявленные различия подтверждают предложенную ранее схему районирования территории России для её европейской части и позволяют чётко выделить там три основных пояса:

1. *Лесной (северный)*, преимущественно представленный лесными биоэнергетическими и гидроэнергетическими ресурсами, а также с низкой плотностью сельского населения;

2. *Степной (южный)*, преимущественно представленный солнечными и ветроэнергетическими ресурсами, а также биоэнергоресурсами отходов сельского хозяйства;

3. *Южный горный* с максимальными объёмами солнечных и гидроэнергоресурсов, а также более высокими, по сравнению со степной зоной, показателями лесных биоресурсов при несколько меньших объёмах биоресурсов сельского хозяйства.

5. Выявленные региональные различия позволяют точнее определить перспективные направления дальнейших исследований территорий на предмет выявления возможностей возобновляемой энергетики в местном энергообеспечении, условий её развития и экономической целесообразности.

Литература

1. Бабурин В.Л. Экономико-географическая экспертиза. М., КДУ, 2016.
2. Кузнецова О.В., Кузнецов О.В. Системная диагностика экономики региона. М.: ЛЕНАНД, 2019.
3. Дегтярев К.С. Географические основы возобновляемой энергетики. // Окружающая среда и энерговедение. – 2021. - №3, с.25-42.
4. Дегтярев К.С. Расселение сельского населения как экономико-географический фактор эффективности малой автономной возобновляемой энергетики. // Окружающая среда и энерговедение. – 2019. - №4, с.28-45.
5. Дегтярев К.С. Потенциал, территориальная организация и развитие энергетики на возобновляемых источниках в Республике Калмыкия. Дисс. на соискание уч. степ. канд.геогр.наук. М., ИГ РАН, 2019.
6. Дегтярев К.С., Сангаджиев М.М., Манджиева Т.В. Энергетика на возобновляемых источниках в Республике Калмыкия – потенциал, опыт и перспективы. Монография. Изд-во Калм. ун-та, г. Элиста, 2020.

7. Дегтярев К. С. Потенциал возобновляемых источников энергии в Республике Калмыкия // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2019. — № 1. — С. 75–82.
8. Дегтярев К. С. Экономико-географическое районирование Республики Калмыкия // Известия Русского географического общества. — 2020. — Т. 152, № 1. — С. 31–46.
9. Дегтярев К. С., Соловьев Д. А. Проблемы и перспективы развития возобновляемой энергетики России в новых условиях // Энергетическая политика. — 2022. — № 6. — С. 56–69.
10. NASA Power. Data Access Viewer. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, дата обращения 29.12.2022.
11. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Справочное издание. Росгидромет. Санкт-Петербург, 2019.
12. Лесные ресурсы. Росстат. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/B11_14p/IssWWW.exe/Stg/d02/15-39.htm, дата обращения 29.12.2019.
13. Регионы России. Социально-экономические показатели – 2021 г. Росстат. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b21_14p/Main.htm, дата обращения 29.12.2022.

References

1. Baburin V.L. Ekonomiko-geograficheskaya ekspertiza. M., KDU, 2016.
2. Kuznecova O.V., Kuznecov O.V. Sistemnaya diagnostika ekonomiki regiona. M.: LENAND, 2019.
3. Degtyarev K.S. Geographical Fundamentals of Renewable Energy // Journal of Environmental, Earth and Energy Study. – 2021. - No3, pp.25-42.
4. Degtyarev K.S. Settling of Rural Population as the Economy-Geographical Background for Efficiency of Small-Scaled Autonomous Renewable Energy Systems // Journal of Environmental, Earth and Energy Study. – 2019. - No4, pp.28-45.
5. Degtyarev K.S. Potencial, territorial'naya organizaciya i razvitie energetiki na vozobnovlyаемых istochnikah v Respublike Kalmykiya. Diss. na soiskanie uch. step. kand.geogr.nauk. M., IG RAN, 2019.
6. Degtyarev K.S., Sangadzhiev M.M., Mandzhieva T.V. Energetika na vozobnovlyаемых istochnikah v Respublike Kalmykiya – potencial, opyt i perspektivy. Monografiya. Izd-vo Kalm. un-ta, g. Elista, 2020.
7. Degtyarev K. S. Potential of Renewable Energy Sources in the Republic of Kalmykia // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2019;(1):75-82. (In Russ.)
8. Degtyarev K. S. Ekonomiko-geograficheskoe rajonirovanie Respubliki Kalmykiya // Proceedings of the Russian Geographical Society. — 2020. — V. 152, No1. — pp. 31–46. (In Russ.)
9. Degtyarev K. S., Solov'ev D. A. Problems and Outlook of Renewable Energy Development in Russia in the New Conditions // Energy Policy — 2022. — № 6. — S. 56–69. (In Russ.)
10. NASA Power. Data Access Viewer. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, date of reference 29.12.2022.
11. Resursy poverhnostnyh i podzemnyh vod, ih ispol'zovanie i kachestvo. Spravochnoe izdanie. Rosgidromet. Sankt-Peterburg, 2019.

-
12. Lesnye resursy. Rosstat. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/B11_14p/IssWWW.exe/Stg/d02/15-39.htm , date of reference 29.12.2019.
13. Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli – 2021. Rosstat. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b21_14p/Main.htm , date of reference 29.12.2022.

Approaches to a Geographic Expert Evaluation and Zoning of Territories for Renewable Energy Development

Kirill Degtyarev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: kir1111@rambler.ru

Abstract. The study views on the approaches to an integrated geographical evaluation of regions and their zoning regarding their preconditions for renewable energy development. The work gives the examples of the expert evaluation of this kind, the principal qualitative and quantitative indicators that can be used for a regional differentiating from the point of view of renewable energy resource spectrum and volume. The article offers a zoning design of Russian territory for these purposes. On the examples of several regions located in the different natural-and-economic belts (Vologda, Lipetsk, and Rostov oblasts and Republic of Kabardino-Balkaria) this zoning design is tested.

Keywords: renewable energy resources, geographic expert evaluation, geographical zoning, geography of Russia.

УДК 504.7+620.9.

Роль возобновляемой энергетики в декарбонизации энергетического сектора Республики Беларусь

Любчик Ольга Андреевна [0000-0001-7179-9911]

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

E-mail: olga.liubchik@yandex.ru

Аннотация. Произведен анализ темпов и потенциальных последствий глобального потепления, возможных путей снижения выбросов парниковых газов в энергетическом секторе и их эффективности. Отмечено приращение в мировом сообществе большой роли возобновляемым источникам энергии как средства снижения выбросов парниковых газов в атмосферу. Рассмотрен вклад различных направлений в декарбонизацию энергетики в период 2010-2020 гг. Проведена оценка целей Республики Беларусь по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Определен вклад различных видов низкоуглеродных источников энергии в декарбонизацию секторов электро- и теплоэнергетики, а также выявлена общая тенденция сокращения выбросов за счет использования возобновляемых источников энергии и ядерного топлива.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, возобновляемые источники энергии, декарбонизация энергетического сектора, выбросы парниковых газов, сокращение выбросов, глобальное потепление.

1 Введение

Острая необходимость в принятии срочных мер по декарбонизации почти не встречает критики. Мир уже испытал последствия глобального потепления, при этом стоит отметить, что за последние 25 лет температура стабильно повышалась на 0,03°C в год.

Республика Беларусь, для которой характерен умеренно-континентальный климат, также столкнулась с последствиями глобального потепления: длительные волны тепла с дневными температурами, превышающими 30°C, снижение уровня грунтовых вод, теплые зимы с небольшим количеством снега и иные негативные эффекты стали ощутимы и вызывают широкую обеспокоенность. Очевидна недостаточность тех мероприятий, которые в

настоящее время уже приняты. В качестве направления, более интенсивное развитие которого будет способствовать увеличению темпов декарбонизации энергетического сектора и транспорта, предлагается рассмотреть активное внедрение возобновляемых источников энергии.

Целью работы является определение роли развития возобновляемой энергетики в снижении выбросов парниковых газов и возможности использования возобновляемых источников энергии для декарбонизации энергетического сектора Республики Беларусь.

Для достижения цели предполагается решение следующих задач: анализ прогнозов по росту температуры окружающей среды и угроз, возникающих при повышении температуры поверхности земли; рассмотрение международных соглашений в области изменения климата, а также результатов уже проведенных работ по декарбонизации энергетики; оценка развития возобновляемой энергетики как пути по снижению выбросов парниковых газов в Республике Беларусь.

2 Возможные последствия глобального потепления

Дальнейший рост температуры приведет не только к ухудшению самочувствия людей, в особенности в период волн тепла, но и вызовет сложно обратимые или вовсе необратимые процессы в биосфере. Таяние льдов и последующее повышение уровня воды в океане, сокращение биоразнообразия, засуха и эрозия почв – это далеко не полный перечень потенциальных последствий глобального потепления.

Так на Рис. 1. отображен процент видов, которые потенциально пострадают при повышении средней температуры поверхности земной поверхности при различной степени ее роста (а), и процент видов, которые могут подвергнуться полному исчезновению, в сравнении с доиндустриальным периодом (б) [1].

Всемирный фонд дикой природы опубликовал список животных, которые в наибольшей степени пострадают от изменения климата на планете. Среди них белый медведь, африканский слон, бенгальский тигр, орангутан, кенгуру, коралловые рифы, морские черепахи, альбатросы, пингвины, киты и дельфины. По оценкам ряда исследователей, при сохранении выбросов парниковых газов на текущем уровне к 2050 году вымиранию может подвергнуться более четверти известных сегодня видов живых организмов [2].

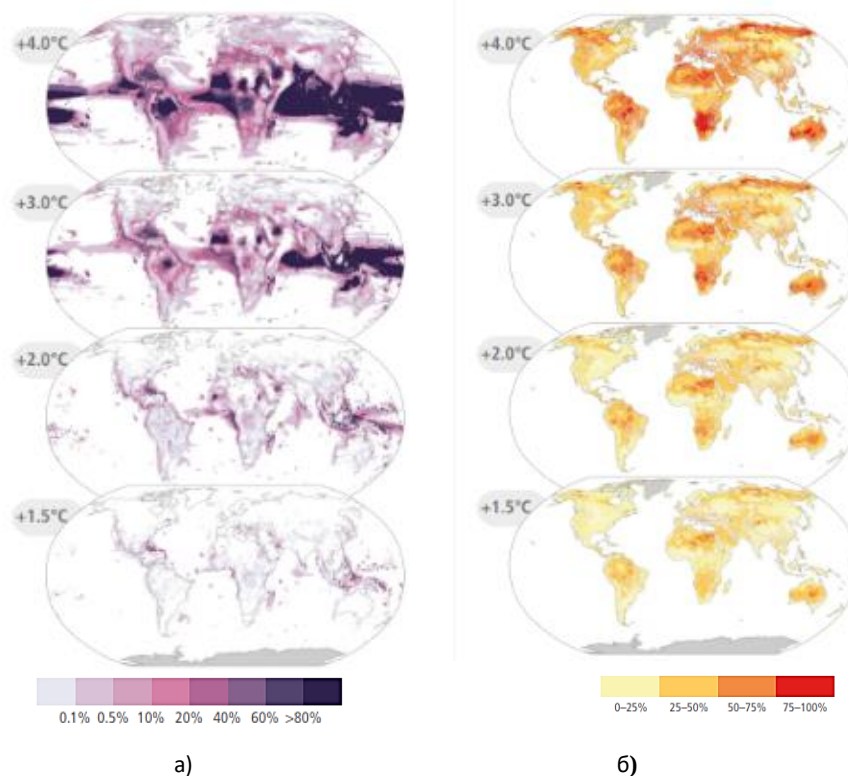


Рис. 1. Масштаб влияния глобального потепления на биоразнообразие

Опасным может стать и излишне быстрый рост популяции вида. Одним из примеров может быть активное размножение короеда: высокие температуры и засухи летом ослабляют дерево, а холодный период года без низких температур позволяют жуку спокойно перезимовать даже в северной части Беларуси. В результате численность короеда растет, а площади здорового леса сокращаются.

3 Достижения и целевые показатели в области декарбонизации энергетики

Состояние биосферы в будущем определяется направлением развития, которое будет выбрано в каждой отдельной стране и в мире в целом. На Рис. 2. представлен прогноз роста температуры земной поверхности к периоду 1850-1900 гг. в зависимости от сценария социально-экономического развития [1].

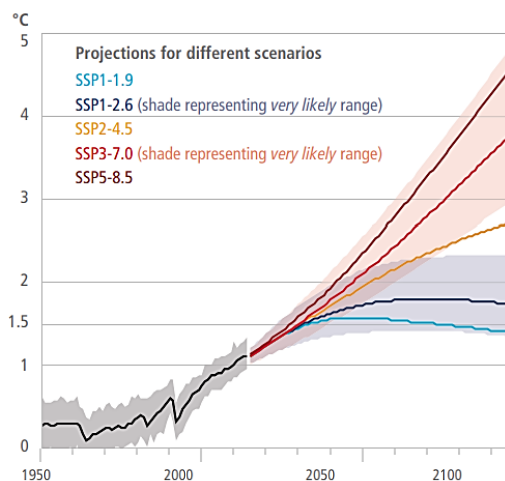


Рис. 2. Прогноз роста температуры земной поверхности.

Сценарии социально-экономического развития характеризуются следующим образом:

SSP1-1.9: очень низкий уровень выбросов парниковых газов. Выбросы CO₂ сократятся до нуля примерно к 2050 году.

SSP1-2.6: низкий уровень выбросов парниковых газов. Выбросы CO₂ сократятся до нуля примерно к 2075 году.

SSP2-4.5: средний уровень выбросов парниковых газов. Выбросы CO₂ примерно на текущем уровне до 2050 г., затем снижаются, но не достигают нуля к 2100 г.

SSP3-7.0: высокий уровень выбросов парниковых газов. Выбросы CO₂ удвоятся к 2100 году.

SSP5-8.5: очень высокий уровень выбросов парниковых газов. Выбросы CO₂ утроятся к 2075 году.

Согласно Парижскому соглашению, направленному на существенное сокращение глобальных выбросов парниковых газов, повышение глобальной температуры в этом столетии должно ограничиться 2 °C при целевом показателе повышения температуры не выше 1,5 °C. Требованиям Парижского соглашения соответствуют только сценарии SSP1-1.9 с ограничением роста температуры не выше 1,5 °C и SSP1-2.6 с ограничением ниже 2 °C. Распределение путей снижения выбросов парниковых газов для реализации SSP1-1.9 может выглядеть как представлено на Рис. 3.

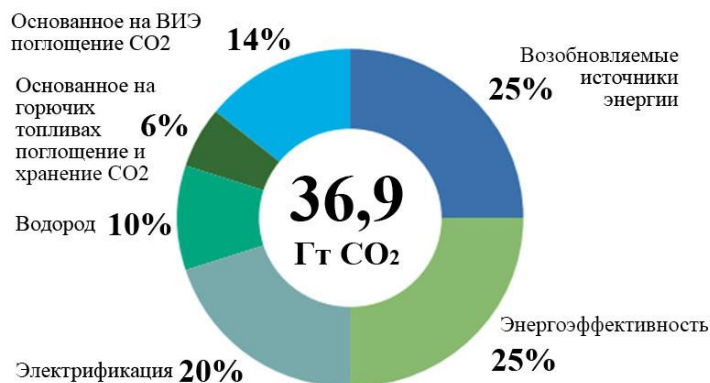


Рис. 3. Направления снижения выбросов парниковых газов по сценарию 1,5°C

Ожидается, что большая часть декарбонизации энергетического сектора будет обеспечена за счет сочетания возобновляемых источников энергии, электрификации секторов конечного потребления (в особенности дорожного транспорта и низкотемпературного отопления) и повышения энергоэффективности. Три эти составляющие смогут обеспечить 70-процентное сокращение выбросов диоксида углерода к 2050 году.

На Рис. 4. приведено уже имеющее место изменение мировых выбросов в энергетическом секторе в зависимости от источника этих изменений [4].



Рис. 4. Изменение выбросов парниковых газов в зависимости от источника, Мт.

Из Рис. 4. видно, что спрос на электроэнергию растет, хоть и имеет значительные колебания в значениях. Данный факт еще раз подтверждает потенциальный рост выбросов парниковых газов при непринятии решительных мер. Одной из таких важных мер является снижение использования угля в качестве топлива и переход с него на более чистое топливо – природный газ. Еще

одно направление в декарбонизации энергетического сектора – использование ядерной энергии. Переход на газ и развитие атомной энергетики за период с 2010 по 2020 гг. внесли значимый вклад в сокращение выбросов парниковых газов, однако их суммарное воздействие за рассматриваемое десятилетие редко превышало треть от всего объема снижения выбросов. Основной эффект по декарбонизации наблюдался за счет развития возобновляемой энергетики, причем с каждым годом ее вклад становится больше и больше. На сегодняшний день из возобновляемых источников энергии вырабатывается больше четверти всей электроэнергии в мире. По отдельным странам данный показатель значительно выше.

Возобновляемые источники энергии занимают значимое место в большинстве предполагаемых национально определяемых вкладов (ПНОВ), подтверждая, что переход к возобновляемым источникам энергии в будущем признан во всем мире как центральный элемент решения проблемы изменения климата. Из 194 Сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, которые представили ПНОВ, 145 упомянули меры по возобновляемым источникам энергии для смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, а 109 Сторон включили определенную количественную цель в отношении возобновляемых источников энергии.

4 Направления по декарбонизации энергетического сектора Республики Беларусь

Республика Беларусь проводит работу по декарбонизации энергетического сектора и является стороной Парижского соглашения. В сентябре 2021 года был определен новый вклад в сокращение выбросов, согласно которому страна обязуется к 2030 году снизить выбросы на 35% по отношению к уровню 1990 года с учетом сектора «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» (далее ЗИЗЛХ) [5]. Данная цель является довольно амбициозной: сокращение выбросов за 10 лет более чем на треть. Однако рассмотрение динамики выбросов парниковых газов в стране позволяет отметить такую цель как явно недостаточную (Рис. 5.).

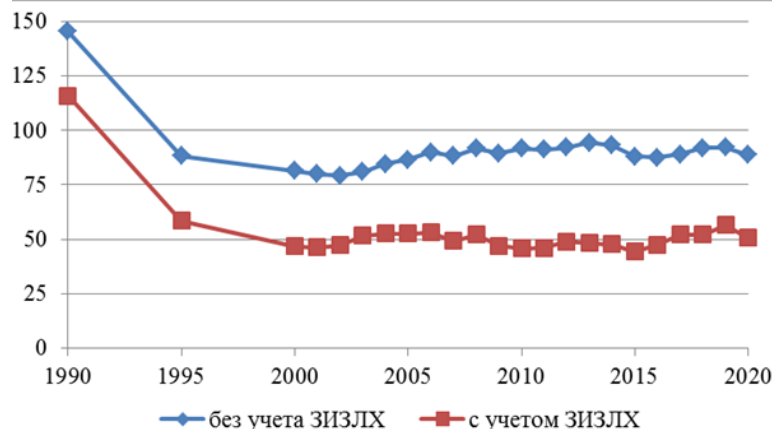


Рис. 5. Сумма совокупных выбросов парниковых газов, млн. т. CO₂-экв.

Как видно из Рис. 5., выбросы в 1990 году значительно превышали выбросы последних 20-ти лет и за последние 10 лет лишь единожды приближались к целевому показателю на 2030 год, если не учитывать ЗИЗЛХ, и были на треть ниже целевого показателя при учете ЗИЗЛХ. Утвержденный национальный вклад не только не создает мотивацию к снижению выбросов по отношению к текущим значениям, но и допускает повышение освобождаемого в атмосферу объема парниковых газов в полтора раза.

Тем не менее, в стране активно развивается безуглеродная энергетика: возобновляемая и атомная. Замена ископаемых топлив, преимущественно газа, выделяющего относительно немного парниковых газов при горении по сравнению с углем и топочным мазутом, возобновляемыми источниками энергии и ядерным топливом позволила сократить выбросы парниковых газов в секторе электроэнергетики на 0,72 млн. CO₂-экв. Вклад различных направлений энергетики в сокращение выбросов, определенный по методике [6], представлен на Рис. 6.

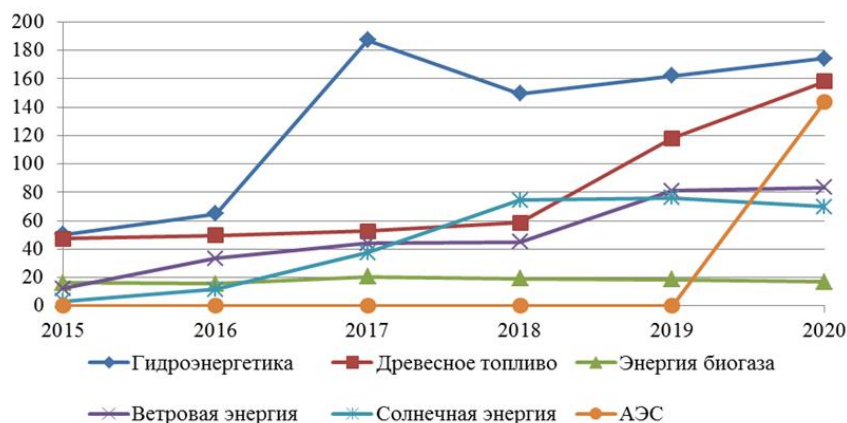


Рис. 6. Сокращение выбросов парниковых газов в секторе электроэнергетики, тыс. т CO₂-эквивалента.

Как видно из Рис. 6., наибольший вклад в снижение выбросов вносят гидроэнергетика и использование древесного топлива. В 2020 году сопоставимый вклад был внесен и со стороны атомной энергетики. Однако возобновляемые источники энергии используются не только для выработки электроэнергии, но и для производства теплоты. Доля энергии использованного в стране древесного топлива и биогаза, приходящаяся на выработку электрической энергии, представлена на Рис. 7.

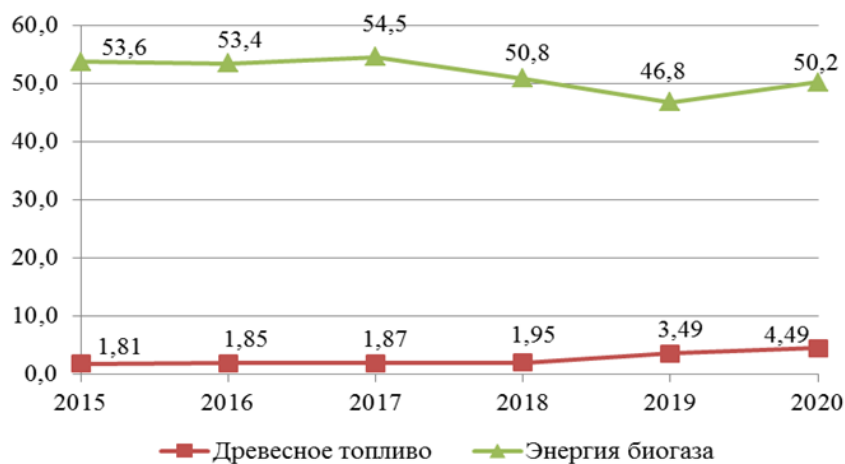


Рис. 7. Доля электрической энергии в общем количестве вырабатываемой энергии, %

При рассмотрении рисунка заметно, что биогаз расходуется на производство электрической и тепловой энергии примерно в равных частях, в то время как из древесного топлива получают преимущественно тепловую энергию. В связи с этим необходимо учесть снижение выбросов за счет использования

возобновляемых источников энергии и в секторе тепловой энергетики (Рис. 8.). Была применена та же методика, что и в оценке выбросов в секторе электроэнергетики.



Рис. 8. Сокращение выбросов парниковых газов в секторе теплоэнергетики, тыс. т CO₂-эквивалента

Сокращение выбросов парниковых газов за счет использования древесного топлива в производстве теплоты в 2020 году составило 8,00 млн. CO₂-экв., что в 11 раз превышает суммарное сокращение выбросов в секторе электроэнергетики за счет применения всех названных выше источников энергии. Таким образом, наибольший вклад на текущий момент в декарбонизацию энергетического сектора Республики Беларусь вносит именно древесная биомасса во всех видах ее применения на энергетических установках.

5 Заключение

Возобновляемые источники энергии играют важную роль в декарбонизации энергетического сектора и, как следствие, смягчении последствий изменения климата. С 2015 года, где за счет возобновляемых источников энергии в Беларуси удалось сократить выбросы парниковых газов в секторе производства электрической и тепловой энергии на 9,4%, вклад возобновляемой энергетики в декарбонизацию к 2020 году увеличился в полтора раза, что позволило избежать 10,7% выбросов.

Развитие атомной энергетики, безусловно, вносит большой вклад в декарбонизацию энергетического сектора, однако возобновляемые источники энергии предоставляют большие возможности в регулировании нагрузки как с технической, так и с экономической точки зрения.

Ожидается, что к 2050 году спрос на электроэнергию удвоится из-за роста экономики и населения в сочетании с ускоренной электрификацией секторов отопления, охлаждения и транспорта по сравнению с уровнем 2015 года. Этот рост спроса на электроэнергию представляет собой существенную возможность для декарбонизации, так как растущая потребность в энергии может быть покрыта за счет низкоуглеродной энергетики, выделяющей минимум парниковых газов в течение всего жизненного цикла.

Литература

1. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability / IPCC // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_TechnicalSummary.pdf – Date of access: 20.08.2022.
2. 10 видов, которые мы можем потерять из-за изменения климата / WWF // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wwf.ru/resources/news/arkhiv/10-vidov-kotorye-my-mozhem-poteryat-iz-za-izmeneniya-klimata/> – Дата доступа: 30.08.2022.
3. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers / IPCC // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf – Date of access: 12.08.2022.
4. Power sector decarbonisation accelerates / IEA // [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020> – Date of access: 14.07.2022.
5. Выбросы парниковых газов по секторам / Белстат // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmeneniye-klimata/b-3-vybrosy-parnikovyyh-gazov/> – Дата доступа: 30.09.2022.
6. Methodology: Avoided Emissions Calculator / IRENA // [Electronic resource]. – Mode of access: <https://irena.sharepoint.com/sites/statistics-public/Shared%20Documents/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2Fstatistics%2Dpublic%2FShared%20Documents%2FMethodology%20and%20Notes%2F2022%5FAvoided%5Femissions%5Fcalculator%2Fnote%2Epdf&parent=%2Fsites%2Fstatistics%2Dpublic%2FShared%20Documents%2FMethodology%20and%20Notes&p=true&ga=1> – Date of access: 24.11.2022.

References

1. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability / IPCC // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_TechnicalSummary.pdf – Date of access: 20.08.2022.
2. 10 vidov, kotory'e my` mozhem poteryat` iz-za izmeneniya klimata / WWF // [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: <https://wwf.ru/resources/news/arkhiv/10-vidov-kotorye-my-mozhem-poteryat-iz-za-izmeneniya-klimata/> – Data dostupa: 30.08.2022.
3. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers / IPCC // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf – Date of access: 12.08.2022.

4. Power sector decarbonisation accelerates / IEA // [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020> – Date of access: 14.07.2022.
5. Vy`brosy` parnikovy`x gazov po sektoram / Belstat // [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/b-3-vybrosy-parnikovyh-gazov/> – Data dostupa: 30.09.2022.
6. Methodology: Avoided Emissions Calculator / IRENA // [Electronic resource]. – Mode of access: <https://irena.sharepoint.com/sites/statistics-public/Shared%20Documents/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2Fstatistics%2Dpublic%2FShared%20Documents%2FMethodology%20and%20Notes%2F2022%5FAvoided%5Femissions%5Fcalculator%5Fnote%2Epdf&parent=%2Fsites%2Fstatistics%2Dpublic%2FShared%20Documents%2FMethodology%20and%20Notes&p=true&ga=1> – Date of access: 24.11.2022.

Role of Renewable Energy in Decarbonization of Belarus Energy Sector

Volha Liubchik

Belarusian National Technical University, Minsk, 220013, Belarus

E-mail: olga.liubchik@yandex.ru

Abstract. Global warming rates and its potential consequences analysis was made, possible ways to reduce greenhouse gas emissions in the energy sector and their effectiveness was assessed. It was noted that the world community gave a great role to renewable energy sources as means of reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere. The contribution of various directions to the decarbonization of energy sector in the period of 2010-2020 was analyzed. Republic of Belarus goals to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere assessment was made. The contribution of various types of low-carbon energy sources to the decarbonization of the electricity and heat energy sectors has been determined, and a general trend in reducing emissions through the use of renewable energy sources and nuclear fuel was identified.

Keywords: renewable energy, renewable energy sources, energy sector decarbonization, greenhouse gas emissions, emission reduction, global warming

УДК 528.9

Геоинформационный инструментарий для анализа энергопотенциала древесных отходов как фактора циркулярной экономики в регионах РФ

Андреев Татьяна Ивановна [0000-0001-8678-3568]¹,Рафикова Юлия Юрьевна [0000-0003-3204-9135]²,Тетерина Нина Владимировна [0000-0002-3142-7440]³

Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, 119991, Россия

¹E-mail: ju.rafikova@mail.ru²E-mail: tanyandr00@mail.ru³E-mail: ninok.net@gmail.com

Аннотация. В последние годы отходы древесной биомассы стали многообещающим энергетическим ресурсом во многих странах мира. Для России использование этого вида отходов в энергетических целях - это не только возможность обеспечить энергией население, но и решение ряда экологических проблем - снижение риска лесных пожаров и выбросов CO₂. В статье представлена методика геоинформационного анализа возможностей использования ресурсов биоэнергетики с учетом природных, инфраструктурных и социально-экономических факторов. На примере территории пилотного региона - Вологодская область – рассмотрены пространственные факторы и геоинформационный инструментарий в применении к вопросам циркулярной экономики.

Ключевые слова: биоэнергетика, геоинформационные системы, ресурсы, базы геоданных, отходы лесопромышленного комплекса.

1 Введение

Основной целью развития циркулярной экономики (которая в различных источниках называется также экономикой замкнутого цикла, циклической

экономикой) является создание замкнутых технологических циклов с полным использованием поступающего сырья, не вырабатывающих отходов, выходящих за их рамки. Это попытка с помощью экологически совместимых технологий воспроизвести природные циклы, сформировать аналоги экосистем, так как биосфера является закрытой системой, где все элементы взаимосвязаны и обуславливают друг друга, и нет отходов. [1]

В мировой и российской практике объекты биоэнергетики, использующие в качестве топливного ресурса отходы различных видов производств, являются одним из ключевых факторов развития циркулярной экономики, т.к. решают не только вопросы энергообеспечения, но и такие экологические проблемы как загрязнение окружающей среды и нерациональное природопользование.

Для развития биоэнергетической отрасли Россия обладает значительной ресурсной базой. На основе расчетных данных масштабного уровня национальных и региональных оценок [2; 3] можно выделить следующие категории отходов биомассы, которые могут быть перспективны для целей получения энергии:

- 1) отходы сельского хозяйства (растениеводство (включая полевые и садовые культуры) и животноводства);
- 2) отходы лесопромышленного комплекса;
- 3) твердые коммунальные отходы и осадки сточных вод.

При этом размер и величина того или иного ресурса значительно варьируется в зависимости от географического положения региона, климата, геоморфологии, структуры хозяйственной деятельности, развитости экономики. Анализ всех этих параметров сопряжен с поэтапным сбором и рассмотрением большого объема пространственно-ориентированной информации, эффективную работу с которой целесообразно проводить в геоинформационных системах (ГИС).

Проведенный авторами анализ международного опыта разработки ГИС-инструментария для включения биоэнергетических технологий в подходы циркулярной экономики показал, что на сегодняшний день во всем мире в этой области ведутся активные разработки, создаются как информационные системы о ресурсах отходов биомассы, так и модели, позволяющие определять их перспективы использования в целях производства тепловой, электрической энергии и широкого спектра современных биотоплив. Тем не менее пока еще остаются нерешенными задачи геоинформационного моделирования социально-экономического эффекта от возможного использования отходов биомассы. [4]

Анализируя уже имеющийся в России опыт оценок потенциалов получения энергии из отходов биомассы различных типов [2; 3] можно выделить такие перспективные для России области, как сельское хозяйство и лесоперерабатывающая промышленность. Проблемы утилизации этих видов отходов приводят к таким экологическим конфликтам как ежегодные лесные пожары, вызванные сжиганием остатков сельскохозяйственного

производства (на полях, в садах и виноградниках), анаэробное разложение этих остатков в свалках с выбросом такого агрессивного парникового газа как метан. Эти проблемы могут быть решены путем использования этих отходов в энергетических целях с получением тепловой или электрической энергии значительных объемов. Кроме того, это способствует замыканию производственных циклов и экономическому развитию регионов, созданию новых факторов роста экономики для обеспечения занятости и повышения уровня доходов населения.

В России наиболее развит рынок твердого биотоплива из отходов лесоперерабатывающего комплекса (ЛПК). Не только разработаны технологии производства прогрессивного твердого биотоплива, но и налажен значительный объем их производства (технологическая щепа, топливные пеллеты и брикеты, торфяные брикеты и т.д.). Важным экономическим фактором использования именно древесных видов ресурсов также является дешевизна технологий прямого сжигания отходов биомассы наряду с их энергоэффективностью. Экологический эффект такого использования заключается в том, что использование древесных отходов будет приводить к уменьшению анаэробного разложения остатков древесины и выбросам метана в атмосферу, а также будет способствовать уменьшению лесных пожаров и предотвращению тем самым выбросов чёрного углерода и других продуктов горения в окружающую среду.

2 Методика геоинформационного анализа

Предлагаемая авторами методика включает в себя поэтапный анализ пространственных факторов на различных масштабных уровнях с применением инструментария ГИС. Общая последовательность представлена на рис. 1.

Этап 1. Анализ пространственного распределения ресурсов по административным единицам.

На данном этапе производится расчёт величины потенциалов (валового и технического) тепловой и электрической энергии из отходов. Возможно рассмотрение потенциала энергозамещения традиционных видов топлив (газ, уголь, мазут, дрова и т.п.) энергией из отходов биомассы. Для этого используются данные официальной государственной статистики с детализацией до субъектов РФ и муниципальных образований внутри субъектов. В среде ГИС производится классификация методом естественных интервалов с обязательным анализом диаграммы рассеяния, составляются тематические карты административных районов по уровню потенциалов, выделяются районы наиболее перспективные с точки зрения энергоресурсов данного типа.

В приведенной работе были использованы методики расчета валового и технического потенциалов отходов биомассы, описанные в работах [3; 5].

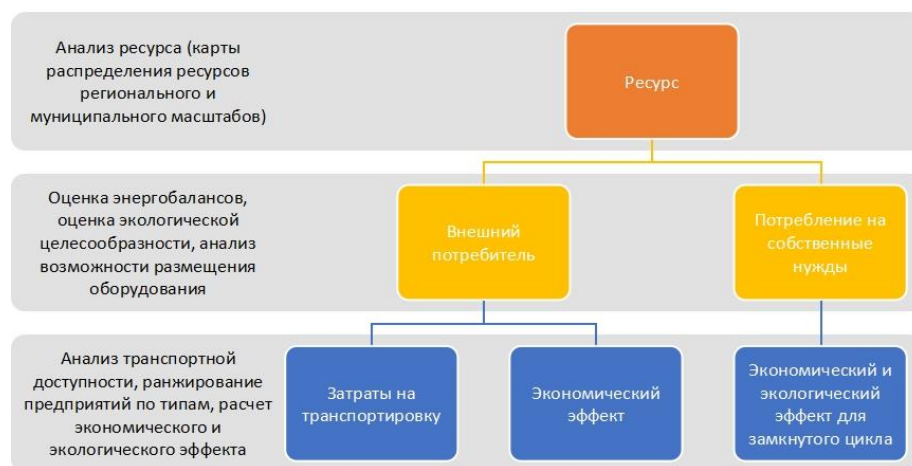


Рис. 1. Схема методики оценки потенциала развития циркулярной экономики средствами ГИС для биоэнергетических предприятий.

Этап 2. Анализ социально-экономических условий региона.

На этом этапе методами ГИС производится анализ плотности населения (классификация по административным единицам и анализ территориального распределения), уровня энергообеспеченности, оценка удаленности населенных пунктов от линий электропередач (ЛЭП), наличие энергоизолированных населенных пунктов или районов, изношенность энергосистемы (на основе анализа официальной документации и утвержденных планов развития местной энергосистемы). Определяется характер использования энергии из отходов для конкретного региона. В регионах с наличием изолированных энергосистем целесообразно дальнейшее рассмотрение возможностей переработки отходов в энергию в точках их образования. В регионах с развитой транспортной и энергетической инфраструктурой рассматривается возможность транспортировки биотоплива и затраты на неё, проводится анализ потенциальных потребителей, возможностей замещения экологически небезопасных видов топлива и модернизации энергообъектов.

Этап 3. Пространственный анализ потребителей энергии из отходов.

Составление баз геоданных по предприятиям, производящим топливо из отходов, и потребителям (действительным и потенциальным) данного вида топлива. Анализ их удаленности друг от друга и ранжирование по уровню

транспортных затрат и целесообразности перевода на биотопливо из местных отходов.

3 Результаты и их обсуждение

Территория РФ, в целом, в силу климатических и природных особенностей обладает значительным потенциалом использования отходов ЛПК в целях биоэнергетики. Согласно [3] максимальным суммарным валовым энергетическим потенциалом биомассы обладают регионы с максимальной величиной расчетной лесосеки, которая дает определяющий вклад в валовый потенциал (Иркутская область, южная часть Красноярского края, Вологодская область, Архангельская область, Кировская область, Пермский край, Ленинградская область, Республика Коми, Свердловская область) – от 5 400 до 36 700 тыс. т у.т./год, минимальным – субъекты РФ, имеющие климатические условия, не предполагающие возможность ведения сельского хозяйства и заготовку лесоматериалов (Республика Саха (Якутия), Ненецкий АО, Чукотский АО, Магаданская область, Мурманская область) – менее 1 400 тыс. т у.т./год[3]. При этом именно лесной сектор наиболее активно реализует принципы циркулярной экономики. В России в последние десятилетия активно развивалось производство биотоплив второго поколения из отходов ЛПК (пеллет, брикетов и т.п.). На сегодняшний день в РФ функционирует более 250 производителей пеллет, с общей мощностью предприятий 3,9 млн т. До недавнего времени около 90% произведенных пеллет экспортировалось в Евросоюз, 5% – в страны Азии, еще 5% потреблялось на внутреннем рынке. При этом рост производства пеллет в 2016–2022 годах составлял 20% в год. Согласно данным Управления использования лесов Федерального агентства лесного хозяйства динамика заготовки древесины для различных нужд в тот же временной период остаётся стабильной и составляет в среднем около 40 млн м³. Это говорит о стабильности размеров производимых отходов ЛПК и необходимости их переработки, как и возможностей для биоэнергетики. Анализ структуры и объемов использования отходов ЛПК в различных отраслях (производство строительных материалов, целлюлозы, а также производство тепловой энергии) показывает, что во многих регионах РФ наряду с активным производством из отходов полезных продуктов, остаётся достаточно высоким их свободный (нереализованный) ресурс (рис.2). Как правило, свободный ресурс составляет экологическую нагрузку, т.к. складывается в отвалах или сжигается на свалках с сопутствующими выбросами вредных веществ в окружающую среду.

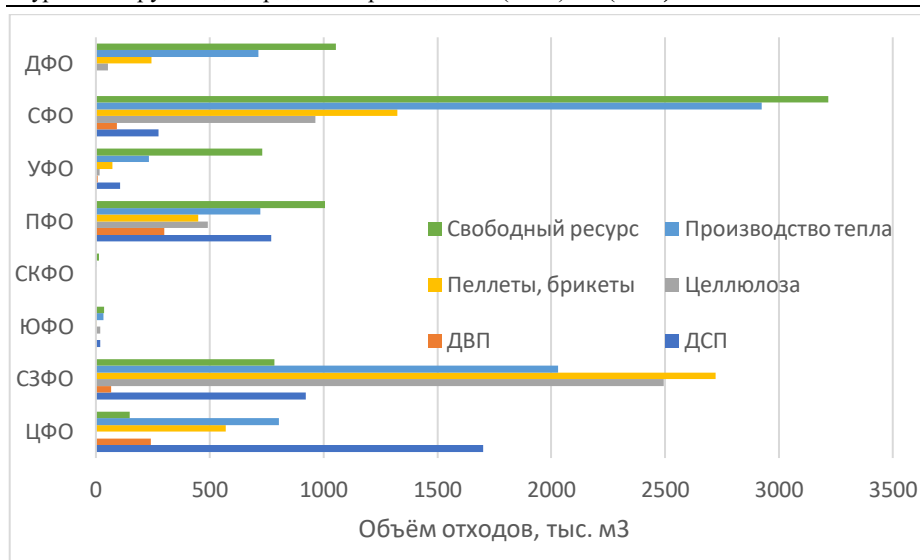


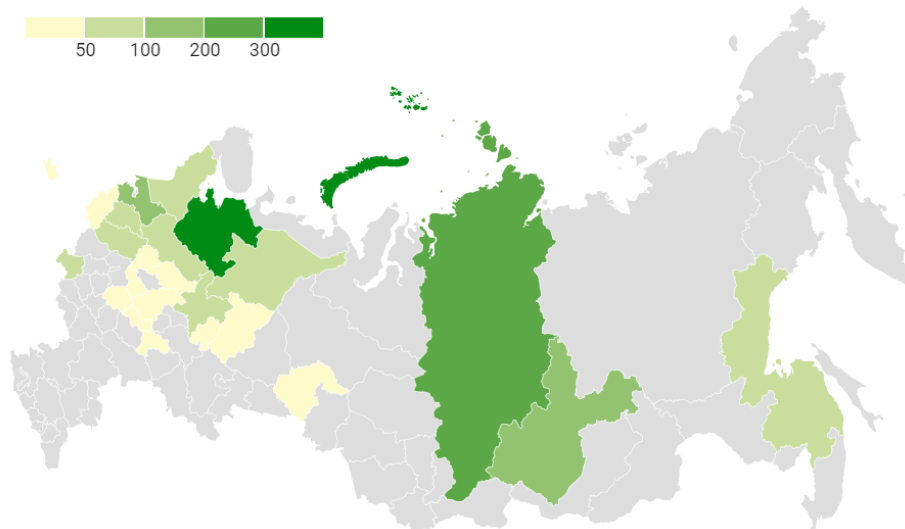
Рис. 2. Структура использования отходов ЛПК по федеральным округам РФ.
Составлено авторами по данным АО «Государственный научный центр
лесопромышленного комплекса».

Производство твердого древесного биотоплива в регионах РФ согласно данным ГИС ВИЭ России [6] и интерактивной карте предприятий ЛПК «Леспромформ» [7] концентрируется в отдельных субъектах РФ, которые с одной стороны характеризуются высоким валовым энергетическим потенциалом ЛПК (энергосодержанием расчетной лесосеки), с другой стороны – значительной ролью предприятий ЛПК в экономике этих регионов, а также экологическими факторами. Так, в Якутии, Алтайском крае, Приморском крае, несмотря на достаточно высокий валовый энергопотенциал расчетной лесосеки (от 2 500 до 18 200 тыс. т у.т./год) производство древесного биотоплива не развито в силу специфики промышленности и породного состава лесного фонда (рис. 3). В Нижегородской, Омской, Псковской, Ярославской областях, республике Мордовия производство присутствует, но не превышает 50 тыс.т/год, что связано, вероятно, как с не очень большими масштабами предприятий ЛПК, так и с обеспеченностью предприятий этих регионов другими энергоресурсами. Наибольшими объемами производства твердого древесного биотоплива (более 100 тыс.т/год) характеризуются Архангельская, Иркутская, Ленинградская области, Красноярский край. Предприятия ЛПК этих регионов занимаются производством древесных пеллет и брикетов не только на нужды регионов, но и являются крупными экспортерами древесного биотоплива за рубеж. Также достаточно высокими темпами производства биотоплива характеризуются Вологодская, Кировская, Тверская области, Пермский и Хабаровский край (от 50

до 100 тыс.т/год), где потребление энергии из данного вида биотоплива идёт преимущественно на собственные нужды. Следует также отметить, что в отдельных регионах

Несмотря на достаточно быстрые темпы развития биоэнергетики из отходов ЛПК, согласно экспертным оценкам, предприятия, производящие топливо из древесных отходов в Северо-западном округе РФ загружены лишь на 45,7%, а в центральном округе РФ – на 41,0%. [8]. Это говорит о необходимости более детального анализа потребительских ниш на региональном уровне.

Производство твердого древесного биотоплива, тыс.тонн/год



Map: Julia Rafikova • Source: www.gisre.ru • Created with [Datawrapper](https://datawrapper.info/)

Рис. 3. Картограмма субъектов РФ по уровню производства твердых древесных биотоплив (производство древесных топливных гранул и топливных брикетов суммарно). Составлено авторами по данным ГИС ВИЭ России [6] и интерактивной карте предприятий ЛПК «Леспромформ» [7]

Нами была рассмотрена территория Вологодской области, с точки зрения влияния инфраструктурных факторов на возможности использования ресурсов биоэнергетики из отходов ЛПК. В исследуемом регионе заготовка древесины является основным видом лесопользования, в котором задействованы как крупные лесозаготовительные предприятия, лесопромышленные компании, так и сельскохозяйственные, бюджетные организации и местное население. В области ежегодно заготавливается до 10,5 млн.м³ древесины в год. Столь активное лесопользование с годами приводит к смене породного состава

древесины, ухудшению её качества и продуктивности лесов. Увеличивается количество отходов от переработки древесины. С 1997 года в области действуют региональные программы развития деревообработки, лесопользования и лесного хозяйства, наряду с программами по развитию биоэнергетики. Согласно наиболее актуальной из них [9] к 2023 году все котельные области должны быть переведены на экологически безопасные виды топлива, такие как газ и биотопливо из местных отходов ЛПК. Производство древесных гранул и брикетов в исследуемом регионе с 2004 года выросло с 0 до 300 тыс. т/год

Нами были составлены базы геоданных по предприятиям ЛПК, производящим древесные отходы (включая предприятия производящие из отходов биотопливо и не производящие) в Вологодской области и предприятиям, которые могут быть потенциальными потребителями данного вида биотоплива (котельные, которые на сегодняшний день функционируют на дровах) для оценки их возможностей перехода на топливо из отходов ЛПК (рис.4).

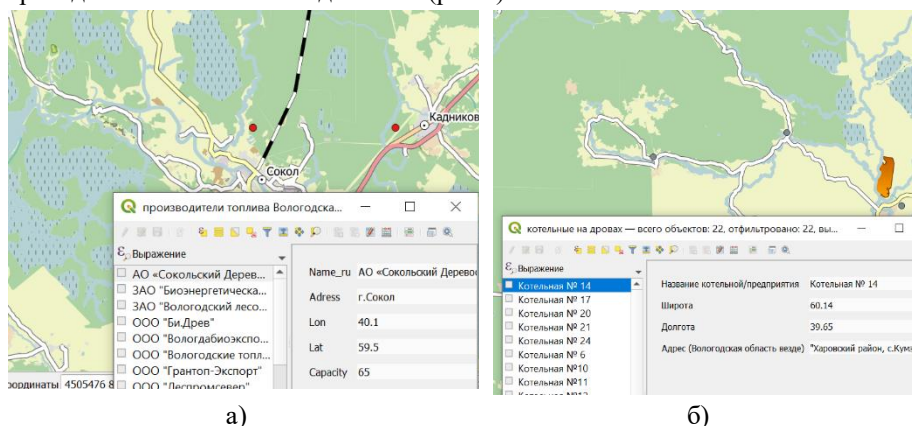


Рис. 4. Фрагменты баз геоданных по производителям древесного биотоплива из отходов ЛПК (а) и котельным, работающим на дровах по состоянию на декабрь 2022 г. (б).

При использовании инструментария ПО QGIS котельные на дровах были ранжированы по следующим категориям:

1. Котельные, находящиеся в зоне 50 км от предприятий ЛПК, производящих древесное топливо из отходов.
2. Котельные, находящиеся в зоне 50 км от предприятий ЛПК, НЕ производящих древесное топливо из отходов.
3. Котельные, расположенные вне 50-километровых зон предприятий ЛПК.

Так, в Харовском районе закупки дров для котельных в декабре 2022 г. согласно [10] достигали 12 400 м³ древесины смешанных пород. При этом котельные находятся в зоне транспортной доступности крупного производителя древесных гранул ООО «Харовсклеспром», успешно обеспечивающего себя

энергией из отходов лесопереработки и активно работавшего последние годы на экспорт древесных гранул в страны Европы. Такие котельные можно отнести к наиболее перспективным для модернизации и переводу на биотопливо из отходов, поскольку они обеспечены транспортной инфраструктурой и, следовательно, могут быть минимизированы транспортные расходы на доставку биотоплива. Кроме того, учитывая почти двукратную разницу в теплотворной способности дров и древесных пеллет и брикетов, может быть минимизирован расход топлива и экономические затраты, связанные с его объёмами.

К другой группе потребителей можно отнести котельные Вытегорского района, достаточно удаленного от мест производств древесного биотоплива, но, тем не менее, с развитой транспортной инфраструктурой и наличием местных крупных деревообрабатывающих предприятий, производящих отходы. В этом районе строительство производств топлива из отходов и модернизация котельных могут быть более экономически затратными, но при этом решать экологические проблемы региона – такие как сохранение охраняемых природных территорий Прионежья, улучшение уровня жизни местного населения и, как следствие, развития экотуризма.

Согласно оценкам Департамента лесного комплекса Вологодской области [11] (рис. 5), одним из самых дорогостоящих процессов производства твердого древесного биотоплива являются затраты на сырьё, которые в районах производства отходов ЛПК могут быть существенно минимизированы.

Статья затрат	Затраты, руб.	Доля
Оплата труда, налоги	512,78	16,7
Электроэнергия	461,32	15,1
Газ	148,74	4,8
Амортизация	449,37	14,5
Сырьё	653,05	21,2
топливо	102,02	3,3
Ремонт основных средств	388,25	12,6
Налоги с з/п	125,93	4,1
Прочие	233,61	7,7
Итого	3075,07	100

Рис. 5. Себестоимость производства древесных топливных гранул (пеллет). [11]

4 Выводы

Проведенный анализ позволил определить геоинформационный инструментальный и методические подходы к региональной оценке перспектив развития циркулярной экономики на предприятиях лесопромышленного комплекса. Апробация разработанных подходов на примере древесных отходов ЛПК Вологодской области определила оптимальный состав баз геоданных и методов работы с ними, позволяющими выделять потенциальных потребителей биотоплива второго поколения с учётом их транспортной доступности, удалённости от предприятий, производящих древесное биотопливо и таких экологических факторов территории как наличие особо охраняемых природных территорий, крупных водных объектов, охраняемых лесов и т.п. Разработанные подходы позволяют выделять районы, в которых целесообразно проведение анализа большего перечня пространственных факторов, влияющих на возможность реализации биоэнергетических проектов, в крупномасштабных исследованиях.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-010-00981).

Литература

1. Бобылев С.Н., Соловьева С.В. Циркулярная экономика и ее индикаторы для России. Мир новой экономики. 2020;14(2):63-72. DOI: 10.26794/2220-6469-2020-14-2-63-72
2. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / Под редакцией Безруких П.П. М.: «ИАЦ Энергия», 2007. – 272 с.
3. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / под ред. Киселёвой С.В. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2015. – 160 с.
4. Рафикова Ю. Ю., Андреев Т. И. Геоинформационные системы в биоэнергетике // Окружающая среда и энерговедение. — 2022. — № 2 (14). — С. 51–60.
5. Энергетический потенциал органических отходов / Т. И. Андреев, С. В. Киселева, Ю. Ю. Рафикова, А. А. Тулегенова // Вестник Московского энергетического института. — 2022. — № 4. — С. 59–67.
6. Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии России». Режим доступа: <https://gisre.ru/>. Дата обращения: 12.12.2022
7. Интерактивная он-лайн карта предприятий ЛПК «Леспромформ». Режим доступа: <https://lesprominform.ru/maps> Дата обращения: 12.12.2022
8. Рынок пеллет (топливных гранул) в России. Текущая ситуация и прогноз 2022-2026 гг. Аналитический отчёт AltoConsultingGroup, 2022 г., 134 с.
9. "Схема и программа развития электроэнергетики Вологодской области на 2023-2027 годы", Вологда, 2022 г.
10. Официальный сайт Единой Информационной Системы «Закупки» Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> Дата обращения: 12.12.2022

11. Грачев В. В., Марков Р. Б. Перспективы развития биоэнергетики // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2009. №4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-bioenergetiki> (дата обращения: 12.12.2022).

Reference

1. Bobylev S.N., Solovieva S.V. Circular economy and its indicators for Russia. The world of the new economy. 2020;14(2):63-72. DOI: 10.26794/2220-6469-2020-14-2-63-72
2. Handbook on Renewable Energy Resources in Russia and Local Fuels (Indicators by Territories) / Edited by Bezrukikh P.P. M.: "IAC Energy", 2007. - 272 p.
3. Atlas of Renewable Energy Resources in Russia: scientific. edition / ed. Kiseleva S.V. Moscow: RKhTU im. D.I.Mendeleeva, 2015. - 160 p.
4. Rafikova Yu. Yu., Andreenko T. I. Geoinformation systems in bioenergy // Environment and energy science. - 2022. - No. 2 (14). — pp. 51–60.
5. Energy potential of organic waste / T. I. Andreenko, S. V. Kiseleva, Yu. Yu. Rafikova, A. A. Tulegenova // Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. - 2022. - No. 4. - S. 59–67.
6. Geoinformation system "Renewable energy sources of Russia". Access mode: <https://gisre.ru/>. Date of access: 12.12.2022
7. Interactive on-line map of the enterprises of the forestry complex "Lesprominform". Access mode: <https://lesprominform.ru/maps> Date of access: 12.12.2022
8. Market of pellets (fuel pellets) in Russia. Current situation and forecast 2022-2026 Analytical report Alto Consulting Group, 2022, 134 p.
9. "Scheme and program for the development of the electric power industry of the Vologda Oblast for 2023-2027", Vologda, 2022
10. Official website of the Unified Information System "Procurement" Access mode: <https://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> Date of access: 12/12/2022
11. Grachev V. V., Markov R. B. Prospects for the development of bioenergy // Economic and social changes: facts, trends, forecast. 2009. No. 4. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-bioenergetiki> (date of access: 12/12/2022).

Geoinformation Tools for the Analysis of the Energy Potential of Wood Waste as a Factor of the Circular Economy in the Regions of the Russian Federation

T.I. Andreenko¹, Yu.Yu. Rafikova², N.V. Teterina³

Faculty of Geography, Lomonosov MSU, Moscow, 119991, Russia

¹E-mail: ju.rafikova@mail.ru

²E-mail: tanyandr00@mail.ru

³E-mail: ninok.net@gmail.com

Abstract. In recent years, woody biomass waste has become a promising energy resource in many countries around the world. For Russia, the use of this type of waste for energy purposes is not only an opportunity to provide energy to the population, but also a solution to a number of environmental problems, reducing the risk of forest fires and CO₂ emissions. The article presents a methodology for geoinformation analysis of the possibilities of using bioenergy resources, taking into account natural, infrastructural and socio-economic factors. On the example of the territory of the pilot region of the Vologda Oblast, spatial factors and geoinformation tools are considered as applied to the issues of the circular economy.

Keywords: bioenergy, geoinformation systems, geodatabases, timber industry waste

Перспективы использования европейской ветроэнергетики для преодоления энергетического кризиса

^{1,2}Соловьев Дмитрий Александрович ^[0000-0001-5591-3067],
²Нефедова Людмила Вениаминовна ^[0000-0002-6022-0617]

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

²Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ¹solovev@ocean.ru, ²nefludmila@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы использования возможностей Европейской ветроэнергетики в преодолении мирового энергетического кризиса, вызванного стремительным ростом цены на природный газ из-за ограничения поставок из России. Показано, что в 2021 году европейская ветроэнергетика не в полной мере оправдала возлагаемые на нее надежды из-за аномально низкой интенсивности ветра. Даны прогнозы, относительно ожиданий результатов в сфере использования энергии ветра для преодоления энергетического кризиса в текущем году.

Ключевые слова: ветроэнергетика, климат, энергетический кризис, ВИЭ, климатические вызовы

1 Введение

В последнее время многие задаются вопросом о надежности ветроэнергетики и ее способности обеспечивать непрерывную генерацию на фоне глобальных климатических изменений, которые могут повлечь за собой перераспределение ветровых ресурсов на планете [1]. Кроме того имеются и экономические причины, ставящие под сомнение возможности устойчивой работы ветроэнергетики, в первую очередь обусловленные продолжающейся пандемией COVID-19 и ростом геополитической напряженности в мире. В этой связи стоит отметить, что рыночная капитализация испано-немецкой ветроэнергетической компании Siemens Gamesa Renewable Energy S. A. в области возобновляемых источников энергии за 2020-2021 гг. сократилась почти вдвое, поскольку сбои в цепочке поставок из-за пандемии коронавируса и аномально низкий уровень скорости ветра в последние годы отрицательно сказались на ее операциях [2].

Убытки компании составили почти 353 млн долларов. Датские компании Vestas и Orsted - крупнейшие в мире производители ветрогенераторов, предупредили о трудных временах для Европейского сектора возобновляемых источников энергии. Многие ведущие ветроэнергетические компании выразили обеспокоенность по поводу низкой скорости ветра, текущих проблем в цепочке поставок и увеличения производственных затрат, что не даст возможности обеспечить непрерывную генерацию. Несмотря на оптимизм, прозвучавший на климатическом саммите COP26 осень 2021 года [3], это неизбежные проблемы, с которыми компании, работающие в сфере «зеленой» энергетики, могут столкнуться по мере расширения своей деятельности в ближайшие годы.

Целью работы состоит в том, чтобы показать насколько уникальным явлением являются события с аномально низкой скоростью ветра и каким образом это может отразиться на работе ветровых электростанций в регионе Западной Европы в кризисных условиях.

2 Ретроспективный анализ изменения аномалий средней скорости ветра в регионе Западной Европы

На рис. 1 и 2 показана динамика изменения средней месячной скорости ветра и ее аномалий (отклонение от среднемесячной за период 1979-2000 гг.) на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы.

На рис.2 видно, что в последние годы прослеживается устойчивая тенденция снижения интенсивности средней скорости ветра на всей территории Евросоюза, минимальные значения которой пришлось на июнь-июль 2018, январь-февраль 2019, апрель 2020 и практически на весь 2021 год. Скорость ветра в Европе в начале 2022 г также остается в аномально низкой зоне [4].

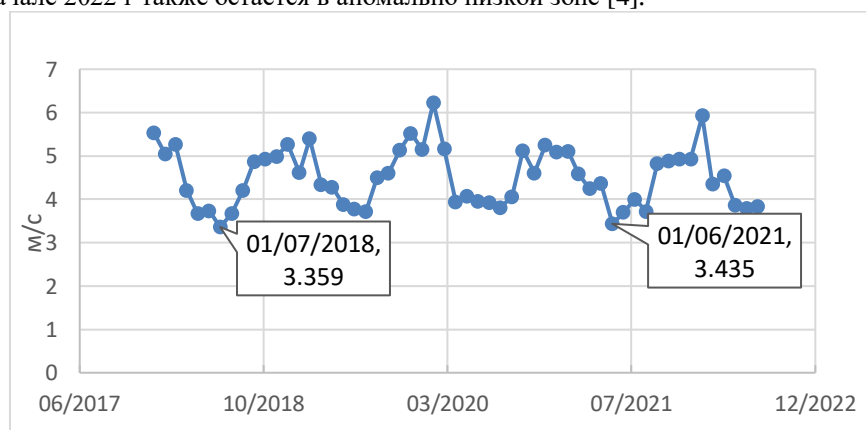


Рис. 1. Среднемесячная скорость ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы (40°N-58°N, 5°W-15°E). Источник:[5].

В 2021 году европейские ВЭС производили мало электроэнергии, приходилось использовать газ и другие источники генерации, включая экологически «грязный» уголь, который в ЕС снова пришлось сжигать для компенсации выпадающих энергетических мощностей ВИЭ. [6]. Осенью 2021 года дефицит газа на оптовом рынке Европы привел к резкому скачку цен на него. И, соответственно, электроэнергия также заметно подорожала. Одновременно, выяснилось, что производители солнечных батарей не могут серьезно нарастить их выпуск: не хватает сырья, в том числе поликремния, цены на который выросли в среднем на 20%.

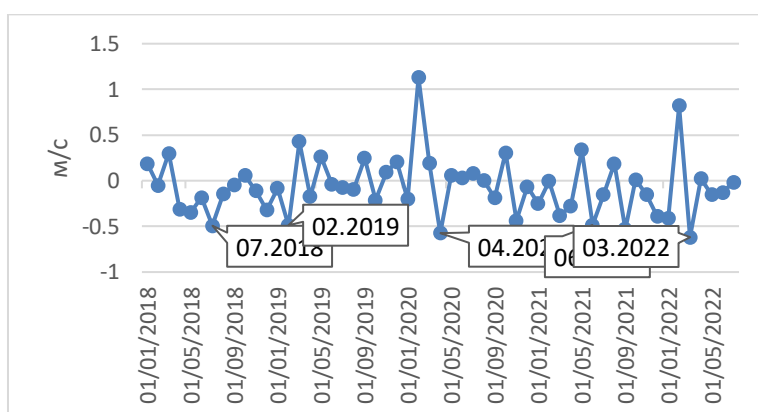


Рис. 2. Аномальные значения среднемесячной скорости ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы (40°N-58°N, 5°W-15°E). Источник: [5].

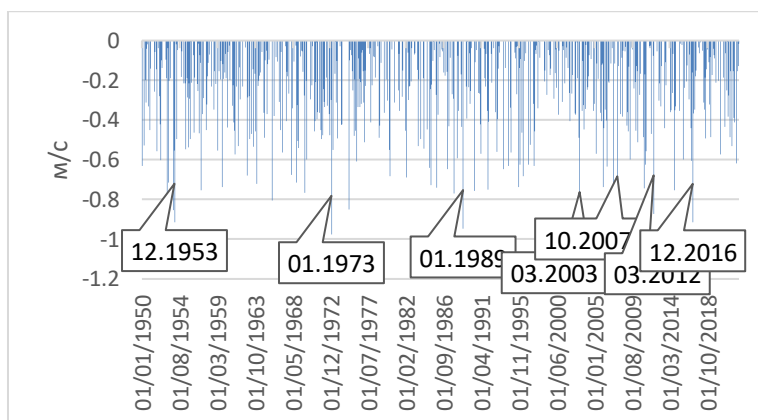


Рис. 3. Выборка периодов с наиболее низкой скоростью ветра (отрицательные значения аномальных отклонений от среднемесячной скорости ветра (м/с)) на высоте 10 м от поверхности Земли (1950-2022) в регионе Западной Европы (40°N-58°N, 5°W-15°E). Источник: [5].

Следует отметить, что ситуация, когда в странах ЕС имела место аномально низкая скорость ветра, не является уникальным явлением. Выборка дат с наиболее низкой скоростью ветра, представленная на рис.3, показывает, что на протяжении многих лет такие события происходили достаточно часто. Штиль мог длиться от нескольких часов до нескольких дней и даже месяцев. Но определить, сколько же точно он будет длиться, достаточно проблематично. Прогноз характеристик ветра весьма сложен, особенно на длительных временных масштабах. А с повышением доли генерации электроэнергии за счет ветра эта проблема выходит на первый план. Ретроспективный анализ изменения аномалий средней скорости ветра регионе Западной Европы позволяет в первом приближении понять насколько часто повторяются периоды низкой интенсивности ветра. На рис. 3 видно, что за период начиная с 1950 года периоды, когда наблюдалось значительное отрицательное отклонение от характерной среднемесячной скорости ветра, появлялись достаточно часто. Исходя из визуальной оценки представленного на рис.3 ретроспективного ряда данных были определены периоды с повторяющимися аномально низкими среднемесячными значениями скоростей ветра (значение отрицательного отклонения превышает 0.8 м/с). В том числе в последние 20 лет такие события имели место в 2003, 2007, 2012 и 2016 годах. Однако, такой природный феномен, связанный с необычно длительным отсутствием сильного ветра, практически на протяжении всего 2021 года, уникален и наблюдается впервые. Особенно низкие значения скорости ветра в 2021 г. были отмечены в период с июня по сентябрь.

В условиях штиля от полного краха ветровую энергетику спасают лишь временами набегающие штормовые фронты, но и они длятся лишь по несколько дней. Таким образом, в прошлом году, средние значения коэффициента использования установленной мощности ВЭС в ЕС снизилась до минимальных показателей за все время их существования.

Начало 2022 г. внушало определенный оптимизм достижением февральского максимума скорости ветра, однако согласно данным мониторинга аномалий скорости ветра в марте, как и в январе - отклонение от средней скорости ветра снова ушло в отрицательную зону, достигнув уровня ниже -0,6 м/с, повторив рекорд 2020 г. (рис.2).

Согласно выводам опубликованных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (ipcc.ch), потепление, не имеющее себе равных по продолжительности и интенсивности, началось с 1989 года резким повышением температуры зимой и продолжается в настоящее время [7]. Анализируя представленную на рис.3. выборку дат с наиболее низкой скоростью ветра, начиная с минимума 1989 года, можно предположить, что и в дальнейшем с интервалом 4-5 лет энергосистема ЕС будет, вероятно, сталкиваться с ветроэнергетическими кризисами, обусловленными снижением интенсивности ветра.

3 Перспективы использования энергии ветра в ЕС

Одной из гипотез, которая позволяет объяснить феномен отсутствия ветра, является связь ветра с общим потеплением климата Земли [8]. Поскольку в разных местах планеты ее поверхность нагрета по-разному, воздушные массы имеют различную температуру, что приводит к формированию градиентов плотности воздуха и давления. Следствием данных процессов является формирование движения воздушных масс –ветровых потоков. Наблюдаемое сейчас глобальное потепление, особенно в полярных областях, способствует общему снижению градиента атмосферного давления и температур, что влечет за собой ослабление ветровых потоков вдоль поверхности Земли в средних широтах.

Для потребителей электроэнергии в ЕС ослабление ветров означает дополнительные траты из-за нового скачка цен на «зеленое электричество» на фоне резкого роста цен на углеводородные источники электрогенерации.

Для ветровых электростанций (ВЭС) низкие значения скорости ветра приводят к снижению электрогенерации и даже полной ее остановке при достижении минимальных пороговых значений, допускающих работу оборудования ВЭС. Экстремально высокие значения скорости ветра также приводят к прекращению выработки электроэнергии и остановке ВЭС. Особенно опасны резкие перепады скорости ветра в течение короткого времени. Существует предел скорости движения воздуха, при котором работа ветроустановок все еще возможна, однако если его лимит превышен, включается защита: срабатывает автоматическая система, которая поворачивает по своей оси каждую из лопастей ветрогенератора, что приводит к его полной остановке. При срабатывании эта автоматическая система стремится замедлить вращение ветрогенератора, чтобы вывести его из критических режимов работы. Пороговые, оптимальные и предельные значения скорости зависят от модели ВЭС и являются ее рабочими характеристиками. При ураганном ветре, скорость которого может превышать 30-40 м/с, а именно такая сила ветра была зафиксирована в феврале 2022 г. на юго-западе Англии и в Южном Уэльсе, ветростанции работать не смогут и будут находиться в режиме простоя.

С ветровой генерацией есть еще одна проблема. Если погодные условия позволяют вырабатывать электроэнергии больше, чем обычно, то необходимо куда-то направить его излишки [9]. В таком случае ВЭС, которые ставят частные домовладельцы, обычно заряжают аккумуляторы, но их емкость ограничена, а также они постепенно разряжаются. Промышленные ветряные электростанции, как правило, направляют всю вырабатываемую энергию сразу в сети. Сетевые компании в случае необходимости снижают отбор энергии у других поставщиков, которые могут быстро и без ущерба для себя снизить генерацию. С ростом установленной мощности ВЭС эта проблема будет становиться все более актуальной. Но уже есть технические решения, которые позволят сохранять большую часть вырабатываемой ветром электроэнергии. Это могут быть решения с водородными накопителями [10], [11]. Водород, который может

служить накопителем электроэнергии, получают путем электролиза за счет избыточной энергии на ВЭС. Также возможен и экспорт излишков электроэнергии в умные сети крупных мегаполисов (Smartgrid), способные в автоматическом режиме распределить ее по потребителям [12]. Широкий спектр источников получения водорода наряду с цифровизацией технологических процессов, позволяет предположить, что значительная часть усилий по обеспечению энергетической независимости стран ЕС будет направлена именно в этом направлении.

Указанные проблемы нельзя считать непреодолимыми, но они создают определенные трудности в реализации планов зеленого энергосодержания с полным отказом от российского газа, что декларируется европейскими чиновниками.

Согласно планам ЕС, к 2030 году ветровые станции должны вырабатывать до 35% всей электроэнергии, заняв до половины от доли выработки всех ВИЭ. Но многое зависит от погодных условий. Так, в первом полугодии 2021 года в Германии ВЭС имели средний КПД лишь около 21% по причине низких значений скорости ветра. Необходимо отметить, что в ряде случаев при оптимальных значениях скорости ветра ВЭУ могут полностью обеспечить потребности страны в электроэнергии. К примеру, 07.08.2016 г. в Шотландии ветровые энергоустановки генерировали за день больше электроэнергии, чем потребляет вся страна.

4 Выводы

Европейские ветровые электростанции продолжают успешно работать и в течение текущего мирового энергетического кризиса несмотря на то, что выработка ветрогенерации в ЕС не имеет стабильных показателей. Например, она значительно снизилась в июне 2022 г., о чем свидетельствуют данные ассоциации Wind Europe и выполненного ретроспективного анализа изменения аномалий средней скорости ветра в регионе Западной Европы. Полученная за счет ветра электроэнергия в Европе в июне 2022 года обеспечила около 10 % энергосбаланса по странам ЕС. Таким образом штилевая погода в июне сократила выработку ветроэлектростанций в ЕС примерно на 5-8% от средних показателей весеннего периода этого же года. Однако глобальный энергоскризис привел к росту интереса к строительству новых ВЭС и планам по ускорению ввода строящихся. По нашим оценкам снижение производительности ВЭС в целом по ЕС в связи со снижением интенсивности ветра может нарушить планы достижения цели в 40% электрогенерации за счет ветроэнергетики к 2030 году. Из-за высокой нестабильности ресурсов ветра на территории ЕС, усиливающейся в последние годы в связи с глобальными климатическими изменениями и не до конца решенных проблем с накоплением и передачей «зеленой» энергии, ветроэлектрогенерацию нельзя рассматривать в качестве основного средства преодоления энергоскризиса в Европе как в текущем, так и в последующие ближайшие годы.

Литература

1. Iskandarova M., Dembek A., Fraaije M., Matthews W., Stasik A., Wittmayer J.M., Sovacool B.K. Who finances renewable energy in Europe? Examining temporality, authority and contestation in solar and wind subsidies in Poland, the Netherlands and the United Kingdom // *Energy Strategy Reviews*. 2021. (38). С. 100730. DOI:10.1016/j.esr.2021.100730.
2. Котиловки акций SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY на *finanz.ru* [Электронный ресурс]. URL: https://www.finanz.ru/aktsii/siemens_gamesa (дата обращения: 20.09.2022).
3. Климатический саммит COP26 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/COP26> (дата обращения: 20.09.2022).
4. Соловьев Д.А. Скорость ветра в Европе в начале 2022 г остается в аномально низкой зоне - Энергетическая политика (новости) [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://energypolicy.ru/skorost-vetra-v-evrope-v-nachale-2022-g-ostaetsya-v-anomalno-nizkoj-zone/novosti/2022/20/17/> (дата обращения: 20.09.2022).
5. ClimateReanalyzer [Электронный ресурс]. 2022. URL: https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (дата обращения: 8.09.2022).
6. Дегтярев К.С., Соловьев Д.А. Проблемы и перспективы развития возобновляемой энергетики России в новых условиях // *Энергетическая политика*. 2022. № 6(172). С. 56–69. DOI:10.46920/2409-5516_2022_6172_56.
7. Schlomer S., Bruckner T., Fulton L., Hertwich E., McKinnon A., Perczyk D., Roy J., Schaeffer R., Sims R., Smith P., Wiser R. Annex III: Technology-specific cost and performance parameters // *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014. С. 1329–1356. DOI:http://report.mitigation2014.org/report/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf.
8. Шерстюков Б.Г. Изменения климата: причины и прогноз // *Земля и Вселенная*. 2017. № 3. С. 30–44.
9. Дегтярев К.С., Залиханов А.М., Соловьев А.А., Соловьев Д.А. К вопросу об экономике возобновляемых источников энергии // *Энергия, экономика, техника, экология*. 2016. № 10. С. 10–20.
10. Жук А.З., Новиков А.Н., Новиков Н.Л., Фролов В.Д. Водородные и алюмоводородные накопители в электроэнергетике // *Энергетическая политика*. 2021. № 5. С. 64–79. DOI:10.46920/2409-5516_2021_5159_64.
11. Бушуев В.В., Новиков Н.Л. Инфраструктурные накопители в энергетике // *Энергетическая политика*. 2020. № 10(152). С. 74–89. DOI:10.46920/2409-5516_2020_10152_74.
12. Bushuev V.V., Solovyev D.A., Shilova L.A., Adamtsevich A.O. The introduction of Smart grid concept in Russia (on the example of the Smart city “New Moscow”) // *International Conference on Digital Image & Signal Processing (DISP'19)*. Oxford: St Hugh's College, Oxford University, 2019. С. 1–8.

References

1. Iskandarova M., Dembek A., Fraaije M., Matthews W., Stasik A., Wittmayer J.M., Sovacool B.K. Who finances renewable energy in Europe? Examining temporality, authority and contestation in solar and wind subsidies in Poland, the Netherlands and the United Kingdom // *Energy Strategy Reviews*. 2021. (38). P. 100730. DOI:10.1016/j.esr.2021.100730.
2. Quotes of shares of SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY on finans.ru [Electronic resource]. URL: https://www.finanz.ru/aktsii/siemens_gamesa (date of access: 20.09.2022).
3. Climate summit COP26 [Electronic resource]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/COP26> (date of access: 20.09.2022).
4. 16. 4. Soloviev D.A. Wind speed in Europe at the beginning of 2022 remains in an abnormally low zone - Energy policy (news) [Electronic resource]. 2022.URL: <https://energypolicy.ru/skorost-vetra-v-evrope-v-nachale-2022-g-ostaetsya-v-anomalno-nizkoj-zone/novosti/2022/20/17/> (date of access: 20.09. 2022).
5. Climate Reanalyzer [Electronic resource]. 2022.URL: https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (accessed 04/08/2022).
6. Degtyarev K.S., Soloviev D.A. Problems and prospects for the development of renewable energy in Russia in the new conditions // *Energy Policy*. 2022. No. 6(172). pp. 56–69. DOI:10.46920/2409-5516_2022_6172_56.
7. Schlomer S., Bruckner T., Fulton L., Hertwich E., McKinnon A., Perczyk D., Roy J., Schaeffer R., Sims R., Smith P., Wiser R. Annex III: Technology- specific cost and performance parameters // *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014, pp. 1329–1356. DOI: http://report.mitigation2014.org/report/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf.
8. Sherstyukov B.G. Climate change: causes and forecast // *Earth and Universe*. 2017. No. 3. P. 30–44.
9. Degtyarev K.S., Zalikhanov A.M., Soloviev A.A., Soloviev D.A. On the issue of the economy of renewable energy sources // *Energy, economics, technology, ecology*. 2016. No. 10. P. 10–20.
10. Zhuk A.Z., Novikov A.N., Novikov N.L., Frolov V.D. Hydrogen and aluminum hydrogen accumulators in the electric power industry // *Energy policy*. 2021. No. 5. S. 64–79. DOI:10.46920/2409-5516_2021_5159_64.
11. Bushuev V.V., Novikov N.L. Infrastructure storage in the energy sector // *Energy policy*. 2020. No. 10(152). pp. 74–89. DOI:10.46920/2409-5516_2020_10152_74.
12. Bushuev V.V., Solovyev D.A., Shilova L.A., Adamtsevich A.O. The introduction of Smart grid concept in Russia (on the example of the Smart city “New Moscow”) // *International Conference on Digital Image & Signal Processing (DISP'19)*. Oxford: St Hugh's College, Oxford University, 2019. pp. 1–8.

The Prospects for the Use of European Wind Energy to Overcome the Energy Crisis

¹Dmitry Solovyev,

²Liudmila Nefedova

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: ¹solovev@ocean.ru, ²nefludmila@mail.ru

Annotation. The article discusses the use of the capabilities of the European wind energy in overcoming global energy crisis caused by the rapid increase in natural gas prices due to restrictions on supplies from Russia. It was shown that in 2021 the wind energy seriously failed the EU. Forecasts are given regarding the expectations of results in the field of use of wind energy to overcome energy crisis this year.

Keywords: wind energy, climate, energy crisis, renewal, climatic calls

УДК 621.3:621.22:620.91.

Парусная энергетическая установка наземного базирования: увеличение мощности

Чекарев Константин Владимирович ^[0000-0002-5140-5142]1,2
Залиханов Алим Михайлович ^[0000-0002-2540-6045]1,3

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²E-mail: konstantintchekarev@yandex.ru,

³E-mail: bulungu@yandex.ru

Аннотация. Установки большой мощности, преобразующие кинетическую энергию ветра в электроэнергию, из-за низкой плотности воздуха имеют большие размеры, что приводит к необходимости сооружать большие конструкции при использовании в установках ветроколеса с горизонтальной осью вращения. Предложен вариант парусной энергетической установки наземного базирования, в которой проблема, связанная с большими размерами преобразователей энергии ветра, снимается. Была разработана и создана экспериментальная установка для проведения исследований на макетах парусной энергетической установки наземного базирования, включающей платформы с установленными на них парусами. Проведенные экспериментальные исследования показали работоспособность входящих в экспериментальную установку систем, найдены элементы конструкции, которые могут быть использованы при реализации парусной установки наземного базирования. Разработана система управления положением парусов через контактный рельс, моделирующая передачу электричества внешнему потребителю. Предложен способ увеличения мощности установки за счет организации движения платформ по двум соседним путям. Результаты исследований представлены в данной статье.

Ключевые слова: ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, ветровая установка, парусная энергетическая установка.

1 Введение

Использование кинетической энергии ветра в хозяйственной деятельности человека насчитывает много веков. Преобразователи энергии ветра в виде ветроколеса использовались только на суше для совершения работы, а преобразователи ветровой энергии в виде паруса использовались в основном на воде для перемещения транспортных средств. Известны примеры использования парусов для перемещения транспортных средств на суше [1], но это направление развития не получило. С появлением зеленой энергетики установки с преобразователем энергии в виде ветроколеса стали использоваться для производства электроэнергии, и устанавливаются как на суше, так и на море. Ветроэнергетика является одной из самых быстроразвивающихся отраслей возобновляемой энергетики. По оценкам The Global Wind Council за 2021 год [2], 2020 был лучшим в глобальной ветроэнергетике. В большинстве действующих ветровых установках преобразование энергии ветрового потока в электроэнергию осуществляется с помощью ветроколеса с горизонтальной осью вращения и соединенного с ним электрогенератора, которые устанавливаются на мачте. В установках большой мощности диаметр ветроколеса может превышать величину 100 метров. Для удержания ветроколеса таких размеров необходима прочная конструкция и соответствующее основание, чтобы выдерживать большой вес установки и ветровые нагрузки, что приводит к усложнению конструкций и увеличению их стоимости. Предлагаются различные варианты решения проблемы, связанной с большими размерами преобразователей энергии ветрового потока.

2 Актуальность исследования и постановка цели

Известен вариант ветроэнергетической морской установки повышенной мощности, в которой система жестких парусов, выполненная в виде вертикальных лопастей, удерживается на поверхности воды кольцевым понтоном, который вращается вокруг вертикальной оси [3]. В предлагаемой конструкции энергетической установки проблема создания прочной опоры при больших размерах преобразователей энергии снимается, но при этом возникает другая проблема. Установка может работать только при большом диаметре кольцевого понтона, в противном случае система наветренных лопастей будет перекрывать систему лопастей, находящихся за ними, однако при большом диаметре кольцевого понтона практически невозможно создать конструкцию, способную выдерживать волновое воздействие.

Существуют варианты парусной энергетической установки, позволяющие снять проблему больших размеров преобразователя энергии ветрового потока и проблему устойчивости волновому воздействию [4, 5, 6]. Вариант энергетической установки [5] содержит парусный катамаран, к корпусам которого снизу прикреплен гидрогенератор, выполненный в виде крыльчатки и электрогенератора. Катамаран движется циклично по дуговой траектории в

заданном угловом интервале, что позволяет увеличить эффективность преобразования энергии ветрового потока. Для движения по такой траектории катамаран выполнен в виде конструкции, симметричной относительно носа и кормы, и имеет систему изменения положения парусов и систему управления движением катамарана. Движение по дуговой траектории может быть автоматическим [7]. Вариант парусной энергетической установки [6] позволяет повысить эффективность использования энергии ветрового потока за счет задания области перемещения катамарана, в которой он все время движется курсом, близким к курсу галфвинд. Однако в предлагаемых вариантах энергетических установок их эффективность также оказывается низкой, поскольку часть энергии ветрового потока расходуется на перемещение катамарана. Кроме этого, возникают сложности с передачей вырабатываемого электричества внешнему потребителю электричества.

Эффективность парусной энергетической установки можно повысить и при этом снять проблему передачи вырабатываемой электроэнергии внешнему потребителю, если сделать парусную энергетическую установку наземного базирования.

Известен вариант конструкции парусной энергетической установки наземного базирования [8], который является сухопутным аналогом ветроэнергетической морской установки [3]. Установка содержит платформы, соединенные в замкнутый состав, который движется по радиальному рельсовому пути. На платформах установлена система парусов, которые меняют положение в зависимости от направления ветра и участка пути. Электроэнергия вырабатывается с помощью электрогенераторов, соединенных с колесами платформ. Предлагаемая конструкция, как и ветроэнергетическая морская установка (3), может работать только при большом диаметре рельсового пути, поскольку при малых диаметрах система наветренных парусов будет перекрывать систему парусов, расположенную за ней, при этом эффективность преобразования энергии ветрового потока будет низкой, поскольку на половине пути платформы перемещаются под острым углом к направлению ветра.

Эффективность парусной энергетической установки наземного базирования можно повысить, если состав платформ сделать незамкнутым и изменить характер движения платформ так, как это сделано в парусной энергетической установке морского базирования [5]. Это означает, что платформы должны двигаться циклично в заданном угловом интервале и иметь систему изменения положения парусов и систему управления движением платформ для того, чтобы платформы начинали двигаться в противоположную сторону в точках, ограничивающих интервал перемещений платформ. Была создана экспериментальная установка, элементы которой отработывались в процессе проведения исследований, при этом учитывался опыт и использовались элементы экспериментальной установки, на которой проводились исследования парусной энергетической установки морского базирования [5]. Эксперименты показали работоспособность входящих в нее элементов, а также были определены элементы конструкции, которые могут быть использованы при реализации парусной установки наземного базирования.

Для реализации парусной энергетической установки необходимо разработать систему передачи вырабатываемой электроэнергии внешнему потребителю. Для моделирования этого процесса была разработана система управления положением парусов через контактный рельс.

В предложенном варианте парусной энергетической установки наземного базирования, при циклическом движении платформ выработка электроэнергии практически прекращается на участках изменения направления движения платформ. Разработан и экспериментально исследован способ увеличения мощности установки и уменьшения неравномерности выработки электроэнергии путем организации движения платформ по двум соседним путям.

3 Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Экспериментальная установка включала генератор ветрового потока, платформы, на которых были установлены паруса, систему изменения положения парусов, систему управления движением платформ и направляющую систему.

Генератор ветрового потока был выполнен в виде системы вытяжных вентиляторов в количестве 13 штук, расположенных рядом друг с другом на рейке, длиной 2 метра. На Рис.1 представлено изображение генератора ветрового потока, а на Рис.2 график распределения скоростей в вертикальных плоскостях, отстоящих от генератора ветрового потока на расстояниях 35 см, 50 см и 65 см. Как показали результаты исследований, изложенные в статье [9], несмотря на разницу распределения скоростей в этих плоскостях, эффективность воздействия ветрового потока на скорость платформ оказалась практически одинаковой.



Рис. 1. Генератор ветрового потока

Экспериментальные исследования, представленные в данной статье, проводились на тех же платформах, что и эксперименты, результаты которых приведены в статье [9]. Изображение платформы представлено на рис.3. Рамка платформы, к которой крепились 4 пластмассовых колеса диаметром 40 мм, имела размер 22 см в длину и 17 см в ширину. В середине платформы на высоте 30 мм от рамки крепилась рейка, на которой в поворотных устройствах глубиной

30 мм устанавливались мачты, выполненные в виде пластиковых трубок диаметром 5 мм и высотой 30 см. Мачты были расположены на расстоянии 11 см друг от друга. Они поворачивались вокруг своей оси с помощью системы изменения положения парусов, включавшей электродвигатель с редуктором, на вал которого была надета небольшая шестеренка, а на одной из мачт была закреплена шестеренка большего диаметра.

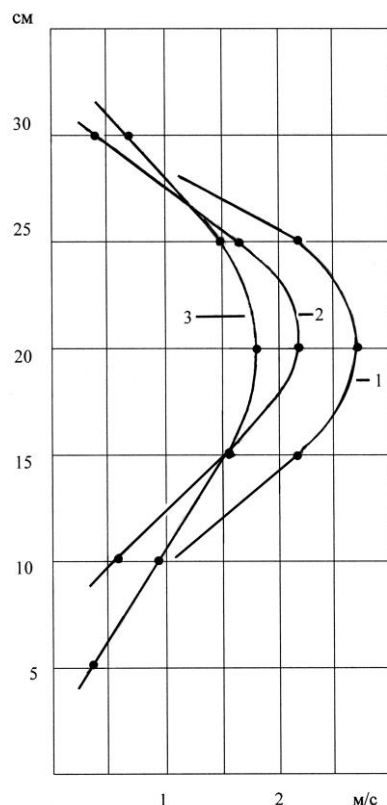


Рис. 2. График распределения скоростей в вертикальных плоскостях, отстоящих от генератора ветрового потока на расстояниях: 1) 35 см, 2) 50 см, 3) 65 см.

В зависимости от поставленной задачи мачты могли поворачиваться в угловом диапазоне 70° - 100° . К мачтам были прикреплены паруса площадью 256 см^2 каждый. Чтобы снизить ветровую нагрузку на систему изменения положения парусов, они были симметричной формы относительно мачты, как это видно на Рис. 3. Размеры парусов составляли по высоте 19 см, по ширине внизу 16 см и вверху 11 см. Паруса были сделаны из металлизированной пленки, которая крепилась к мачте и нижней рее, и были усилены тремя ребрами. Для обеспечения одновременного изменения положения парусов нижние рей были соединены легкими перемычками.

Платформы двигались по гладкой, горизонтальной плоскости длиной 3 метра и шириной 1,2 м. Трасектория движения платформ задавалось направляющей системой. Она включала 3 направляющих рельса, расположенных на расстоянии 35 см, 50 см и 65 см от выходных отверстий генератора ветрового потока. В качестве направляющих рельсов использовались пластмассовые короба для проводов сечением 12х12 мм и длиной 2 метра.

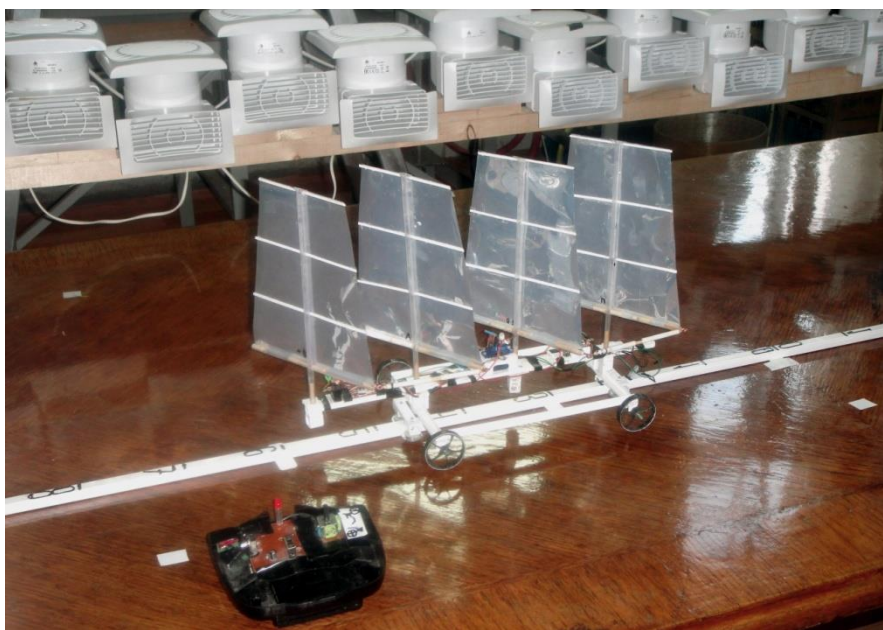


Рис. 3. Платформа с парусами на направляющем рельсе. Устройство радиоуправления на переднем плане.

На всех направляющих рельсах была нанесена цифровая разметка, означающая интервал в 10 см. Начало разметки совпадало с серединой генератора ветрового потока. Направляющая система включала также 4 колеса диаметром 15 мм, закрепленных по 2 на коротких сторонах рамки платформы. Их оси были направлены вертикально, находились на расстоянии 32 мм и были установлены так, чтобы направляющий рельс находился между ними. При таком расположении колес платформы свободно перемещались вдоль направляющего рельса.

Была разработана система управления положением парусов через контактный рельс, моделирующая передачу вырабатываемой установкой электроэнергии внешнему потребителю. Она включала направляющий рельс, который использовался как контактный рельс, на вертикальные стороны которого с двух сторон наклеивалась алюминиевая лента. Для электрического контакта системы изменения положением парусов с контактным рельсом на одной из коротких сторон рамки платформы, дополнительно к двум направляющим колесам,

крепилась два металлических колеса с вертикальной осью вращения, расположенные по высоте так, чтобы они касались середины вертикальных сторон контактного рельса. Колеса прижимались к контактному рельсу петлей из тонкой резиновой нити. Контактные колеса были соединены электрическими проводами с электромотором системы изменения положения парусов. Для передачи электрического сигнала на систему изменения положения парусов к алюминиевым лентам, наклеенным на направляющий рельс, крепились контакты от пульта управления, с которого подавались электрические сигналы на изменения положения парусов.

На одной из платформ была установлена система управления движением платформ, моделирующая управление с помощью сигналов GPS. Управление осуществлялось с помощью радиосигналов, которые передавались с пульта управления на установленный на платформе приемник, соединенный с системой изменения положения парусов. По этому сигналу паруса изменяли свое положение на противоположное.

При проведении экспериментов движение платформ снималось на видеокамеру. По полученным записям с помощью разметки на направляющих рельсах строились графики движения платформ в зависимости от времени, по которым определялась скорость движения платформ.

4 Результаты экспериментов и обсуждение

Были проведены две серии экспериментов. В экспериментах первой серии исследовалось функционирование систем управления положением парусов через контактный рельс.

Во второй серии экспериментов проводилось исследование способа увеличения мощности установки путем организации движения платформ по двум соседним путям (Рис. 4). Если организовать движение платформ таким образом, чтобы моменты изменения направления их движений не совпадали по времени, то можно уменьшить неравномерность выработки электроэнергии, обусловленной цикличностью движения платформ.

Проведенные эксперименты первой серии показали, что созданные системы управления положением парусов через контактный рельс работают нормально. На рис.5 представлен график перемещения платформы с управлением положением парусов по сигналам, передаваемым по контактному рельсу. Как видно из графика, созданная контактная система, в принципе может быть использована для передачи вырабатываемой электроэнергии внешнему потребителю.

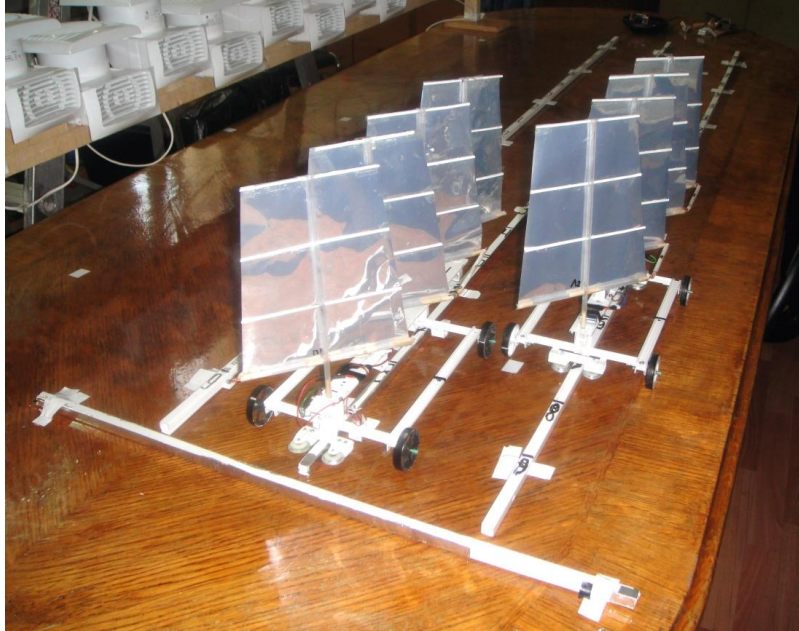


Рис. 4. Две платформы, установленные на соседних параллельных путях

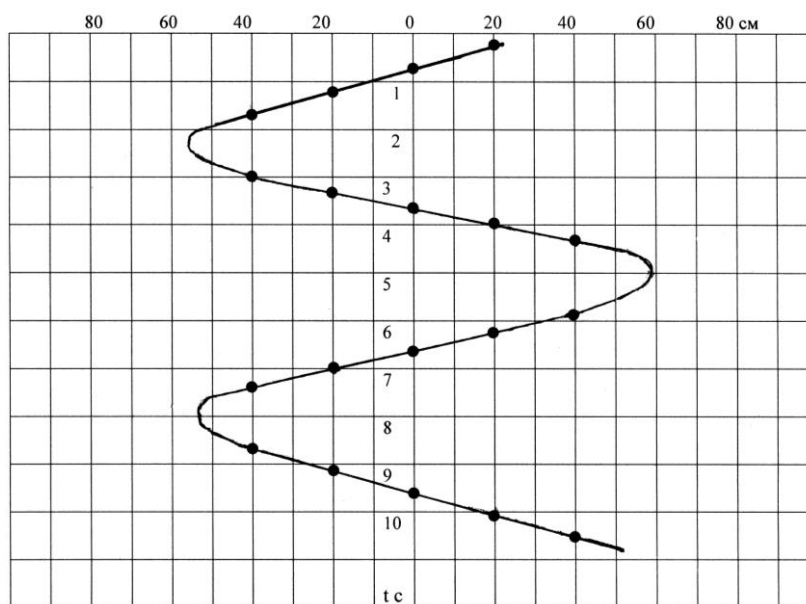


Рис. 5. График перемещения платформы с управлением положением парусов по сигналам, передаваемым по контактному рельсу.

На Рис.6 представлен график перемещений двух платформ по двум соседним направляющим рельсам. Платформа с радиуправлением двигалась по направляющему рельсу, отстоявшему от генератора ветрового потока на расстоянии 50 см, а платформа с управлением по контактному рельсу двигалась по направляющему рельсу, отстоящему от генератора ветрового потока на расстоянии 65 см. Скорости платформ, вычисленные по траекториям движения платформ, оказались практически равными и находятся в интервале 50-55 см/с. Из Рис. 6 видно, что скорость платформы с управлением по контактному рельсу после встречи с платформой с радиуправлением, когда перекрывается воздушный поток, не изменяется. Это означает, что можно организовать движение платформ по соседним путям так, чтобы скорости платформ не менялись.

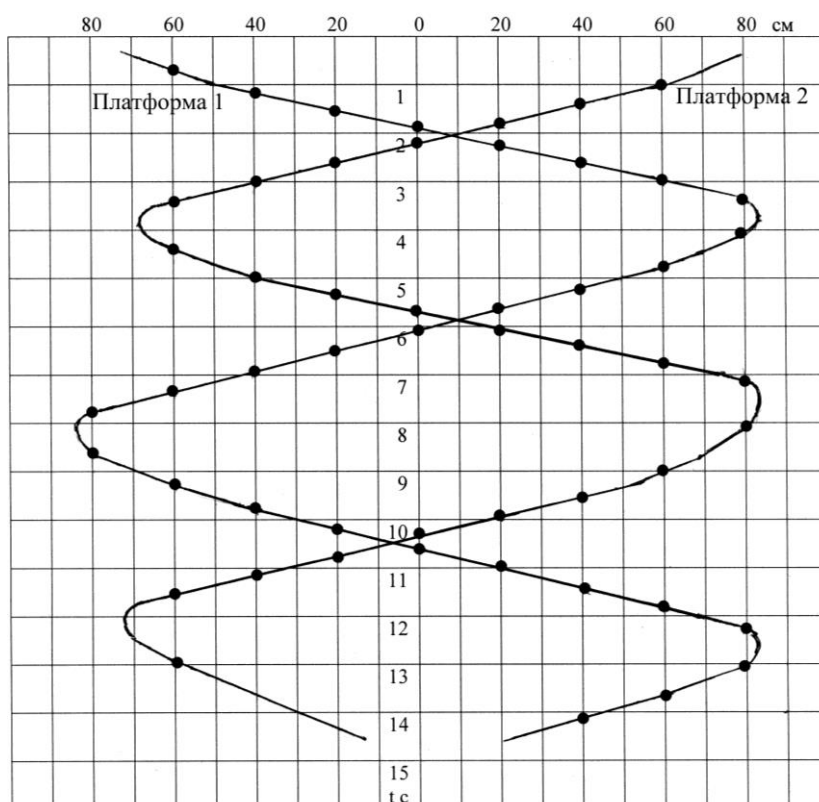


Рис. 6. График перемещений двух платформ по двум соседним направляющим рельсам. (Платформа 1 – с радиуправлением, Платформа 2 – с управлением по контактному рельсу).

В исследованиях движений макетов платформ парусной энергетической установки наземного базирования, результаты которых представлены в статье

(10), показано, как можно найти силы, действующие на платформы. Зная величину силы F , действующей на паруса платформы, движущейся со скоростью V , можно рассчитать мощность W , развиваемой этой силой по формуле

$$W = F V$$

Количество парусов, установленных на платформе с радиоуправлением и на платформе с управлением по контактному рельсу было равным, из этого следует, что величины сил, действующие на паруса платформ тоже равны. Поскольку скорости платформ оказались практически равными, это означает, что мощности, развиваемые этими силами, также равны. Это означает, что при движении платформ по двум соседним направляющим мощность удваивается. Если организовать движение платформ таким образом, чтобы изменение направления их движения не совпадало по времени, то можно уменьшить неравномерность выработки электроэнергии, обусловленной цикличностью движения платформ.

5 Выводы

На основании результатов, полученных в процессе проведения экспериментов, можно сделать следующие выводы. Эксперименты с передачей сигналов на изменение положения парусов по контактному рельсу показывают, что таким же образом можно передавать электроэнергию внешнему потребителю.

Способ организации движения платформ по двум соседним путям позволяет увеличить мощность парусной установки. Если организовать движение платформ таким образом, чтобы моменты изменения направления их движений не совпадали по времени, то можно уменьшить неравномерность выработки электроэнергии, обусловленной цикличностью движения платформ.

Литература

1. П.Дигай. Под парусами по рельсам// Yachtrussia.com/articls/2016/10/21/articls_391.html
2. Global Wind Report 2021 <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
3. Чебоксаров В.В., Кузнецов Н.Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки // Строительство и технологическая безопасность. №18 (70), 2020. С.67-81.
4. Патент № 2722760 РФ, МПК В63В 35/44 (2006.1) / Парусная энергетическая установка, преобразующая энергию потоков двух сред; № 2019136097, Заяв. 2019.11.11 / Соловьев А.А., Чекарев К.В., Соловьев Д.А. – заявители и правообладатели // «Изобретения. Полезные модели». 2020. № 16.
5. Патент № 2745173 РФ, МПК В63В 35/44 (2006.01) / Парусная энергетическая установка; № 2020128596, заявл. 2020.08.28 / Чекарев К.В., Дегтярев К.С., Залиханов А.М. – заявители и правообладатели // «Изобретения. Полезные модели». 2021. № 9.
6. Патент № 2779605 РФ, МПК В63В 35/44 (200.01) / Парусная энергетическая установка с автоматической системой управления её движением / № 2022107300, Заявл.

- 21.03.2022 / Чекарев К.В., Березкин М.Ю., Залиханов А.М. - заявители и правообладатели // «Изобретения. Полезные модели». 2022. № 26.
7. Чекарев К.В., Залиханов А.М., Дегтярев К.С. Парусные энергетические установки. // География возобновляемых источников энергии. ИД «Энергия», М., 2021. С.180-197.
 8. Патент № 2125182 РФ, МПК F 03 D 5/04 / Ветроэнергетическая установка; № 96123627/06, заявл. 1996.12.16 / Цыбульников С.И. - заявитель и правообладатель.
 9. Чекарев К.В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования // Окружающая среда и энерговедение. №2 (14), 2022. С.77-90. <http://jeees.ru/category/journal/2022-2/>
 10. Чекарев К. В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования: нахождение величины сил, действующих на платформу// Окружающая среда и энерговедение, №3, 2022, С. 67- 79. <http://jeees.ru/category/journal/2022-3/>

References

1. Digaj P. Pod parusami po rel'sam// Yachrussia.com/articls/2016/10/21/ articls_391.html
2. Global Wind Report 2021 <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
3. Cheboksarov V.V., Kuznecov N.N. Gibridnye vetro-solnechnye morskije energeticheskie ustanovki // Stroitel'stvo I tekhnologicheskaya bezopasnost'. №18 (70), 2020. S.67-81.
4. Patent RU 2722760 C1, B63B 35/44 (2006.1) / Sailing Power Plant Converting Flow Energy of Two Media / Application # 2019136097, 2019.11.11 / Solovev A.A., Chekarev K.V., Solovev D.A. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2020 / # 16.
5. Patent RU 2745173 C1 / B63B 35/44 (2006.01) / Sailing power plant / Application: # 2020128596, 2020.08.28 / Chekarev K.V., Degtyarev K.S., Zalikhhanov A.M. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2021, # 9.
6. Patent RU 2779605 C1/ B63B 35/44 (200.01) / Sailing Power Plant With Automatic Control System of its Movement / Application: # 2022107300, 21.03.2022 / Chekarev K.V., Berezkin M.Y., Zalikhhanov A.M. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2022, # 26.
7. Chekarev K.V., Zalikhhanov A.M., Degtyarev K.S. Parusnye energeticheskie ustanovki. // Geografiya vozobnovlyaemyh istochnikov energii. ID «Energiya», М., 2021. S.180-197.
8. Patent RU 2125182 C1 / F 03 D 5/04 / Wind-electric Power Plant /Application: # 96123627/06, 16.12.1996 / Tsybul'nikov S.I. - inventor and proprietor //
9. Chekarev K.V., Zalikhhanov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №2 (14), 2022. S.77-90. <http://jeees.ru/category/journal/2022-2/>
10. Chekarev K.V., Zalikhhanov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya: nakhojdenie velichiny sil, deistvuiuschih na platformu // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №3 (15), 2022. S.67-79. <http://jeees.ru/category/journal/2022-3/>

The Power Increasing of the Land-based Sailing Power Plant

Konstantin Chekarev^{1,2}

Alim Zalikhanov^{1,3}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²E-mail: konstantintchekarev@yandex.ru,

³E-mail: bulungu@yandex.ru

Abstract. High-power installations that convert kinetic wind energy into electricity have large dimensions due to low air density, which leads to the need to construct large structures when using wind wheels with a horizontal axis of rotation in installations. A variant of a land-based sailing power plant is proposed, in which the problem associated with the large size of wind energy converters is removed. An experimental installation was developed and created to conduct research on models of a land-based sailing power plant, including platforms with sails mounted on them. The conducted experimental studies have shown the operability of the systems included in the experimental installation, structural elements have been found that can be used in the implementation of a land-based sailing installation. A system for controlling the position of sails through a contact rail has been developed, simulating the transmission of electricity to an external consumer. A method is proposed to increase the capacity of the installation by organizing the movement of platforms along two adjacent paths. The research results are presented in this article.

Keywords: windpower, renewable energy sources, wind plant, sailing power plant.

УДК 911.7.

Проекты развития возобновляемой энергетики в странах Центрально-Азиатского региона

Глазачев Василий Михайлович ^[0000-0003-2428-1786]

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: wg98@yandex.ru

Аннотация. В работе проведён анализ перспектив возобновляемой электроэнергетики четырех стран Центральной Азии, входящих в объединенную энергосистему региона – Казахстана, Узбекистана, Кыргызстана и Таджикистана. Рассмотрены крупнейшие проекты в отрасли с учетом географических особенностей Центральной Азии, сделаны выводы о тенденциях развития рассматриваемого сектора.

Ключевые слова: электроэнергетика, Центральная Азия, проекты, возобновляемые источники энергии.

1. Введение

Центральная Азия обладает обширными и разнообразными возобновляемыми энергоресурсами, неравномерно распределенными по территории региона. Разные государства региона обладают отличающимся набором ВИЭ, однако планы развития возобновляемой энергетики имеют все страны Центральной Азии, за исключением Туркменистана, опирающегося на газовую генерацию. Таким образом, в данной статье будут рассмотрены планы развития возобновляемой электроэнергетики в четырех государствах региона – Казахстане, Узбекистане, Кыргызстане и Таджикистане.

На 2021 год по доле возобновляемых источников энергии в электрогенерации Кыргызстан и Таджикистан являются лидерами не только в Центральной Азии, но и на всем постсоветском пространстве. Доля ВИЭ (в первую очередь, гидроэнергетики) составляла 87% в Кыргызстане [1] и 92% в Таджикистане [2]. Казахстан и Узбекистан заметно отстают по данному показателю. В Казахстане доля ВИЭ составляет 11% [3], в Узбекистане – 8% [2].

Углеводородные энергоносители составляют основу энергобаланса Казахстана и Узбекистана, однако эти государства также заинтересованы в

использовании ВИЭ. Узбекистан (таблица 1) потребляет практически все добываемые в стране углеводороды, с учетом потенциального роста потребления электроэнергии объемов нефти, газа и угля в скором времени может оказаться недостаточно.

Таблица 1. Производство, потребление, импорт и экспорт углеводородных энергоносителей в Узбекистане в 2020 году.

Показатель	Нефть, млн тонн	Природный газ, млрд м ³	Уголь, млн тонн
Производство	2,1	49,8	4,1
Потребление	3,7	46,1	8
Импорт	0,5	–	0,8
Экспорт	–	3,1	–

Источник – BP [4], UN Comtrade[5]

Казахстан не испытывает дефицита энергоресурсов, являясь крупным экспортером нефти и угля [4]. Тем не менее, заявленные президентом РК цели о достижении углеродной нейтральности к 2060 году [6], требуют трансформации энергетического сектора.

По данным на 2016 г., объем выбросов парниковых газов по отношению к ВВП в Казахстане является одним из самых высоких в мире [7]. По данным на 2017 год, 75% выбросов парниковых газов приходились именно на электроэнергетический сектор, основу которого составляет угольная генерация [8].

Доктрина (стратегия) достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года предполагает увеличение доли ВИЭ в структуре установленных мощностей электростанций страны до 83% к 2060 году

Электроэнергетика Кыргызстана опирается на гидроэнергию, однако страна испытывает дефицит электроэнергии (таблица 2). Кроме того, высокий гидроэнергетический потенциал Кыргызстана позволяет начать экспортировать электроэнергию в соседние страны [9].

Таблица 2. Экспорт и импорт электроэнергии из Кыргызстана, млн кВт·ч.

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Импорт в Кыргызстан	729,3	330,7	0	0	269,2	352,6
Экспорт из Кыргызстана	183,8	199,1	1215,3	754,6	271,1	301,9

Источник – Национальный статистический комитет Кыргызской Республики [10]

Структура электроэнергетического сектора Таджикистана близка к кыргызской, однако Таджикистан дефицита электроэнергии не испытывает (табл. 3). Власти Таджикистана делают ставку на экспорт электроэнергии в соседние страны, в первую очередь в рамках транснационального проекта CASA-1000 [11].

Таблица 3. Экспорт электроэнергии из Таджикистана, млрд кВт·ч.

2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1,33	1,32	1,29	2,37	2,88	1,49	2,41

Источник – Исполнительный комитет электроэнергетического совета СНГ [2]

Даже при первом рассмотрении современного состояния и стратегии развития электроэнергетического сектора стран Центральной Азии заметна важность ВИЭ для региона. Тем не менее, переходя к конкретным проектам строительства в каждой из стран, необходимо учитывать географическую специфику стран региона.

Структура энергобаланса стран Центральной Азии в целом отражает распределение природных ресурсов на территории – более богатые углеводородными носителями энергии государства (Казахстан и Узбекистан) имеют в основе своего энергобаланса тепловую генерацию, обеспеченные гидроэнергоресурсами горные Кыргызстан и Таджикистан полагаются почти исключительно на ГЭС. Тем не менее, каждая страна имеет свою стратегию развития энергетического сектора и связанные с ней инфраструктурные проекты, которые и будет рассмотрены далее в разрезе по странам.

1 Казахстан

Стратегия развития электроэнергетики Казахстана предполагает в первую очередь развитие солнечной и ветровой энергетики. К 2030 году доля ВИЭ (ГЭС+ВЭС+СЭС) в структуре установленных мощностей должна составить 27%, в выработке электроэнергии – 20% (рис.1).

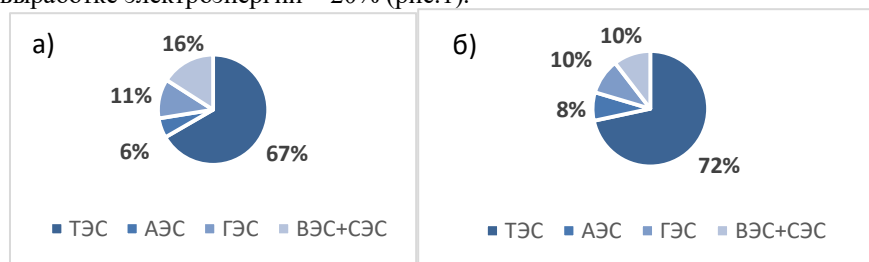


Рис. 1. Планы: а) структуры установленных мощностей электростанций (МВт) и б) выработки электроэнергии (млрд кВт·ч) РК к 2030 году.

Источник - Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике»

По данным на конец 2022 года возобновляемые источники энергии занимают всего 19% в структуре установленной мощности электростанций и 11% - в

структуре выработки электроэнергии [3]. Таким образом, к 2030 году Казахстан должен увеличить выработку электроэнергии ГЭС, ВЭС и СЭС в два раза.

Необходимо оговориться, что динамика использования ВИЭ в Казахстане зависит от сроков реализации проекта первой в стране АЭС. Первую атомную электростанцию Казахстана планируется ввести в эксплуатацию к 2030 году на юго-востоке страны. Проект планируется реализовать силами международного пула инвесторов. По данным на конец 2022 года вендор проекта не объявлен, рассматриваются предложения корейской KHNP, CNNC из KNP, Framatome, а также Росатома [12]. Если РК продолжит развитие атомной энергетики, то цели увеличения мощности ВИЭ могут быть пересмотрены.

Крупных планов строительства ГЭС в Казахстане нет. По-видимому, развитие гидроэнергетики будет осуществляться за счет малых ГЭС в горных районах на востоке Казахстана.

Основной потенциал развития СЭС сконцентрирован на юге Казахстана, на территориях, примыкающих к крупнейшим городам и экономическим центрам страны – Алматы, Шымкенту и Кызылорде. Отметим, что 19 из 26 действующих СЭС Казахстана расположены именно в этой зоне [13].

По данным на конец 2022 года в Казахстане планируется к реализации два проекта крупных ветропарков мощностью 1 ГВт каждый на юго-востоке страны. Оба ветропарка вошли в одобренный Правительством Казахстана список приоритетных проектов АО «Самрук Казына» [14]. Проекты планируется реализовать с участием иностранных инвесторов – Total Eren (Франция) и ACWA Power (Саудовская Аравия).

2 Узбекистан

Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы предусматривает увеличение к 2030 году доли ВИЭ (ГЭС+ВЭС+СЭС) до 40% в установленной мощности электростанций и до 26% в структуре выработки электроэнергии (рис. 2) [15].

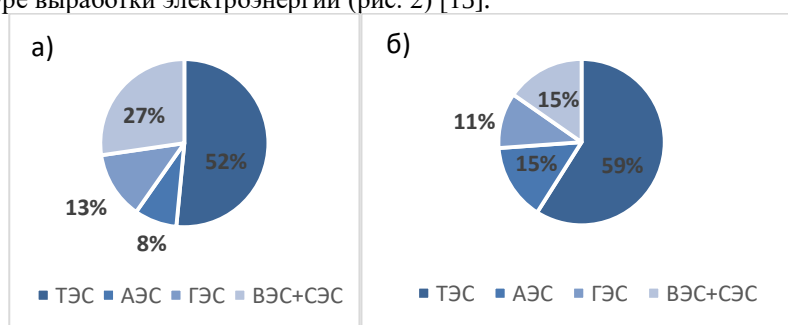


Рис. 2. Планы а) структуры установленных мощностей электростанций (МВт) и б) выработки электроэнергии (млрд кВт·ч) в Узбекистане к 2030 г. [16].

По данным на конец 2022 года возобновляемые источники энергии занимают всего 13% в структуре установленной мощности электростанций и 8% - в структуре выработки электроэнергии [2].

В Концепции обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 гг. [15] предусмотрено развитие генерирующих мощностей на основе ВИЭ. Согласно Концепции, к 2030 году суммарная установленная мощность ВЭС должна достичь 4 ГВт, СЭС – 4 ГВт.

В рамках солнечной энергетики планируется использовать технологии фотовольтаики. Мощность СЭС составит от 100 до 500 МВт, приоритетные регионы развития – Джизакская, Самаркандская, Бухарская, Кашкадарьинская и Сурхандарьинская области. Проекты планируется реализовать за счет привлечения прямых иностранных инвестиций по модели «Build-own-operate», то есть полностью за счет средств иностранных компаний, которые в дальнейшем будут продавать полученную на станциях энергию.

В остальных регионах планируется строительство СЭС меньшей мощности (50-200 МВт). Солнечные электростанции планируется использовать для стабилизации и регулировки пиковых нагрузок. СЭС малой мощности (до 20 МВт) планируется использовать для нужд автономной генерации.

Планы развития гидроэнергетики в Узбекистане включают в себя строительство 35 ГЭС суммарной мощностью 1537 МВт, а также увеличение мощностей действующих ГЭС на 186 МВт. Приоритет сделан на развитие малых ГЭС, в планах – строительство только шести крупных ГЭС. [16].

Приоритетными регионами развития ветроэнергетики являются Каракалпакстан (три ВЭС суммарной установленной мощностью 1,8 ГВт), Бухарская (один проект мощностью 1 ГВт) и Навоийская (одна станция мощностью 500 МВт) области [2]. По данным на ноябрь 2021 года подписаны соглашения с компанией Masdar из ОАЭ на постройку ВЭС установленной мощностью 500 МВт в Тамдынском районе Навоийской области. Стоимость проекта 600 млн долларов, ориентировочная годовая выручка - 1,8 млрд. кВт·ч. Также заключено соглашение о строительстве двух ветряных электростанций с ACWA Power (Саудовская Аравия). Стоимость проекта двух ВЭС общей установленной мощностью 1000 МВт – 1,3 млрд долларов. Станции будут размещены в Бухарской области [17].

3 Кыргызстан

В отличие от Казахстана и Узбекистана, электроэнергетика Кыргызстана основана на ВИЭ, а именно на гидроэнергии. Кыргызстан открыт к проектам развития любого вида электроэнергетики, однако акцент в планах развития сделан именно на ГЭС, в первую очередь, малых. В 2022 году был выпущен отчет IRENA (International Renewable Energy Agency) о перспективах возобновляемой

энергетики Кыргызстана, который, возможно, поспособствует привлечению в сектор иностранных инвесторов [18].

Количество уже строящихся и проектируемых гидроэлектростанций в Кыргызстане велико, ниже перечислены наиболее масштабные проекты.

В июне 2022 года началось строительство Камбар-Атинской ГЭС-1, установленная мощность которой составит 1860 МВт, среднегодовая выработка – 5,6 млрд кВт·ч. Стоимость проекта оценивается в 5-6 млрд долларов. Финансирование проекта осуществляется за счет кыргызской стороны. Сроки строительства составят от 8 до 10 лет, первый гидроагрегат планируется ввести в эксплуатацию в 2026 г. [19]. Также осуществляется строительство второго гидроагрегата на Камбар-Атинской ГЭС-2, который планируется ввести в эксплуатацию в 2024 году. Общая стоимость проекта – 138 млн долл., из которых 110 млн долл. получены за счет кредита Евразийского фонда стабилизации и развития (ЕФСР). После ввода второго гидроагрегата на ГЭС-2, общая установленная мощность каскада Камабратинских ГЭС составит 1900 МВт [20].

Также планируется возобновление строительства каскада Верхненарынских ГЭС. С 2013 г. проект реализовывался «РусГидро», однако не был доведен до конца. В настоящее время осуществляется поиск инвесторов для завершения проекта [21].

В 2021 г. Национальный энергохолдинг Кыргызстана объявил о планах разработки технико-экономического обоснования строительства Суусамыр-Кокомерженского каскада ГЭС (три станции общей мощностью – 1305 МВт, годовая выработка – около 3,3 млрд кВт·ч, стоимость реализации – более 3,3 млрд долл.) и Казарманского каскада ГЭС (четыре станции общей мощностью 1160 МВт, ежегодная выработка около 4,7 млрд кВт·ч) [22]. В 2022 году компания Orient Trade Investment Company (Казахстан) подписала Меморандум о соглашении на строительство Казарманского каскада ГЭС с ОАО «Электрические станции». Оценочная стоимость строительных работ – 1 млрд долл. [23].

Также в январе 2022 года кабинет министров Кыргызской Республики объявил о планах проведения первоочередных мероприятий по строительству Сары-Джазского каскада ГЭС, Чаткальского каскада ГЭС, Ала-Букинского каскада ГЭС, Куланакской и Кара-Бууринской ГЭС [24].

С 2017 г. проводится реконструкция Токтогульской ГЭС (в том числе замена всех 4 гидроагрегатов), срок окончания проекта – 2024 год. Планируется реконструкция основного и вспомогательного оборудования Уч-Курганской ГЭС, замена основного оборудования Ат-Башинской ГЭС [25].

Некоторые проекты реализуются с участием российских компаний. С марта 2022 года Росатом реализует проект строительства малой ГЭС «Лейлек». Мощность станции должна составить 5,9 МВт, ежегодная выработка около 26,3 млн кВт·ч. Росатом выступит основным поставщиком оборудования для ГЭС, а также планирует построить ещё несколько малых ГЭС на территории страны. Финансирование осуществляет Российско-кыргызский фонд развития (РКФР) [26].

Ветроэнергетика Кыргызстана на данный момент развита слабо. Единственный крупный проект – строительство ветропарка «Эковинд» (Ecowind), мощность которого должна составить 500 МВт. Проект реализуется компанией ОАО «КыргызВинд Систем», которая также разрабатывает и производит оборудование для ветрогенераторов[27].

Крупные планы развития солнечной энергетики в стране отсутствуют.

4 Таджикистан

Структура энергетического сектора Таджикистана близка к кыргызстанской. Страна также опирается на большое число гидроэнергоресурсов. Однако отличием Таджикистана от других стран региона является отсутствие законодательно утвержденной стратегии развития энергетического сектора. Генеральный план развития выполнен по заказу Азиатского банка развития и рассматривает различные сценарии развития сектора до 2039 года[28]. В плане не прописаны конкретные, законодательно обозначенные меры развития электроэнергетического сектора страны.

План предполагает развитие в первую очередь гидроэнергетики, в том числе малых ГЭС. Самым масштабным проектом развития гидроэнергетики страны является строительство Рогунской ГЭС, которое ведется с 1976 года. На 2022 год функционируют два гидроагрегата суммарной мощностью 1,2 ГВт, работающие не на полную мощность. К вводу планируется еще четыре гидроагрегата, что позволит довести установленную мощность Рогунской ГЭС до 3,6 ГВт[29]. Общая стоимость проекта составляет около 8 млрд долл. Окончательное завершение строительства станции ожидается к 2033 году [30]. В качестве подрядчиков выступают итальянская SaliniImpreglio[31], ОАО «Таджикгидроэлектромонтаж» [32] и российская АО «Чиркей ГЭС строй» (входит в РусГидро)[33].

Также на стадии реализации находятся инвестиционные проекты «Реконструкция Нурекской ГЭС», которая позволит увеличить мощность станции с 3000 МВт до 3316,5 МВт. Срок реализации проекта – 2028 год, стоимость проекта оценивается в 192 млн долл.[34, 35].

Реконструкция ГЭС «Сарбанд» предполагает увеличение мощности с 240 МВт до 270 МВт. Подрядчиком выступает китайская Sinohydro, стоимость проекта – 136 млн долл. (средства получены за счет гранта Азиатского банка развития). По состоянию на март 2022 г. продолжалась реконструкция первого гидроагрегата станции, завершена реконструкция гидроагрегата №2[36].

Реконструкция Кайраккумской ГЭС позволит повысить эффективность работы станции и увеличить её мощность со 126 МВт до 174 МВт [37]. Завершение проекта ожидается к 2023 году. По состоянию на сентябрь 2022 г. стоимость проекта составила 200 млн долл., проект реализуется при поддержке Европейского банка реконструкции и развития[2]. Проект реализуют GERenewableEnergy и Cobra, подразделение испанской ACSGroup[38].

С 2020 года ведется подготовка технико-экономического обоснования постройки Шурабской (Шуробской) ГЭС установленной мощностью 850 МВт, стоимость проекта оценивается в 1–1,5 млрд долл.).

Согласно Генеральному плану развития, ветроэнергетика не является приоритетным направлением развития энергетического сектора. ВЭС в Таджикистане имеют меньший потенциал по сравнению с гидроэнергетикой, однако План предусматривает строительство ВЭС мощностью 50 МВт.

Важнейшее влияние на стратегии развития электроэнергетического сектора Таджикистана и Кыргызстана является межгосударственный проект CASA-1000, который объединит энергосистемы Кыргызстана, Таджикистана, Афганистана и Пакистана.

В рамках проекта CASA-1000 планируется строительство линии переменного тока высокого напряжения Датка (Кыргызстан) – Сангтуда (Таджикистан), строительство преобразовательной станции в Сангтуде и строительство линии постоянного тока высокого напряжения Сангтуда (Таджикистан) – Новшера (Пакистан). Общая стоимость проекта – 1,2 млрд долл., в рамках проекта в Южную Азию из Кыргызстана и Таджикистана будет экспортироваться порядка 4,6 млрд кВт·ч электроэнергии в год.

По состоянию на октябрь 2022 г. на 90% завершено строительство преобразовательной подстанции Сангтуда, продолжаются строительные работы по модернизации двух участков подстанций вдоль маршрута CASA-1000 (Сугд-500 и Регар-500), на 88% завершено строительство опор ЛЭП. Сроки реализации проекта неизвестны из-за приостановки строительства в Афганистане в связи с нестабильной ситуацией в стране[39].

Проект CASA-1000 способен стать драйвером развития для электроэнергетического сектора стран Центральной Азии. Выход на рынок стран Южной Азии, в первую очередь, Пакистана открывает возможности для наращивания выработки электроэнергии с целью импорта. Это особенно актуально для Кыргызстана и Таджикистана, стран с невысоким уровнем энергопотребления. Реализация проекта CASA-1000 рассматривается как ключ к перспективам развития возобновляемой электроэнергетики в Таджикистане и Кыргызстане.

5 Выводы

1. Все государства региона за исключением Туркменистана заинтересованы в развитии возобновляемой электроэнергетики.
2. По типу используемых ресурсов для генерации электроэнергии страны Центрально-азиатского региона делятся на две группы. Страны первой группы (Казахстан и Узбекистан) ориентированы на использование углеводородных энергоносителей, страны второй группы (Кыргызстан и Таджикистан) – на использование гидроэнергетики. Такая дифференциация обусловлена пространственными различиями в распределении энергоресурсов.

3. Проекты развития ВЭС и СЭС более масштабны в странах с более развитой экономикой - в Казахстане и Узбекистане. Небогатые Кыргызстан и Таджикистан развивают более «традиционную» гидроэнергетику.
4. Все финансово затратные и наукоемкие проекты в регионе финансируются совместно с зарубежными партнерами.
5. Для Кыргызстана и Таджикистана важнейшее значение имеет реализация транснационального проекта CASA-1000, открывающего доступ к рынкам электроэнергии стран Южной Азии.

Литература

1. Национальный энергохолдинг Кыргызстана
2. Исполнительный комитет электроэнергетического совета СНГ. Доступ по ссылке: <https://cloud.mail.ru/public/TeWG/LEGpEewEX>
3. Бюро национальной статистики АСПиР РК
4. BP Statistical Review of World Energy 2021
5. UN Comtrade. Доступ по ссылке: <https://comtradeplus.un.org/>
6. Об утверждении Плана мероприятий по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к "зеленой экономике" на 2013–2020 годы - Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 июля 2013 года No 750
7. Анисимова Н. М. К вопросу о построении новой энергетической модели в Казахстане // Научные исследования. 2016. №3 (4)
8. Доктрина (стратегия) достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Версия 2. Проект. Доступ по ссылке: <https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=11488215>
9. Оморов Т.Т., Рахимов Д. М. Перспектива развития малых ГЭС в Кыргызстане // ReFocus. 2022. №2.
10. Национальный статистический комитет Киргизской Республики. Доступ по ссылке: <http://www.stat.kg/ru/publications/toplivno-energeticheskij-balans/>
11. Сайт проекта CASA-1000. Доступ по ссылке: https://www.casa-1000.org/ru/o-proekte-casa-1000/#about2_ru
12. «Самрук Казына». Официальный сайт. Доступ по ссылке: <https://sk.kz/press-center/news/73503/>
13. ТОО «Расчетно-финансовый центр по поддержке ВИЭ». Доступ по ссылке: <https://rfc.kz/vie/about>
14. Официальный сайт АО «Самрук Казына». Доступ по ссылке: <https://sk.kz/press-center/news/76593/?lang=ru>
15. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы. Доступ по ссылке: https://minenergy.uz/uploads/1a28427c-cf47-415e-da5c-47d2c7564095_media_.pdf
16. Министерство энергетики Узбекистана. Доступ по ссылке: <https://minenergy.uz/ru/news/view/2215>
17. Министерство энергетики Узбекистана. Доступ по ссылке: <https://minenergy.uz/ru/news/view/1590>
18. Renewables Readiness Assessment. The Kyrgyz Republic. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2022.

19. Интернет-издание Экономист.kg. Доступ по ссылке: <https://economist.kg/novosti/2022/09/01/stoimost-stroitelstva-kambaratinskoj-ges-1-vyroslo-s-3-do-6-mlrd-akylbek-zhaporov/>
20. Интернет-портал СНГ. Доступ по ссылке: <https://e-cis.info/news/566/101050/>
21. Правительство Киргизской Республики. Доступ по ссылке: <https://www.gov.kg/ru/post/s/sadyr-zhaporov-posetil-verkhne-narynskiy-kaskad-ges>
22. Интернет-издание «Спутник». Доступ по ссылке: <https://ru.sputnik.kg/20210217/kyrgyzstan-gehs-kaskady-1051489499.html>
23. Исполнительный комитет электроэнергетического совета СНГ. Доступ по ссылке: http://energo-cis.ru/news/kaskad_ges_na_1_mlrd/
24. Интернет-издание «Спутник». Доступ по ссылке: <https://ru.sputnik.kg/20220114/kyrgyzstan-ehnergetika-gehs-stroitelstvo-plany-1061221454.html>
25. Национальный энергохолдинг Кыргызстана. Доступ по ссылке: <https://nehk.energo.kg/content/page/74-investicionnye-proekty>
26. Российско-кыргызский фонд развития. Доступ по ссылке: <https://www.rkdf.org/pri-podderzhke-rkfr-budet-postroena-pervaya-malaya-ges-v-batkenskoj-oblasti-obshhej-stoimostyu-7-mln-dollarov/>
27. Финансовое издание “Econimist”. Доступ по ссылке: <https://economist.kg/novosti/ekonomika/2021/10/08/da-budet-svet-kak-my-stroim-pervyj-v-kyrgyzstane-vetropark/>
28. Генеральный план развития энергетического сектора Таджикистана. Доступ по ссылке: https://mewr.tj/wp-content/uploads/files/Plan_razv_energo_tom1.pdf
29. Интернет-издание «Спутник». Доступ по ссылке: <https://tj.sputniknews.ru/20220713/rahmon-rogun-ges-cena-1049960148.html>
30. Интернет-издание «Спутник». Доступ по ссылке: <https://tj.sputniknews.ru/20210805/rogunskeya-ges-finansirovanie-281-million-dollarov-1041418708.html>
31. WeBuildGroup – официальный сайт. Доступ по ссылке: <https://www.webuild-group.com/en/media/press-releases/salini-impregilo-framework-agreement-for-3-9-billion-in-tajikistan>
32. ТГЭМ – официальный сайт. Доступ по ссылке: https://tgem.tj/project/stroitelstvo_plo-tini_rogunskoy_ges_lot-2
33. ЧиркейГЭССстрой – официальный сайт. Доступ по ссылке: <http://www.chges.ru/objects/>
34. Евроазиатский банк развития. Доступ по ссылке: https://eabr.org/upload/EDB-WEC-SA-Report_RU_web.cleaned.pdf
35. Интернет-издание «Спутник». Доступ по ссылке: <https://tj.sputniknews.ru/20200629/vb-reabilitatsia-nurek-ges-1031489238.html>
36. Интернет-издание «Спутник». Доступ по ссылке: <https://tj.sputniknews.ru/20220320/rakhmon-zapustil-trety-agregat-sarbandskoy-ges-1046935292.html>
37. <https://sugdnews.com/2022/09/07/rekonstrukcija-kajrakkumskoj-gjes-prodolzhaetsja-2/>
38. General Electric – официальный сайт
39. CASA-1000. Официальный сайт проекта. Доступ по ссылке: https://www.casa-1000.org/ru/o-proekte-casa-1000/#about2_ru

References

1. Natsionalny energoholding Kyrgyzstana
2. Executive Committee of CIS Electric Power Council. Access: <https://cloud.mail.ru/public/TeWG/LEGpEewEX>
3. Republic of Kazakhstan Bureau of National Statistics. Access: <https://www.statdata.kz/>
4. BP Statistical Review of World Energy 2021
5. UN Comtrade. Access: <https://comtradeplus.un.org/>
6. Ob utverzhdenii Plana meropriyatiyporealizaciiKonceptiipoperehoduRespubliki Kazakhstan k zelenoyekonomikena 2013-2020 gody – PostanovleniePravitelstvaRespubliki Kazakhstan 31 July 2013 No 750
7. Anisimova N.M. K voprosu o postroeniinovoienenergeticheskoy modeli v Kazakhstane // Nauchnyeissledovaniya. 2016. #3 (4)
8. Doktrina (strategiya) dostizheniyauglerodnoyneytralnostiRespubliki Kazakhstan do 2060 goda. Versiya 2.
9. Omorov T.T., Rahimov D.M. Perspektivarazvitiyamalyh GES v Kyrgyzstane // ReFocus. 2022. №2.
10. Nacionalny statisticheskiy komitet Kyrgyzskoy Respubliki. Access: <http://www.stat.kg/ru/publications/toplivno-energeticheskij-balans/>
11. Website of the project CASA-1000. Access: https://www.casa-1000.org/ru/o-proekte-casa-1000/#about2_ru
12. SamrukKazyna. Official website. Access: <https://sk.kz/press-center/news/73503/>
13. TOO «Raschetno-finansovycentropodderzhke VIE». Access: <https://rfc.kz/vie/about>
14. Official website SamrukKazyna. Access: <https://sk.kz/press-center/news/76593/?lang=ru>
15. KonceptiyaobespecheniyaRespubliki Uzbekistan electricheskoyenergiina 2020-2030 gody
16. Ministry of Energy of Uzbekistan. Access: <https://minenergy.uz/ru/news/view/2215>
17. Ministry of Energy of Uzbekistan. Access: <https://minenergy.uz/ru/news/view/1590>
18. Renewables Readiness Assessment. The Kyrgyz Republic. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2022.
19. Internet-resource Economist.kg. Access: <https://economist.kg/novosti/2022/09/01/stoimost-stroitelstva-kambaratinskoj-ges-1-vyrosla-s-3-do-6-mlrd-akylbek-zhaparov/>
20. Internet-portal CIS. Access: <https://e-cis.info/news/566/101050/>
21. Government of Kyrgyz Republic. Access: <https://www.gov.kg/ru/post/s/sadyr-zhaparov-posetil-verkhne-narynskiy-kaskad-ges>
22. Internet-resource Sputnik. Access: <https://ru.sputnik.kg/20210217/kyrgyzstan-gehs-kaskady-1051489499.html>
23. Executive Committee of CIS Electric Power Council. Access: http://energo-cis.ru/news/kaskad_ges_na_1_mlrd/
24. Internet-resource Sputnik. Access: <https://ru.sputnik.kg/20220114/kyrgyzstan-ehnergetika-gehs-stroitelstvo-plany-1061221454.html>
25. Kyrgyzstan National Energy Holding. Access: <https://nehk.energo.kg/content/page/74-investicionnye-proekty>
26. Russian-Kyrgyz Development Found. Access: <https://www.rkdf.org/pri-podderzhke-rkfr-budet-postroena-pervaya-malaya-ges-v-batkenskoj-oblasti-obshhej-stoimostyu-7-mln-dol-larov/>
27. Internet-resource Экономист.kg. Access: <https://economist.kg/novosti/ekonomika/2021/10/08/da-budet-svet-kak-my-stroim-pervyj-v-kyrgyzstane-vetropark/>

28. Generalny plan razvitiyaenergeticheskogosektoraTajikistana. Access: https://mewr.tj/wp-content/uploads/files/Plan_razv_enrgo_tom1.pdf
29. Internet-resource Sputnik. Access: <https://tj.sputniknews.ru/20220713/rahmon-rogun-ges-cena-1049960148.html>
30. Internet-resource Sputnik. Access: <https://tj.sputniknews.ru/20210805/rogunskaya-ges-finansirovanie-281-million-dollarov-1041418708.html>
31. WeBuildGroup – official website. Access: <https://www.webuildgroup.com/en/media/press-releases/salini-impregilo-framework-agreement-for-3-9-billion-in-tajikistan>
32. TGEM – official website. Access: https://tgem.tj/project/stroitelystvo_plo-tini_rogunskoy_ges._lot-2
33. ChirkeyGESStroy – official website. Access: <http://www.chges.ru/objects/>
34. Euro-Asian Development Bank. Access: https://eabr.org/upload/EDB-WEC-CA-Report_RU_web.cleaned.pdf
35. Internet-resource Sputnik. Access: <https://tj.sputniknews.ru/20200629/vb-reabilitatsia-nu-rek-ges-1031489238.html>
36. Internet-resource Sputnik. Access: <https://tj.sputniknews.ru/20220320/rakhmon-zapustil-tretiy-agregat-sarbandskoy-ges-1046935292.html>
37. <https://sugdnews.com/2022/09/07/rekonstrukcija-kajrakkumskoj-gjes-prodolzhaetsja-2/>
38. General Electric – official website.
39. CASA-1000. Official website of the project. Access: https://www.casa-1000.org/ru/o-proekte-casa-1000/#about2_ru

Renewable energy development projects in the countries of the Central Asian region

Glazachev Vasily

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: wg98@yandex.ru

Abstract. This study focused on perspectives of renewable energy sources in electric power industry of four countries in Central Asia region (Kazakhstan, Uzbekistan, Kyrgyzstan and Tajikistan) which are the part of Central Asia United Energy System. In this study considered most important projects in sector in consideration of geographic specific of the region and making conclusions about sector development tendencies.

Keywords: Electric power industry, Central Asia, projects, renewable energy sources