

2024
№2(22)

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)

2024 №2(22)

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.

С 12 февраля 2024 г. включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук ВАК Минобрнауки России по специальности 1.6.21. Геоэкология (географические науки).



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).
Нефедова Людмила Вениаминовна (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
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. (ИО РАН).
Тикуннов 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 энергоснабжение. 2024 №2(22)

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

Редактор К.С.Дегтярев
Корректор К.Г.Горшкин
Верстка М.Ю.Березкин
Перевод на английский язык
К.С.Дегтярев

Подписан в свет 28.06.2024.

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 энергоснабжение», 2024

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

Содержание

Бабурин В.Л. Энергетика и развитие России.....	4
Бутузов В.А. Электрогенерация стран СНГ на основе возобновляемых источников энергии в 2022 году.....	14
Дегтярев К.С., Синогин О.А. Влияние возобновляемой энергетики на объём и структуру производства и потребления электро-энергии в регионах России	40
Залиханов А.М., Чекарев К.В. Парусные энергетические установки морского базирования: география использования.....	61
Махсумов И.Б., Одинаев Н.Х., Давлатзода А.Н., Шокиров К.Ш. Методика расчёта мощности солнечной системы автономного типа на примере электроснабжения частного дома	79
Виталию Анатольевичу Бутузову – 75 лет!.....	98
Юбилей Главного редактора нашего журнала академика РАН М.Ч. Залиханова.	100
Памяти Артура Николаевича Чилингарова.....	103

Content

Baburin V.L. Energy Industry and Development of Russia.....	4
Butuzov V.A. Electricity Generation of the CIS Countries Based on Renewable Energy Sources in 2022	21
Degtyarev K.S., Sinyugin O.A. Impact of Renewable Energy on the Volume and Structure of Electricity Production and Consumption in the Regions of Russia .	40
Zalikhonov A.M., Chekarev K.V. Land-Based Sailing Power Plant: Geography of Use	61
Makhsumov I.B., Odinaev M.K., Davlatzoda A.N., Shokirov K.S. Methodology for Calculating the Power of an Autono-mous Solar System Using the Example of Power Supply to a Private House	79
Vitaly Anatolyevich Butuzov is 75 years old!	98
Anniversary of the Chief Editor Academician Mikhail Zalikhonov	100
In memory of Artur Nikolaevich Chilingarov	103

УДК 911.3:33

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-2-4-13

EDN: BZQXQJ

Энергетика и развитие России

Бабурин Вячеслав Леонидович
МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

E-mail: vbaburin@yandex.ru

Аннотация. Статья представляет собой интервью зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энергосодержание» К.С. Дегтярева с доктором географических наук, профессором кафедры экономической и социальной географии России географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова В.Л. Бабуриным. Темы интервью включают проблемы энергетики в России и в мире в контексте глобальных изменений, роль климата и природных условий в экономическом развитии, циклы мировой экономики.

Ключевые слова: энергетика, топливно-энергетический комплекс России, изменение климата, экономика, циклы Кондратьева, инновации, географические факторы экономического развития.



Рис.1. В.Л. Бабурин

Вячеслав Леонидович, в России производится и потребляется слишком мало, слишком много или достаточно энергии? Известно, что часто говорят о высокой энергоёмкости и низкой энергоэффективности российской экономики...

В силу объективных особенностей нашей окружающей среды, прежде всего, климата и размеров территории, у нас повышенная энергоёмкость валового внутреннего продукта (ВВП). Довольно часто говорят, что мы неэффективно используем энергию. На самом деле нет – наши параметры потребления энергии вполне соответствуют климату – например, меньше, чем в Исландии, сопоставимы с такими странами, как Швеция, Норвегия, Канада – в Канаде оно даже существенно выше, чем в России. Кроме климата, свою роль играют расстояния, транспорт – конечно, крупный потребитель энергии. Я бы сказал, что в России для современного состояния экономики энергопотребление адекватно. Но, если развивать экономику, наращивая темпы, взятые в последнее время, понятно, что теми же темпами должно расти и потребление энергии. В целом в мире душевое потребление энергии, во всяком случае – электроэнергии, пропорционально душевому ВВП – здесь очень чёткая корреляция. И, если наращивать душевой ВВП, то надо будет наращивать и производство электроэнергии. Другой вопрос – каким способом, но думать, что можно развивать экономику, снижая энергопотребление – это иллюзия.

Как глобальное потепление сказывается на экономике России? В Ваших работах приводятся расчёты, показывающие снижение энергопотребления с ростом температуры в регионах России...

Да, в частности, они проводились лабораторией К.П. Колтермана¹. Также расчёты по отдельным регионам приведены в наших публикациях [1-3]. Понятно, что наибольший эффект связан со снижением длительности отопительного сезона – в ЖКХ и на производствах. Снижение суммы отрицательных температур работают на уменьшение энергопотребления, есть вполне конкретные коэффициенты соотношения температуры окружающего воздуха и количества тонн условного топлива, затраченных на отопление, с поправкой на энергоэффективность самих объектов. В целом, при прочих равных условиях, понятно, что, чем южнее, тем ниже энергопотребление, и глобальное потепление в этом плане для нас имеет положительный эффект.

В данном случае часто приводится следующий аргумент – при более высоких температурах растут затраты на кондиционирование воздуха, «компенсирующие» экономию на отоплении...

Такой эффект в южных регионах действительно есть – в Краснодарском крае, в отличие от остальной страны, пик потребления электроэнергии приходится не на декабрь-январь, а на июль-август. Но дело ещё в том, что жара – это проблема дискомфорта, а холод – проблема выживания; без кондиционера летом обойтись можно, а без отопления зимой – нет.

¹ Лаборатория МГУ по прогнозированию стихийных бедствий под руководством Клауса Питера Колтермана.

Исходя из вышесказанного, каким Вы видите оптимальный путь развития энергетического комплекса России?

Начнём с того, что лишних денег у России нет, поэтому в большом масштабе «играть» в нетрадиционную энергетику у нас невозможно - без субсидий она сегодня неконкурентоспособна. И в ближайшие 10 лет я не вижу наличия лишних ресурсов, позволивших бы форсированно её развивать. Кроме того, очевидно, что Россия – не самый эффективный регион с точки зрения природных условий использования солнечной и ветровой энергии. Кроме того, в России есть отличная альтернатива – атомная энергетика, где у нас мощный технологический задел². Мы можем построить множество АЭС, кроме того, уже почти сделан бридер-реактор [4], или реактор – размножитель, так что вообще можем перпетуум-мобиле запустить³.

Мы, конечно, должны развивать возобновляемую энергетику, чтобы у нас был технологический задел. В своё время мы построили Нововоронежскую АЭС, и после долгое время АЭС не строили (исключение Белоярская АЭС, тоже опытно-промышленная), потому, что в этом не было потребности – в Европейской части России был избыток минерального топлива. Но, когда наступил дефицит, их вновь стали строить. Но строить АЭС, например, в Кемеровской области – это экономический абсурд, равно как и солнечные или ветровые станции – что тогда делать с местным углём, тем более, угольная промышленность - это рабочие места и многое другое.

Но, если говорить о возобновляемой энергетике и «декарбонизации» - это очень мощный мировой тренд, и уже нельзя говорить об этом как о сугубо западном проекте – например, Китай уже обгоняет США и ЕС, вместе взятые, по установленным мощностям солнечных и ветровых электростанций и выработке на них электроэнергии...

Но, при этом, Китай же не снижает добычу угля. Есть такое понятие – «замыкающее топливо». Смысл его в том, что, если вам не хватает какого-то качественного ресурса, то цена вашей продукции будет определяться не себестоимостью этого ресурса, а ценой или себестоимостью того дополнительного ресурса, менее эффективного, который вы должны привлечь. Если вы наращиваете экономику – как в случае с Китаем, тогда понятно, что вам может не хватить угля – и тогда вы можете восполнять его дефицит и за счёт возобновляемых источников.

² О перспективах развития атомной энергетики см. также: Р.И. Нигматулин — Управляемый термоядерный синтез и будущее энергетики // Окружающая среда и энерговедение. – 2020. - №3. – с.31-38.

³ Реактор-размножитель (англ. breeder reactor) — ядерный реактор, позволяющий нарабатывать ядерное топливо в количестве, превышающем потребности самого реактора за счёт того, что в качестве сырья выступают радиоактивные изотопы, не используемые в традиционных ядерных реакторах, но отличающиеся на порядки большими запасами по сравнению с традиционным ядерным топливом, например, уран-238 и торий-232.

С точки зрения научно-технического прогресса, мы, конечно, должны заниматься возобновляемой энергетикой, должны быть опытные и опытно-промышленные установки – чтобы, когда возникнет необходимость, мы были к этому готовы – чтобы у нас были и кадры, и технологии, и мы не оказались в ситуации, когда всё надо покупать за рубежом.

Лет 100 назад, когда тоже много говорили о возобновляемой энергии (хотя сам термин «ВИЭ» ещё не был в ходу) – ветровой, солнечной, гидроэнергии, и уже были активные разработки в этой области, в том числе, в России и Советском Союзе, основным аргументом был не экологический, а ресурсный – опасения, что запасы угля и нефти когда-то – а возможно, и очень скоро, закончатся. В принципе, в долгосрочной перспективе этот аргумент в пользу ВИЭ и сейчас выглядит наиболее весомым...

Дело в том, что ресурсы – чисто экономическая категория. Можно выйти в Москве на улицу и накопать золота, платины, серебра – вопрос только в том, какова будет себестоимость того, что вы здесь добудете и обогатите. Поэтому в принципе ресурс традиционных энергоносителей не ограничен – вопрос лишь в том, какова будет стоимость их добычи на более бедных месторождениях или на более глубоких уровнях. Когда эта себестоимость станет выше, чем у ВИЭ, тогда этот вопрос и возникнет. Но и тогда нужны будут базовые мощности тепловых и атомных станций, поскольку риски возобновляемой энергетики на порядок выше. Не стоит делать так, как европейцы, закрывающие свои АЭС.

В связи с этим, вопрос, каковы резоны европейцев? Они не до конца понятны... Это просто недомыслие или за этим, напротив, стоит некий глубинный умысел?

Возможно, здесь присутствует и то, и другое. Мы же помним аферу с озоновой дырой, и какие прибыли получили на этом некоторые компании. Так, вероятно, и здесь – проблеме намеренно драматизируют, вводят её в гипертрофированный масштаб.

Причины происходящего можно пояснить на следующем примере. Когда я учился 50 лет назад, меня учили, что Nokia – это крупнейшая лесопромышленная компания в мире, производящая бумагу. Рынок оказался исчерпан, и Nokia, чтобы продолжать наращивать капитал, перешла от лесопромышленной деятельности к производству телефонов.

Так и в случае с энергетикой. Капитал умирает, если не растёт. И поэтому он находит всё новые и новые сектора для инвестирования. Я даже думаю, во всяком случае, не исключая, хотя это некоторый алармизм, что ковид, точнее, его гипертрофирование, было способом получения фармакологическими компаниями тех самых марксовых 300% прибыли. Или, то же самое, с лихорадкой Эбола, от которой погибло несколько сотен человек, на порядки меньше, чем ежедневно гибнет на дорогах.

Поэтому, конечно, в значительной степени это политика, точнее, политическая экономия в первую очередь. Это ещё и очень хороший способ конкуренции с привлечением политических методов. Конечно, у «декарбонизации» есть и объективная основа, но она активно используется как политический инструмент.

Заметим, есть большие различия между США и Западной Европой, где возобновляемая энергетика развита намного сильнее.

Да, конечно, американцы тоже знают, что делают, и они активно добывают и нефть, и газ, и экспортируют их.

Есть комплекс причин, по которой всё сошлось в одной точке, и по совокупности этих причин проводить политику «декарбонизации» сейчас очень выгодно.

В продолжение разговора об экономике – Вы в своих работах оперируете, в том числе, циклами Кондратьева [5]. Концепция Кондратьева, с Вашей точки зрения, работает и в настоящее время? Спрашиваю, поскольку Кондратьев создавал её 100 лет назад в другой экономической реальности...

Конечно, она работает и сейчас, и не только она. На циклы Кондратьева накладываются более краткосрочные циклы Жюгляра - Маркса, так называемые циклы перепроизводства продолжительностью 5-7 лет. И все кризисы, начиная с 2002 года, с помощью этого подхода мы предсказали – точнее, они просто вытекали из модели. И следующий кризис с высокой вероятностью произойдет ещё через 5-7 лет.

Что касается циклов Кондратьева, это не циклы конъюнктуры, это более глубокие – инновационные, циклы, связанные с волновым характером научно-технического прогресса и диффузии инноваций. При благоприятной ситуации в бизнесе потребности в инновациях нет – и так всё хорошо, а на нисходящей фазе, в более тяжёлые времена, они появляются. И этот новый пакет инноваций запускает следующий кондратьевский цикл. А на рынок они выходят в следующей, восходящей фазе цикла. И господствующим в каждом кондратьевском цикле является технологический уклад предыдущего цикла. Так, шестой техуклад только нарабатывается и будет господствующим уже в следующем, 7-м кондратьевском цикле. Сейчас у нас господствующим является 5-й технологический уклад, а 6-й, формирующийся сейчас, господствующим будет через несколько десятилетий, минимум через 20-25 лет.

Т.е. в ближайшие 10-15 лет нас ожидает спад?

Скорее, наоборот, 5-й кондратьевский цикл завершился сейчас, и в ближайшие 20-25 лет ожидается восходящая фаза нового цикла. Дело в том, что она накладывается на нисходящую фазу 100-летних циклов Броделя, а, поскольку идёт деиндустриализация при всех разговорах о нео-индустриализации – сектор услуг занимает всё больше места, а как раз торговля, сфера услуг следует циклам Бро-

деля, а они сейчас на нисходящей. Поэтому сейчас существуют две противоположные тенденции, и большого роста 6-й кондратьевский цикл не задаст. Он не будет повторением 1-го цикла, когда происходила промышленная революция, или 3-го цикла, когда у нас были первые пятилетки – он будет гораздо более плавным.

А, что касается России в данном контексте, у нас прорыв возможен?

У нас был прорыв, мы смогли сжать 3-й и 4-й кондратьевские циклы и пройти их не за 100 лет, а вдвое быстрее.

Это был советский период ...

Да, сталинская индустриализация и послевоенный проект создания ракетно-ядерного щита. Так что мы совершали прорывы и до сих пор находимся на ведущих позициях, например, в атомной энергетике и всём, что с ней связано.

Для нового прорыва, если проводить аналогию с XX веком, требуется мобилизационная экономика, условно говоря, сталинского типа?

Для ускоренного роста, конечно, нужна мобилизационная экономика, и сейчас мы в неё уже входим – впервые за долгое время темпы роста в промышленности превысили 5%. С другой стороны, все эти определения очень условны. Например, как началась английская промышленная революция? Сначала крестьян лишили земли в ходе «огораживания», потом приняли Закон о бродягах (Vagabonds Act, 1597 г.), всех перевешали, остальных загнали в казармы и превратили их в дешёвую рабочую силу. И чем это не мобилизационная экономика? Только в либеральной оболочке. Но это всё равно насилие. Оно может быть физическим или экономическим. С моей точки зрения, человек по натуре своей ленив и, если его деньгами или батогами не заставлять, он вряд ли будет что-то делать, и без жёсткой руки государства не обойтись. Однако при современном российском строе сталинский вариант невозможен.

Тогда какой вариант возможен? Каким образом мы можем выиграть?

Сейчас вариант простой, нас на него просто вынудили – у нас сейчас нет другого пути, кроме автаркии, и это тоже мобилизационная экономика. Нам обрубили нашу часть в мирохозяйственных связях. Мы можем вернуться к советской модели, когда СССР всё делал сам и мог сделать своими силами любую вещь, пусть и не самого высокого качества. Сейчас нас, по сути, загоняют в эту модель, но с гораздо меньшей готовностью общества к ней, чем это было 100 лет назад; прежде всего, к этому не готова нынешняя управленческая элита. Но нам не оставили другого выбора. И по всем направлениям мы должны развиваться сами. Если к этому можно относиться оптимистично, то я оптимист. Другого пути нет, иначе мы просто потерпим поражение в этой войне.

Есть и ещё один минус по сравнению с советскими временами – современная Россия просто намного меньше Советского Союза...

Конечно. Поэтому, в частности, при всех проблемах, связанных с миграцией из Средней Азии, мы должны «держат» постсоветское пространство, что даёт больше территории, ресурсов и свободы для манёвра.

В начале XX века в Европе возникло много социалистических республик – была Венгерская республика, Баварская республика, но их всех задавили, потому, что они были маленькие, и только нас не смогли, потому, что мы огромные; нас, как обычно, спасло пространство.

В связи с этим, следующий вопрос, связанный с географией и климатом. У Вас есть работы, рассматривающие климат как фактор цивилизационного успеха [6]. Наш климат для нас только дополнительное бремя или в наших природных условиях есть и свои преимущества?

В экономическом плане – конечно, бремя, создающее дополнительные издержки в любой хозяйственной деятельности. С другой стороны, с геополитической точки зрения наша территория – это плюс. С медицинской точки зрения наш климат – это тоже плюс.

Кстати, один из минусов глобального потепления для нас – к нам начинает проникать зараза, от которой мы ранее были защищены климатом. Например, колорадский жук проник уже в восточную часть Оренбургской области – потому, что зимы стали мягкими и более снежными. Это просто один из примеров. Но в целом, при всех издержках, мы, скорее, «заинтересованы» в потеплении климата. Да, есть негативные эффекты – увеличение пожарной опасности, аридизация наших традиционных аграрных регионов. Но это будет компенсироваться увеличением агроклиматического потенциала более северных районов. И пока мы очень далеки от ситуации, когда широколиственные леса росли там, где сейчас тундра – такое уже бывало. Конечно, в северных регионах за десять лет не образуется чернозём – для этого нужны века, но при современной агрохимии можно и там получать высокие урожаи.

Кроме того, Земля сама сбалансирует рост температуры – он остановится на определённом уровне. Ещё С.М. Мягков [7] писал, когда пугали повышением Мирового океана – «поставьте кастрюлю с горячей водой в собственной холодильной и посмотрите, что будет». Также он говорил, что главный демпфер Мирового океана – Антарктида. Чем теплее, тем больше осадков и, как бы ни потеплело, в Антарктиде они всегда будут выпадать в твёрдой (снежной) фазе. То же в других полярных областях – например, начали расти некоторые ледники в Норвегии, поскольку осадков стало больше, но там они всё равно выпадают в твёрдой фазе.

Тогда, возможно, они и у нас растут, например, на Таймыре или Чукотке...

Возможно, надо проверять.

Интересно, что люди, выдвигавшие ранее гипотезу антропогенного потепления – такие, как Гай Каллендер [8] и, конечно, Михаил Иванович Будыко [9], рассматривали его, скорее, как благо – поскольку это ведёт к улучшению условий для сельского хозяйства.

Конечно, это так – увеличение содержания углерода в атмосфере ведёт к росту биомассы; более того, акселерация у людей тоже отчасти связана с этим. И всё это бывало неоднократно. Один из примеров – как мы «брали» Сибирь. Мы же заходили в Сибирь с севера – как раз тогда была тёплая фаза в Арктике, когда летом лёд отходил далеко от побережья. И поморы, новгородцы, казаки по морю дошли до Берингова пролива. А в Сибирь пришли уже с побережья Северного Ледовитого океана по рекам. По континенту идти было намного тяжелее.

Или почему началось освоение Севморпути? В 1930-е – 1940-е в Арктике тоже была мягкая климатическая фаза, и ледовая обстановка была существенно лучше, чем сейчас. «Челюскин» – корабль не ледового класса, дошёл практически до острова Врангеля – просто тогда не было известно, что там постоянно движется ледовое поле, и надо его обходить. И, я думаю, нынешняя фаза тоже будет способствовать усилению значимости Севморпути – но и, конечно, геополитической борьбе за Арктику.

Заключительный вопрос связан с ролью географов в разработке и реализации планов развития России и её регионов. По идее, она должна быть большой, и известно, что географы у нас действительно к этому привлекаются, но в достаточной ли степени или потенциал географии и географов государством и корпорациями недооценён?

Любые стратегии на длительные периоды времени, любые территориальные схемы должны учитывать факторы глобальных изменений в природе и обществе. Но в реальности, конечно, государство недостаточно использует географов. Будем прямо говорить, мы сейчас оттеснены экономистами, юристами, социологами. Они говорят на языке, более понятном управленческой элите. И природу, конечно, мало кто понимает.

Но, может быть, есть какое-то изменение к лучшему в отношении к географам в последние годы?

Изменения, конечно, есть. По крайней мере, появилась профессия «географ» в реестре профессий России (министерство труда и социальной защиты Российской Федерации утвердило профессиональный стандарт «Географ») [10]. Это уже шаг вперёд. Но на каждого защищённого кандидата наук – географа приходится сотни защищённых экономистов, юристов, политологов, социологов. Есть такое выражение – «масса давит класс». Нас слишком мало.

Литература

1. Касимов Н. С., Кислов А. В., Бабуринов В. Л. Регионы России: локальные последствия глобального потепления // Экология и жизнь. — 2013. — Т. 8, № 129. — С. 72–77.
2. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири / В. Л. Бабуринов, Н. С. Касимов, А. В. Кислов и др. — МАКС Пресс, 2011. — 496 с.
3. Исследование региональных экологических последствий изменений климата и разработка мер по адаптации населения и экономики регионов к ним / С. А. Добролюбов, Л. И. Алексеева, В. Л. Бабуринов и др. // Тезисы докладов Итоговой конференции за 2009 год по приоритетному направлению Рациональное природопользование. 2-3 декабря 2009г. — Москва: 2009. — С. 62–63.
4. Ганжур О. Быстрая работа: в Обнинске запустили модель самого мощного в мире бридера. 15.01.2024. URL: <https://strana-rosatom.ru/2024/01/15/bystraya-rabota-v-obninske-zapustili/>
5. Инновационные циклы в российской экономике / В.Л. Бабуринов; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. - Москва: УРСС, 2002 (Тип. ООО Рохос). - 119 с.
6. Бабуринов В.Л. Климат как фактор цивилизационного успеха // География в школе. — 2024. - №4.
7. География природного риска / С. М. Мягков. - Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1995. - 222 с.
8. How the burning of fossil fuels was linked to a warming world in 1938. URL: <https://www.theguardian.com/environment/blog/2013/apr/22/guy-callendar-climate-fossil-fuels>
9. Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 352 с.
10. В России официально появилась профессия «географ». URL: <https://rgo.ru/activity/redaction/articles/v-rossii-ofitsialno-poyavilas-professiya-geograf/>

References

1. Kasimov N. S., Kislov A. V., Baburin V. L. Regiony Rossii: lokal'nye posledstviya global'nogo potepeniya // Ekologiya i zhizn'. — 2013. — T. 8, № 129. — S. 72–77.
2. Ekologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri / V. L. Baburin, N. S. Kasimov, A. V. Kislov i dr. — MAKS Press, 2011. — 496 s.
3. Issledovanie regional'nyh ekologicheskikh posledstvij izmenenij klimata i razrabotka mer po adaptacii naseleniya i ekonomiki regionov k nim / S. A. Dobrolyubov, L. I. Alekseeva, V. L. Baburin i dr. // Tezisy dokladov Itogovoj konferencii za 2009 god po prioritetnomu napravleniyu Racional'noe prirodopol'zovanie. 2-3 dekabrya 2009g. — Moskva: 2009. — S. 62–63.
4. Ganzhur O. Bystraya rabota: v Obninske zapustili model' samogo moshchnogo v mire bridera. 15.01.2024. URL: <https://strana-rosatom.ru/2024/01/15/bystraya-rabota-v-obninske-zapustili/>
5. Innovacionnye cikly v rossijskoj ekonomike / V.L. Baburin; Mosk. gos. un-t im. M.V. Lomonosova. - Moskva: URSS, 2002 (Tip. ООО Rohos). - 119 s.

6. Baburin V.L. Klimat kak faktor civilizatsionnogo uspekha // Geografiya v shkole. – 2024. - №4.
7. Geografiya prirodnogo riska / S. M. Myagkov. - Moskva : Izd-vo Mosk. un-ta, 1995. - 222 s.
8. How the burning of fossil fuels was linked to a warming world in 1938. URL: <https://www.theguardian.com/environment/blog/2013/apr/22/guy-callendar-climate-fossil-fuels>
9. Budyko M. I. Klimat v proshlom i budushchem. — L.: Gidrometeoizdat, 1980. — 352 s.
10. V Rossii oficial'no poyavilas' professiya «geograf». URL: <https://rgo.ru/activity/redaction/articles/v-rossii-ofitsialno-poyavilas-professiya-geograf/>

Energy Industry and Development of Russia

Vyacheslav Baburin

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: vbaburin@yandex.ru

Abstract. The article presents an interview of K.S. Degtyarev, Editor-in-Chief of Journal of Environmental Earth and Energy Study, with Vyacheslav L. Baburin, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Economic and Social Geography of Russia, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. The topics of the interview include energy problems in Russia and in the world in the context of global changes, the role of climate and natural conditions in economic development, and cycles of the global economy.

Key words: energy industry, fuel and energy complex of Russia, climate change, economy, Kondratiev cycles, innovations, geographical drivers of economic development

УДК 620.92

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-2-14-39

EDN: CBVQBD

Электрогенерация стран СНГ на основе возобновляемых источников энергии в 2022 году

Бутузов Виталий Анатольевич ^[0000-0003-2347-9715]

ФГБОУ Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина,
г. Краснодар, Россия

E-mail: ets@nextmail.ru

Аннотация. Представлены результаты развития возобновляемой электрогенерации (ВЭ) стран СНГ в 2022г. по данным межгосударственного агентства IRENA и национальных операторов. Описаны законодательная база, структура управления, особенности формирования тарифов, финансирование и национальные программы развития ВЭ. Показаны структуры видов ВЭ государств содружества и результаты развития по итогам 2022г. Описаны научные школы и подготовка кадров. Подчеркнута необходимость совершенствования статистики ВЭ.

Ключевые слова: возобновляемая электрогенерация (ВЭ), национальные операторы, установленная мощность, ГЭС, СЭС, ВЭС, ГеоЭС, БиоЭС, законы, национальные программы, структуры ВЭ, статотчетность, производство оборудования, научное обеспечение, подготовка кадров.

1 Введение

В развитии возобновляемой энергетики (ВЭ) важную роль играет достоверная статистика. Такая информация доступна на сайтах международных энергетических агентств. Межгосударственное агентство по возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) IRENA в 2023г. объединяло 169 государств, каждое из которых ежегодно предоставляло статистические отчеты. В 2023г. на сайте www.irena.org [1] по итогам 2022г. суммарная установленная мощность мировой возобновляемой электроэнергетики оценивалась в 3372 ГВт (100%). Мощности генерации разных видов ВИЭ распределились следующим образом: гидроэнергетика (ГЭС) – 1256 ГВт (37,2%); солнечная энергетика (СЭС) – 1052 ГВт (31,2%); ветроэнергетика (ВЭС) – 900 ГВт (26,7%); геотермальная энергетика (ГеоЭС) – 15 ГВт (0,4%); биоэлектрогенерация (БиоЭС) – 149 ГВт (4,4%).

Подготовку статистической информации в агентстве IRENA осуществляет Центр знаний, политики и финансов (Knowledge Policy and Finance Center) по отчетам национальных операторов. Статистика по ВЭ международного энергетического агентства IEA, сайт www.iea.org [2] в целом существенно не отличается от данных агентства IRENA. Международная экспертная организация REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century), сайт www.ren21.org [3] в своих отчетах в основном проводит экспертные оценки.

В таблице 1 по данным агентства IRENA представлены значения суммарных установленных мощностей возобновляемой электрогенерации стран СНГ по итогам 2022г.

Таблица 1. Установленные мощности возобновляемой электрогенерации стран СНГ в 2022г. [2, 3], МВт

Страна	Суммарная установленная мощность	По видам ВЭ				
		ГЭС	СЭС	ВЭС	ГеоЭС	БиоЭС
Российская Федерация	58 235	52 754	1 816	2 218	74	1 373
Украина	16 760	6 662	8 062	1 761	-	275
Республика Казахстан	5 954	2 807	2 031	1 108	-	8
Республика Узбекистан	2 301	2 048	252	1	-	-
Республика Таджикистан	5 274	5 274	-	-	-	-
Грузия	3 132	3 080	23	29	-	-
Республика Армения	1 583	1 345	235	3	-	-
Азербайджанская Республика	1 294	1 177	51	66	-	-
Киргизская Республика	2 780	2 780	-	-	-	-
Туркменистан	2	2	-	-	-	-
Республика Беларусь	632	96	273	122	-	141
Республика Молдова	-	-	-	-	-	-
Всего МВт:	97 947	78 025	12 743	5 308	74	1 797
Доля разных видов ВЭ в структуре установленных мощностей, %		80,1%	13,1%	5,4%	0,08%	1,4%

2 Возобновляемая электрогенерация России

В основе развития ВЭ РФ – план «ДПМ – ВИЭ – 2,0» со строительством до 2035г. ветровой, солнечной, малой гидроэнергетики с суммарной установленной мощностью до 12 ГВт, который был утвержден Распоряжением Правительства РФ №1446-Р от 21.06.2021г (ДПМ – договор предоставления мощностей). Меры по декарбонизации экономики, по Распоряжению Правительства №3052-Р от 29.10.2021г. в том числе регламентируют развитие технологий генерации энергии на основе ВИЭ. Распоряжением Правительства РФ №2765-Р от 01.10.2021г. был утвержден федеральный проект «Чистая энергетика» с проведением конкурсов проектов ВИЭ и созданием отечественной сертификации электроэнергии на основе ВИЭ. Распоряжением Правительства РФ от 24.03.2022г. №594-Р были внесены изменения в основные направления госполитики развития ВЭ до 2035г. Минэнерго РФ поручено до 10 марта, следующего за отчетным годом подготавливать информацию об анализе цен на электроэнергию на основе ВИЭ, о введенных в эксплуатацию установленных мощностях электрогенерации на оптовом и розничном рынках, а также объектов микрогенерации.

Согласно данным агентства IRENA [1] суммарная установленная мощность ВЭ РФ в 2022г. составила 58,23 ГВт (100%), в том числе ГЭС – 52,75 ГВт (90,6%); ВЭС – 2,22 ГВт (3,8%); СЭС – 1,82 ГВт (3,1%); БиоЭС – 1,37 ГВт (2,4%); ГеоЭС – 0,07 (0,1%) (рис. 1). По отчету Системного оператора (СО) ЕЭС РФ [4] суммарная установленная мощность ВЭ в объединённой энергосистеме составила 55,71 ГВт (100%), в том числе ГЭС – 50 ГВт; ВЭС – 2,3 ГВт; СЭС – 2,12 ГВт; ГеоЭС – 0,074 ГВт [7] (рис. 2). В обзоре Ассоциации российской возобновляемой энергетики [5] описаны основные тенденции развития ВЭ. По ее данным ветроэнергетика России в 2022г. имела суммарную установленную мощность 2,280 ГВт, в том числе на оптовом рынке 2,168 ГВт (24 ВЭС), в технологически изолированных территориальных энергосистемах 0,0228 ГВт. В 2022г. ООО «ЭНЕЛ-РУС-Винд Кола» ввела в эксплуатацию I очередь Кольской ВЭС в Мурманской области (170,4 МВт), а АО «Ветро ОГК – 2» – Берестовскую ВЭС в Ставропольском крае (60 МВт). На розничном рынке АО «Калининградская генерирующая компания» ввела в эксплуатацию Зеленоградскую ВЭС (0,6 МВт). В 2022г. фирмы «Vestas», ПАО «ЭНЕЛ-РУС», «Сименс-Гамеса» сворачивали свои производства и организации по монтажу ветроагрегатов. Успешную деятельность продолжало АО «НовоВинд» ГК «Росатом» с производством комплектующих в г. Волгодонске.

Солнечная электрогенерация России в 2022г. по данным СО ЕЭС РФ имела установленную мощность 2,12 ГВт. Основным отечественным производителем фотоэлектрических модулей (ФЭМ) и инвестором сооружения СЭС являлось ГК «Хевел». Значительные объемы производства ФЭМ и сооружения СЭС обеспечивала ООО «Солар-Системс», которое в 2017-2020г.г. построило на оптовом рынке 20 СЭС, а в 2022г. три СЭС на розничном рынке в Башкортостане, Краснодарском крае и Ульяновской области. В 2021г. ООО «Солар-Системс» подписало соглашение с китайской фирмой Wuxi Suntech Power о строительстве в РФ завода по производству ФЭП и ФЭМ с годовой программой 300 МВт. В 2023г. в Калининградской области ГК «Росатом» построил завод ЭНКОР по

производству 1,3 ГВт в год кремниевых пластин и 1 ГВт в год ФЭМ. В 2022г. в России на оптовом рынке были построены СЭС общей установленной мощностью 137,6 МВт. ООО «Грин Энерджи Рус» (ГК «Хевел») завершило сооружение Дергачевской СЭС (2 и 3 очередь) в Саратовской обл. – 35 МВт; Южно-Сухокумской (Ногайской) СЭС в Дагестане – 15 МВт; Читинской СЭС (2 очередь) в Забайкальском крае – 15 МВт; Черновской СЭС (1 и 2 очереди) в Забайкальском крае – 35 МВт. ООО «Фортум – Новая Генерация 2» ввела в эксплуатацию Аршанскую СЭС (Элистинскую) в Калмыкии – 37,6 МВт.

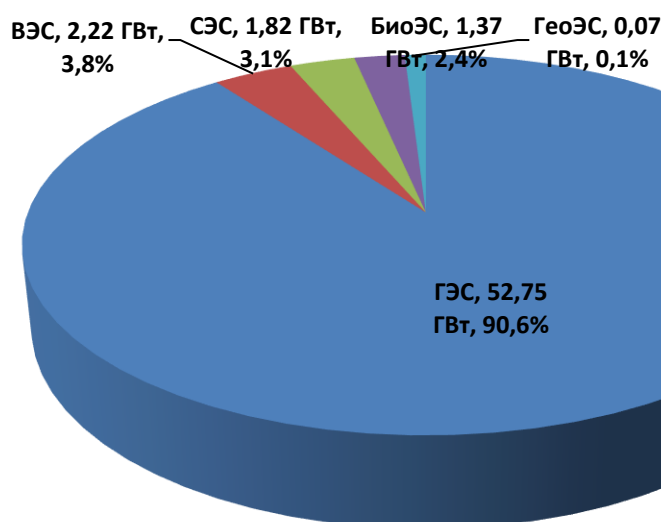


Рис. 1. Диаграмма распределения установленной мощности видов ВЭ РФ в 2022г., IRENA

На розничном рынке было завершено строительство ООО «Курай – Солар» Агидельской СЭС (1 и 2 очереди) в Башкортостане – 9,98 МВт, ООО «Лукойл-Кубаньэнерго» СЭС на территории Краснодарской ТЭЦ – 2,35 МВт. В изолированных энергосистемах (ТИТЭС) ООО «Группа ЭНЭЛТ» и ООО «КЭР» были построены в Якутии в Верхоянске энергокомплексы на основе газопоршневых агрегатов и СЭС (АГУЭ) в населенных пунктах: Хонуу, Сасыр, Тебюляк, Кулун-Елбют общей мощностью 2,96 МВт. ООО «Хевел Энергосервис» построило АГУЭ в п. Марково на Чукотке мощность 0,8 МВт, в Тыве с. Тоора-Хем – 1 МВт.

Малая гидроэнергетика России имела в 2022г. суммарную установленную мощность 1220 МВт. На оптовом рынке ПАО «РусГидро» была введена в эксплуатацию Красногорская МГЭС-2 в Карачаево-Черкессии мощностью 24,9 МВт, а на розничном - Малая Краснополянская ГЭС в Краснодарском крае – 1,5 МВт (ООО «Лукойл-Экоэнерго»). Геотермальная электрогенерация трех ГеоЭС на Камчатке имела установленную мощность 74 МВт, а выработка электрической энергии в 2022г. составила 1637 млн. кВт·ч. Паужетская ГеоЭС (11 МВт) снизила производство, а Мутновская ГеоЭС с установленной мощностью 50

МВт с вводом в эксплуатацию новой геотермальной скважины увеличила свою долю в энергобалансе Камчатки до 24,7%. Биоэнергетика России, по данным агентства IRENA, в 2022 г. имела установленную мощность 1373 МВт (отчетность Минэнерго и топлива РФ – 2002 г). На 01.11.2023г. достоверная статистика по электрогенерации РФ на основе биомассы отсутствовала.

Региональными лидерами ВЭ России в 2022г. были Астраханская область – 625 МВт, в том числе СЭС – 285 МВт; ВЭС – 340,2 МВт; Ставропольский край – 615,3 МВт, в том числе СЭС – 100 МВт, ВЭС – 510 МВт; Ростовская область – 607,3 МВт, в том числе СЭС – 234,1 МВт, ВЭС – 216,6 МВт.

Научными исследованиями в области возобновляемой энергетики занимались институт ОИВТ РАН (солнечная, водородная, биоэнергетика, геотермальная энергетика), научное учреждение РАН-ВИМ (бывший ВИЭСХ), (солнечная и биоэнергетика), а также пять вузов: НИУ МЭИ (Москва): гидроэнергетика, солнечная и ветровая энергетика; лаборатория ВИЭ МГУ Москва: климатические базы данных, экономика ВИЭ, биоэнергетика; НОЦ «ВИЭ» СПбПУ, Санкт-Петербург: ветро - и солнечная энергетика в арктических условиях; кафедра «АЭС и ВИЭ» УРФУ, Екатеринбург: солнечная, ветровая, биоэнергетика; кафедра электрических станций сетей и электроснабжения ЮУрГУ, Челябинск: солнечная и ветровая энергетика. Из анализа деятельности научных школ ВЭ РФ следует, что отсутствует координирующая национальная организация по комплексному исследованию проблем ВИЭ. Финансирование НИОКР по ВИЭ недостаточно. Академические учреждения финансируют работы по ВИЭ в рамках их общих бюджетов, а вузовские организации из бюджетов образовательной деятельности. Данные по установленной мощности и выработанной электроэнергии публикуются в отчетах Системного оператора (СО) ЕЭС РФ [4].

При сравнении диаграмм распределения установленной мощности в 2022 г. агентства IRENA (рис.1) и СО ЕЭС РФ (рис.2) выявлены существенные расхождения.

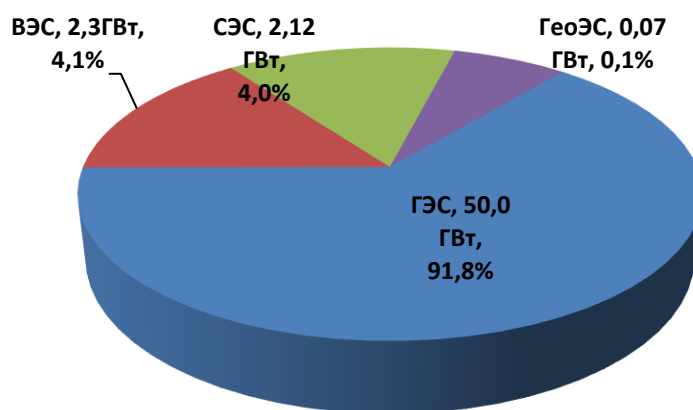


Рис.2 Диаграмма распределения установленной мощности видов ВЭ РФ в 2022г., СО ЕЭС РФ

Так, в отчете СО ЕЭС РФ отсутствуют данные по установленной мощности БиоЭС. В обзорах Ассоциации российской возобновляемой энергетики, АРВЭ [5] при этом приводятся факты ввода в эксплуатацию только отдельных БиоЭС, а значение суммарной установленной мощности БиоЭС в РФ (1,37 ГВт) по данным д.т.н. П.П. Безруких было актуально в 2002г. В РФ отсутствует статистика ввода в эксплуатацию фотоэлектрических станций (ФЭС) отдельных потребителей, не работающих в составе единой энергосистемы страны. По экспертным данным суммарное значение установленной мощности таких ФЭС сравнимо со значением мощности СЭС, работающих в энергосистеме. В современных условиях отчеты о вводе в эксплуатацию должны дополняться данными таможенных и налоговых служб. Примером такой методики могут служить результаты обработки материалов по солнечной теплогенерации. Структура основных потребителей солнечной теплогенерации была принята по классификации общепризнанной в мире экспертной организации АЕЕ INTEC [6]. При этом были учтены площади производственных солнечных коллекторов, построенных гелиоустановок, отчетные данные таможенных и налоговых органов по зарубежным солнечным коллекторам и гелиоустановкам.

Подготовкой специалистов по ВИЭ (бакалавров и магистров) в 2022г. в РФ занимались 17 вузов с годовым выпуском более 300 человек. Обучение ученых осуществляли аспирантуры четырех вузов и одного учреждения РАН с ежегодным выпуском 50 человек. Общая численность преподавателей по ВИЭ составляла до 150 человек. Программы и методики обучения по ВИЭ утверждались каждым вузом в отдельности. В РФ был один специализированный журнал по ВИЭ, а статьи по этой теме публиковались в 13 научно – технических журналах. За последние пять лет там были напечатаны 610 статей по ВИЭ. Научно – техническая общественность была объединена в нескольких организациях, в том числе: Ассоциации по возобновляемой энергетике (АРВЭ), Ассоциации по ветроэнергетике, Комитете ВИЭ Союза научных и инженерных организаций.

3 Возобновляемая энергетика Беларуси

В основе развития ВЭ РБ – закон №204-Ф от 24.02.2021г. «О возобновляемых источниках энергии» и госпрограмма «Энергосбережение на 2021-2025гг.», утвержденная постановлением СМ РБ №103 от 24.02.2021г. К концу 2023г. этой программой было предусмотрено сооружение электрогенерации на основе ВИЭ общей мощностью 129,5 МВт, в том числе ВЭУ – 29,8 МВт; МГЭС – 29,1 МВт; СЭС – 10 МВт; БиоЭС – 15 МВт; электрогенерации на ТБО – 40 МВт, на биоотходах – 83 МВт, биогазе – 37 МВт. Эта программа предполагает сооружение теплонасосных установок (ТНУ) на 17 объектах общей тепловой мощностью 28,6 МВт[7]. Реализация госполитики в области ВИЭ поручена департаменту энергоэффективности Госкомитета Совета Министров по стандартизации, а статотчетность предоставляется по форме «4-Энергосбережение». Научным сопровождением занимается лаборатория ВИЭ Института энергетики НАН РБ с секторами био -, солнечной энергетики и утилизации отходов. Научно-техническую общественность РБ объединяет ассоциация «Возобновляемая энергетика»

(www.energobelarus.by), а статьи публикуются в журналах «Энергетическая стратегия» и «Энергоэффективность».

По данным агентства IRENA в РБ в 2022г. суммарная установленная мощность электрогенерации на основе ВИЭ составляла 631 МВт (100%), в том числе МГЭС – 96 МВт; ВЭС – 112 МВт; СЭС – 269 МВт; БиоЭС – 120 МВт (Рис. 3). В январе 2023г. Департамент энергоэффективности РБ сообщил о достижении суммарной установленной мощности ВЭ – 631,5 МВт, в том числе 108 ВЭУ – 122 МВт; 84 СЭС – 273 МВт; 54 ГЭС – 96 МВт, 31 биогазовой установки – 40 МВт, 11 мини-ТЭЦ на дровах – 100 МВт. Доля ВЭ в общем энергобалансе РБ составила 8,1% [7]. В 2023г. правительство РБ приступило к реализации рекомендаций агентства IRENA: по доработке Концепции энергетической безопасности в части увеличения доли ВИЭ в общем энергобалансе; дополнению закона о теплоснабжении разделом ВИЭ; оценке потенциала биомассы и геотермальных ресурсов; разработке стандарта доступа ВЭ на рынок электроэнергии; прогнозированию выработки электроэнергии СЭС и ВЭС и т.п.

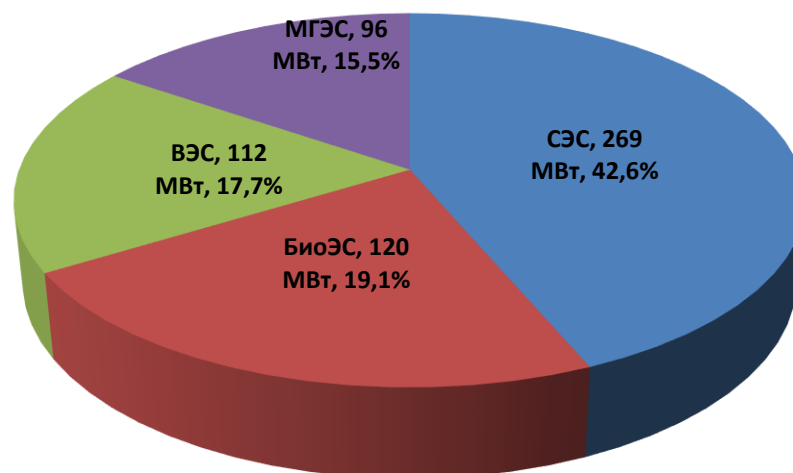


Рис. 3. Диаграмма распределения установленных мощностей ВЭ Беларуси в 2022г. по данным агентства IRENA

В солнечной энергетике РБ при её общей установленной мощности 269 МВт около половины составляла мощность СЭС «Малая Речица» (109 МВт), построенная в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС в Черниковском районе Могилевской области. Крупными СЭС являются также станции «Беларусьнефть» (55 МВт) и «Солар II» в Гомельской области. В ветроэнергетике РБ одна треть ВЭУ установлены в г. Новопрудске Гродненской области. На станции работают ВЭУ китайских производителей с единичной мощностью от 1,5 до 3,3 МВт. В биоэлектрогенерации из 31 биогазовой установки самой мощной 4,8 МВт является БиоЭС СПК «Рассвет» в Могилевской области [8].

4 Возобновляемая электрогенерация Казахстана

По данным агентства IRENA суммарная установленная мощность ВЭ РК в 2022г. составляла 5954 МВт (100%), в том числе ГЭС – 2807 МВт (47,2%); ВЭС – 1108 МВт (18,6%); СЭС – 2031 МВт (34,1%); БиоЭС – 8 МВт (0,1%). На рис. 4 представлена диаграмма распределения этих мощностей.

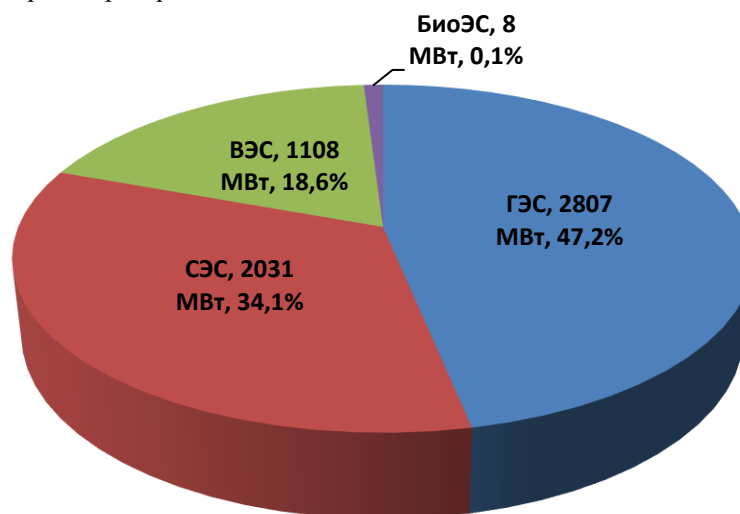


Рис. 4 Диаграмма распределения установленных мощностей ВЭ Казахстана (IRENA) в 2022г.

По данным Минэнерго РК суммарная установленная мощность 130 электростанций на основе ВИЭ Казахстана в 2022г. составляла 2388 МВт при годовой выработке электрической энергии 5111 млн. кВт·ч. Работали 44 системных СЭС с общей установленной мощностью 1148 МВт и выработкой 1763 млн. кВт·ч/год. 46 системных ВЭС имели общую мощность 958 МВт и выработку 2411 млн. кВт·ч /год. 37 малых ГЭС с общей установленной мощностью 280 МВт выработали 934 млн. кВт·ч/год. Общая мощность трех БиоЭС составляла 1,77 МВт. Доля выработки электростанций на ВИЭ в 2022г. достигла 4,53% от общей выработки электроэнергии в стране [9]. Ресурсная база электрогенерации на ВИЭ Казахстана представлена в отчете USAiD (Агентство США по международному развитию), ветровой энергии в Атласе 2009г., солнечной – в Атласе, разработанных казахстанскими специалистами.

Госрегулирование ВЭ в Казахстане осуществляется в соответствии с законом №165-IV от 04.07.2004г. «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» и Концепцией перехода республики Казахстан к «зеленой» энергетике от 30.05.2013г. Основные принципы госрегулирования: гарантированный

сбыт электроэнергии по специальным тарифам и обеспечение налоговых льгот. Структурой госрегулирования являлось ТОО «Расчетный финансовый центр возобновляемой энергетики» (РФЦ). У генераторов ВЭ электроэнергия приобреталась ТОО «РФЦ» по аукционным ценам. Оптовые энергоснабжающие организации закупали у него электроэнергию по установленному государством тарифу поддержки ВИЭ, и реализовали по так называемому «пределному тарифу со сквозной надбавкой на ВИЭ». На аукционных торгах 2022г. при общей заявленной мощности электрогенерации на ВИЭ 440 МВт, было отобрано 15 проектов, в том числе, ВЭС – 400 МВт, СЭС – 40 МВт. В 2022г. были введены в эксплуатацию 12 объектов ВИЭ суммарной мощностью 385 МВт. Налоговые льготы состояли из пониженных значений НДС, земельного и подоходного налогов. Инвестиционные льготы достигали 30% сметной стоимости. Государственные натурные гранты включали земельные участки и здания. Для домашних хозяйств, не подключенных к электросетям, при мощности до 5 кВт практиковался возврат государством до 50% инвестиций в ВЭ [8]. Основными инвесторами сооружения СЭС и ВЭС в Казахстане являлись: Total Eren SA – 178 МВт; SolarNet – 176 МВт; ГК «Хевел» – 170 МВт; UG Energy Ltd – 150 МВт; Universal Energy Co.Ltd – 130 МВт; АО «Самрук – Энерго» – 125 МВт. Подготовку специалистов по ВИЭ (бакалавров, магистров, инженеров) вели три учебных заведения: Алматинский университет энергетики и связи (бакалавры); Казахстанско-немецкий университет в г. Алматы (бакалавры, магистры); Рудненский индустриальный институт (инженеры).

5 Возобновляемая электрогенерация Узбекистана

В основе развития ВЭ РУз – закон № ЗРУ-538 от 21.05.2019г. «Об использовании возобновляемых источников энергии». Органом государственного и хозяйственного управления является Министерство энергетики. Указом Президента РУз № УП-220 от 09.09.2022г. «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии малой мощности» установлены задания по проектированию и вводу в эксплуатацию объектов фотоэнергетики и солнечного горячего водоснабжения (ГВС) социальных, государственных учреждений, односемейных и многоквартирных домов, торгово – развлекательных центров. Предусмотрены налоговые преференции и компенсационные выплаты владельцам гелиоустановок из специально созданного Внебюджетного межотраслевого фонда энергосбережения при Минэнерго. Контроль за выполнением мероприятий возложен на соответствующие Государственные инспекции. Ближайшее будущее развития ВЭ определено Постановлением Президента РУз № ПП-57 от 16.02.2023г. «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023г.».

По данным агентства IRENA в 2022г. установленная электрическая мощность ВЭ РУз составляла 2301 МВт, в том числе ГЭС – 2048 МВт, СЭС – 252 МВт, ВЭС – 1 МВт (рис. 5). На 24.10.2023г. по данным д.т.н. Рашидова Ю.К. в соответствии с Указом Президента РУз № УП-220 от 09.09.2022г. на 8800 объектах социальной

сферы и госучреждений были установлены фотоэлектрические установки (ФЭУ) общей мощностью 174,4 МВт и гелиоустановки ГВС общей тепловой мощностью 9,16 МВт, на 11651 зданиях частных предпринимателей – ФЭУ мощностью 134,1 МВт. На 35.523 односемейных домах были смонтированы ФЭУ мощностью 69,2 МВт и гелиоустановки ГВС тепловой мощностью 4,37 МВт, а на 329 зданиях МКД – 3,38 МВт ФЭУ и гелиоустановок ГВС – 3,38 МВт. Суммарная установленная электрическая мощность указанных ФЭУ составила 381 МВт (100%), а тепловая мощность гелиоустановок ГВС – 13,53 МВт.

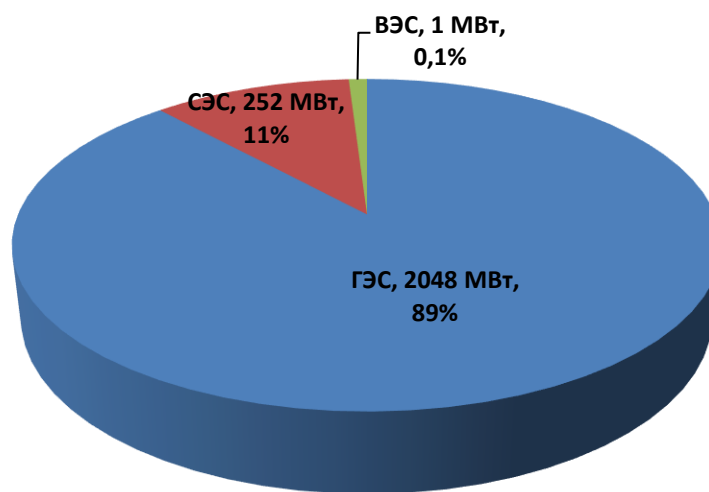


Рис. 5 Диаграмма распределение видов возобновляемой электрогенерации Узбекистана в 2022г., IRENA

По данным агентства IRENA в 2022г. установленная электрическая мощность фотоэнергетики РУз составляла 252 МВт. Эти данные включали в основном две системные СЭС мощностью по 100 МВт в Нурабадском районе Самаркандской и в Карманинском районе Навоийской области. В стадии строительства еще три СЭС общей мощностью 600 МВт, в том числе 100 МВт «Чугонота» в г. Самарканде, 200 МВт «Гузур» и «Шеробод» в Сурхандаринской области, 300 МВт «Гузур» в Кашкадарьинской области. В 2023 г. в г. Янгиюле Ташкентской области приступил к работе завод компании «Enter Solar Green Energy» по производству фотоэлектрических модулей (до 200 МВт в год). Нормативные документы по ФЭС в 2022г. дополнились нормами проектирования ШНК 2.04.15-22 «Фотоэлектрические станции (системы)» [10]. В 2022г. суммарная установленная мощность ГЭС составляла 2048 МВт. Развитием и эксплуатацией гидроэнергетики в стране занимается АО «Узбекгидроэнерго». В 2023г. эксплуатировались 50 ГЭС общей установленной мощностью 2245 МВт и строилось 9 станций общей мощностью 490 МВт. В Узбекистане созданы совместные предприятия с Китаем, Южной Кореей для производства гидроэнергетического оборудования [11].

На основании данных 90 метеостанций Узбекистана в 2015г. АО «Узбекэнерго» совместно с зарубежными организациями был создан Национальный

атлас ветров [12]. В 2010-2012 годах по проектам АО «Узбекгидропроект» были построены две ВЭС. Первая – вблизи Чарвакского водохранилища Ташкентской области с установленной мощностью 170,0 кВт с корейским ветроагрегатом и у пос. Юбилейного Ташкентской области мощностью 750 кВт с китайским ветроагрегатом. По данным Минэнерго РУз (www.minenergo.uz) в 2023г. велось строительство ВЭС мощностью 500 МВт в Тамдымском районе Навоийской области, двух ВЭС по 500 МВт в Бухарской области и ВЭС мощностью 100 МВт в Караулякском районе Каракалпакии.

Основными научными организациями по развитию ВЭ являются Научно – исследовательский институт возобновляемой энергетики Минэнерго РУз (с 2022г.) и НПО «Физика – Солнце» Физико – технического института Академии наук РУз в состав которого входят Институт энергетики и автоматики, Институт материаловедения, лаборатории полупроводниковых солнечных элементов, гелиополигон, международная ассоциация солнечной энергетики с учебным центром. Научными исследованиями в области ВЭ занимаются также 12 вузов, в том числе 10 из них подготовкой бакалавров и магистров по специальности «Альтернативные источники энергии»: В г. Ташкенте с 1965г. издается специализированный международный научный журнал «Гелиотехника» (английская версия «Apple Solar Energy») входящий в международную базу данных Scopus. Владелец – Springer Nature Switzerland AG (www.springer.com). Основная тематика журнала: солнечная теплогенерация, фотоэлектрические и термофотоэлектрические модули и установки на их основе, солнечная сушка продуктов и опреснение воды, солнечные сушилки и концентраторы. Главный редактор д.т.н. Ж.С. Ахатов (ФТИ АН Уз). В Узбекистане в области ВЭ работают представительства ведущих международных организаций: Агентства США по международному развитию (программа «Power Central Asia»); Программа развития ООН (ПРООН); Азиатского банка развития, Глобального экологического фонда (ГЭФ), Всемирного банка, Регионального центра Центральной Азии (РЦЦА). Профильные институты Академии наук РУз успешно сотрудничают с международными и российскими академическими и вузовскими организациями, в том числе с институтом ОИВТ РАН, МГУ (Лаборатория ВИЭ), МЭИ. В 2023г. Министерства образования и науки России и Узбекистана утвердили совместный план действий по проведению научных исследований, созданию лабораторий по испытанию и производству солнечных модулей, разработке дорожной карты по подготовке инженерно – технических кадров на 2023-2025гг.

6 Возобновляемая электрогенерация Украины

Возобновляемая энергетика Украины по данным агентства IRENA рис. 6 в 2022г. имела установленную мощность 16760 МВт (100%), в том числе солнечная энергетика 8062 МВт (48,1%), гидроэнергетика – 6662 МВт (39,7%), ветроэнергетика – 1761 МВт (10,6%), электростанции на биомассе 275 МВт (1,6%).

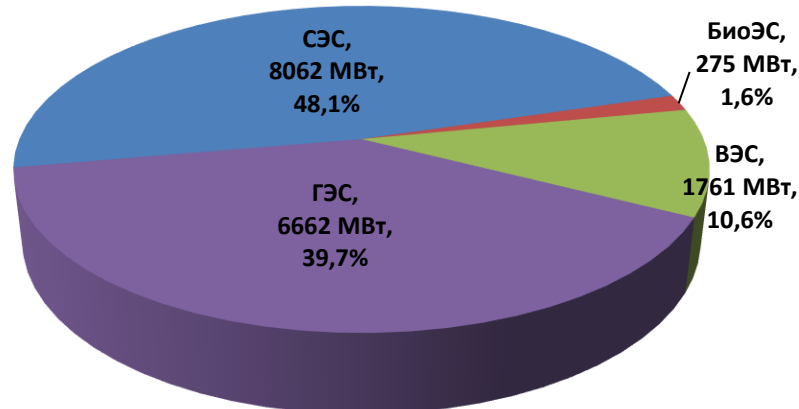


Рис.6. Диаграмма распределения установленной мощности ВЭ Украины в 2022г. по данным IRENA

Основные законодательные документы Украины в области ВЭ: закон Украины (ЗУ) «Об электроэнергетике» № 575/97-ВР от 16.10.1997г.; ЗУ «Про альтернативные источники энергии» № 555/VI от 20.02.2003г.; ЗУ «О внесении изменений в некоторые законы Украины относительно усовершенствования условий поддержки производства электрической энергии из альтернативных источников энергии» № 810-IX от 21.07.2020г.

Основной структурой госуправления ВЭ Украины является Государственное агентство по энергоэффективности и энергосбережению. В основе системы стимулирования развития ВЭ республики - адаптация германского опыта. К 2020г. на Украине был самый большой в Европе «зеленый» тариф на электрическую энергию, которым государство обеспечивало стимулирование производства электроэнергии на основе ВИЭ за счет выкупа электроэнергии по повышенным тарифам (в 3-5 раз превышающим обычные энерготарифы). С 1997г. применялся также механизм выкупа электроэнергии ВИЭ у населения. Цена «зеленого» тарифа ежегодно дифференцировалась в зависимости от года ввода в эксплуатацию, формы собственности, источника ВИЭ и т.п. (www.prostobank.ua, www.finsee.com). С 2021г. для снижения стоимости сооружаемых объектов ВЭ дополнительно были введены аукционы инвесторов [13].

Как следует из рис. 6, лидером ВЭ Украины является солнечная энергетика. Большая ее часть представлена сетевыми СЭС единичной установленной мощностью до 240 МВт. Существенным отличием украинской солнечной энергетики является значительное количество СЭС частных домовладений единичной мощностью до 50 кВт (до 15%). В 2021г. установленная мощность СЭС 32 тысяч семей составляла 835 МВт с лидерованием Днепропетровской области (4466 СЭС; 122 МВт). Частные СЭС в 2021 (www.solarsoul.net) при мощности до 5 кВт стоили от 5000 долл. США, а до 50 кВт – до 18000 долл. США. Соответственно наибольшую рентабельность имели СЭС мощностью 50 кВт со сроком окупаемости до 5

лет. На Украине отсутствовала локализация производства оборудования СЭС. Применялись в основном ФЭМ и инверторы китайских производителей.

Согласно рис. 6 на втором месте гидроэлектростанции – 6662 МВт (39,5%). При этом малые ГЭС (единичная мощность до 30 МВт) в 2021г. имели мощность 118 МВт. Для них также были установлены «зеленые» тарифы. Состояние и перспективы развития МГЭС описаны в статье [14]. На третьем месте – ветроэнергетика с суммарной установленной мощностью 1761 МВт. Самой мощной являлась Ботиевская ВЭС – 200 МВт в Запорожской области. Для сооружения ВЭС применялось в основном зарубежное оборудование: датской фирмы Vestas, американской General Electric. В Краматорске до 2022г. работало сборочное производство ВЭУ типа WT4 германской фирмы Fuhrkander AG мощностью до 4,5 МВт с локализацией производства гондол и башен. Украинская ассоциация ветроэнергетики UBEA имеет содержательный сайт www.uwea.com.ua, а документы по эксплуатации ВЭС [15] представляют определенный интерес.

Главным научным учреждением Украины является Институт возобновляемой энергетики Национальной академии наук (НАН). В его составе шесть отделов: комплексных энергосистем, солнечной энергетики, ветроэнергетики, гидроэнергетики, органических энергоносителей, геотермальной энергетики [16]. Институт издает журнал «Возобновляемая энергетика», им разработаны атласы солнечной радиации, ветрового, гидравлического, геотермального потенциала Украины. В институте работает вторая в СНГ научная школа геотермальной энергетики под руководством д.т.н. Ю.П. Морозова [17]. Научную общественность страны объединяет украинская ассоциация возобновляемой энергетики, www.uaere.com.ua.

7 Возобновляемая электрогенерация Азербайджана

На рис. 7 представлена диаграмма распределения установленной мощности ВЭ Азербайджанской Республики (АР) в 2022г. агентства IRENA. При суммарном значении 1294 МВт (100%) большая часть приходится на гидроэнергетику – 1177 МВт (91,0%). Мощности СЭС и ВЭС составляли 51 МВт (4%) и 66 МВт (5,0%).

Состояние возобновляемой электрогенерации АР в 2020г. описано Р.К. Мирзоевым и С.М. Мирзоевой в статье [18]. В 2012 – 2015гг были построены экспериментальный гибридный полигон «Гобустан» общей установленной мощностью – 5,5 МВт в составе ВЭС – 2,7 МВт; СЭС – 1,8 МВт; БиоЭС на биогазе – 1 МВт; и энергокомплекс «Самух» общей мощностью – 14 МВт в составе ВЭС – 5 МВт; СЭС – 5 МВт; ГеоЭС – 2 МВт; БиоЭС на биогазе – 2 МВт.

Состояние возобновляемой электрогенерации АР в 2020г. описано Р.К. Мирзоевым и С.М. Мирзоевой в статье [18]. В 2012 – 2015гг были построены экспериментальный гибридный полигон «Гобустан» общей установленной мощностью – 5,5 МВт в составе ВЭС – 2,7 МВт; СЭС – 1,8 МВт; БиоЭС на биогазе – 1 МВт; и энергокомплекс «Самух» общей мощностью – 14 МВт в составе ВЭС – 5 МВт; СЭС – 5 МВт; ГеоЭС – 2 МВт; БиоЭС на биогазе – 2 МВт.

Состояние возобновляемой электрогенерации АР в 2020г. описано Р.К. Мирзоевым и С.М. Мирзоевой в статье [18]. В 2012 – 2015гг были построены экспе-

риментальный гибридный полигон «Гобустан» общей установленной мощностью – 5,5 МВт в составе ВЭС – 2,7 МВт; СЭС – 1,8 МВт; БиоЭС на биогазе – 1 МВт; и энергокомплекс «Самух» общей мощностью – 14 МВт в составе ВЭС – 5 МВт; СЭС – 5 МВт; ГеоЭС – 2 МВт; БиоЭС на биогазе – 2 МВт.

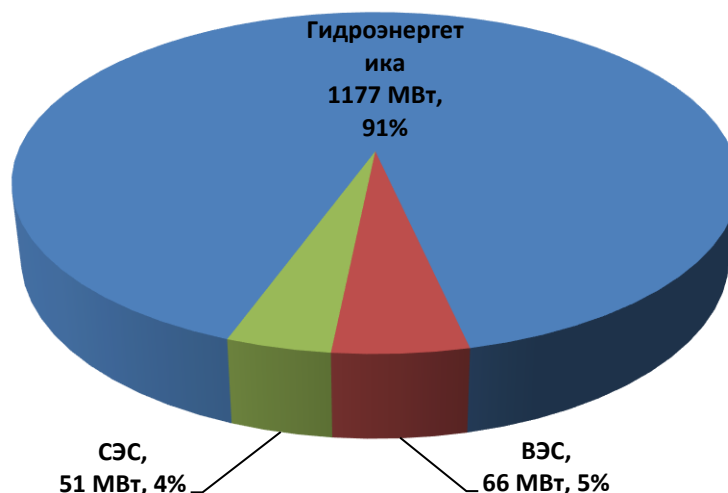


Рис. 7 Диаграмма установленной мощности ВЭ АР в 2022г. по агентству IRENA

Состояние возобновляемой электрогенерации АР в 2020г. описано Р.К. Мирзоевым и С.М. Мирзоевой в статье [18]. В 2012 – 2015гг были построены экспериментальный гибридный полигон «Гобустан» общей установленной мощностью – 5,5 МВт в составе ВЭС – 2,7 МВт; СЭС – 1,8 МВт; БиоЭС на биогазе – 1 МВт; и энергокомплекс «Самух» общей мощностью – 14 МВт в составе ВЭС – 5 МВт; СЭС – 5 МВт; ГеоЭС – 2 МВт; БиоЭС на биогазе – 2 МВт.

В АР были построены ВЭС общей установленной мощностью 212,9 МВт: Пиракешкуль – 80 МВт; Хызы / Ситалчай – 5,3 МВт; Хызы / Шурабад – 48 МВт; Ени – Яшма – 50 МВт; Мутвит – 8 МВт; Яшна – Биглари – 3,6 МВт экологического парка «Центр экологических исследований» – 10 МВт; Хокмели – 8 МВт. С учетом ВЭС энергокомплексов суммарная установленная мощность ВЭС составляла 220,6 МВт.

По данным [18] работали СЭС: Кангарли – 5 МВт; Сумгаитская – 2,1 МВт; Сахильская – 1,9 МВт; Суруханская – 1,6 МВт; Пироллахи – 1,1 МВт, ФЭС отдельных зданий – 0,6 МВт. Общая установленная мощность СЭС в статье оценивалась в 42 МВт. В 2023г. была введена в эксплуатацию Гарадагская СЭС мощностью 240 МВт. Суммарная мощность ГЭС в той же статье оценивалась в 1135 МВт, в том числе крупных 1110,4 МВт и 13 малых ГЭС – 24,6 МВт. В 2012г. был построен самый большой в СНГ Бакинский завод утилизации ТБО с установлен-

ной мощностью электрогенерации – 35 МВт. На биогазе работают электростанции энергокомплексов «Гобустан» (1 МВт) и «Самух» (2 МВт). С учетом вышеизложенного на рис. 8 представлена диаграмма установленной ВЭ АР в 2023г.

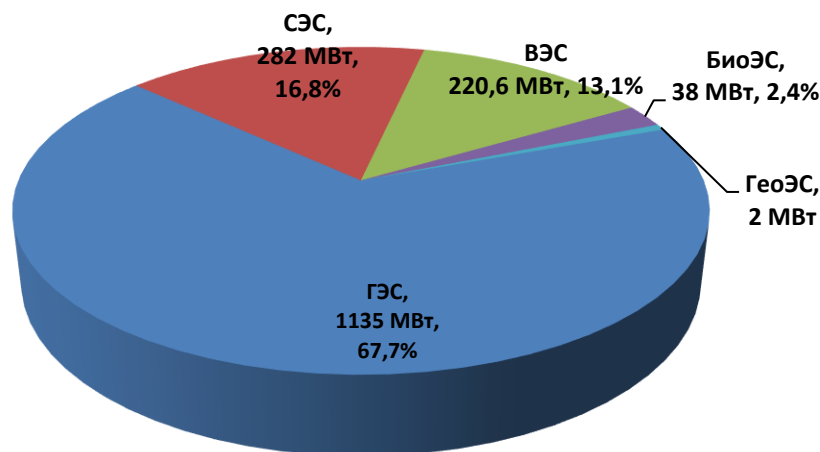


Рис. 8. Диаграмма установленной мощности ВЭ АР в 2023г.

В основе использования ВИЭ – закон АР «Об использовании возобновляемых источников энергии» от 31 мая 2021г. Органом управления развития ВИЭ является Госагентство по возобновляемым источникам энергии при министерстве энергетики. Ведущей научной и образовательной организацией в области ВИЭ является Бакинская высшая школа нефти (БВШН), в которой в 2016г. создан учебный и исследовательский центр по подготовке инженеров по ВИЭ. Данная работа выполняется в сотрудничестве с университетами г. Ахена (ФРГ) и британского Уорвика. При содействии британской компании «Бритиш Петролиум» сотрудниками БВШН Э. Гасымовым и Р. Аббасовым в 2023г. был подготовлен первый в АР учебник «Введение в использование возобновляемых источников энергии», одобренный Минобрнауки и образования республики.

8 Возобновляемая электрогенерация Армении

На рис. 9 представлена диаграмма распределения мощностей ВЭ Республики Армения (РА) в 2022г. по данным агентства IRENA.

Развитие ВЭ в РА осуществляется в соответствии с законом № ЗР-122 от 09.11.2004г. Госорганом управления ВЭ является Фонд возобновляемой энергетики и энергоэффективности. В энергобалансе РА основным энергоисточником являются ГЭС общей установленной мощностью 1345 МВт, состоящие в основном из двух каскадов: Воротанского и Севан – Разданского. Первая ВЭС «Лори – 1» мощностью 2,64 МВт была построена в 2005г. Согласно статье [19] в 2021г.

работала Гагаркуникская ВЭС Zod Wind мощностью 20 МВт. Солнечная энергетика была представлена несколькими тысячами ФЭС единичной мощностью до 500 кВт. В 2022г. были построены две СЭС «Барев Арев» мощностью по 6,1 МВт с устройствами слежения за солнцем. В 2023 строились системные СЭС «Масрик – 1» мощностью 55 МВт и СЭС «Айг – 1» в Арагацотнске мощностью 200 МВт. В 2008г. была построена первая в РА Лусакертская БиоЭС в Нор Гезы на биогазе птицефабрики установленной мощностью 0,85 МВт.

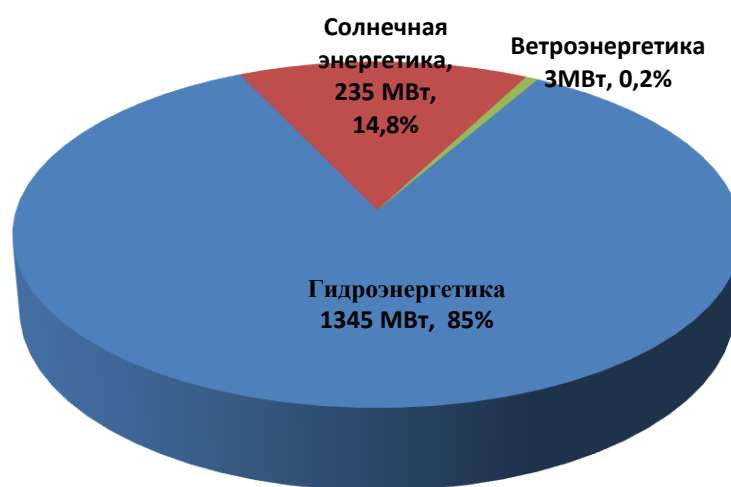


Рис. 9. Диаграмма распределения установленной мощности ВЭ РА в 2022г. (IRENA), всего 1583 МВт (100%)

В 2016г. были пробурены две разведочные геотермальные скважины глубиной 1500 м и 1682 м на месторождениях «Джермахбюр» и «Каркар» для сооружения ГеоЭС мощностью 30 – 50 МВт [20]. Научными исследованиями по возобновляемой энергетике в РА занимаются ЗАО «НИИ энергетики» и Институт экономики НАН РА. Подготовка кадров по ВИЭ в РА в 2022г. не велась.

9 Возобновляемая электрогенерация Грузии

На рис. 10 приведена диаграмма распределения установленных мощностей Грузии по данным агентства IRENA в 2022г.

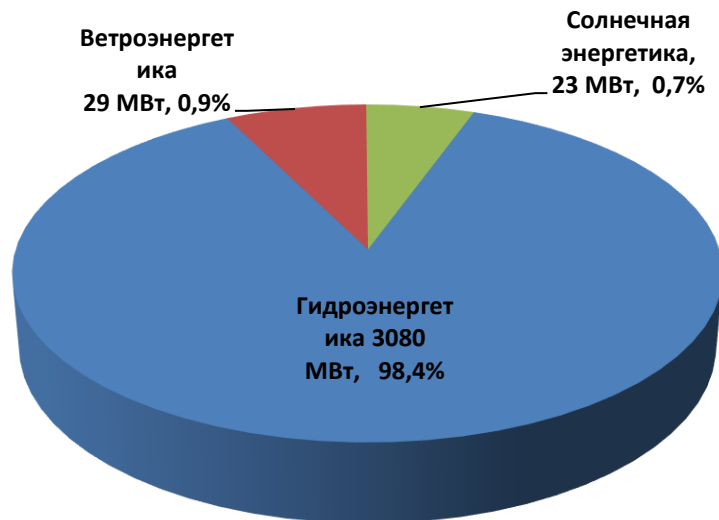


Рис. 10. Диаграмма распределения установленной мощности ВЭ Грузии в 2022г. по данным агентства IRENA, всего 3132 МВт

В советские годы в Грузии была одна из передовых научных школ развития ВИЭ. Было выполнено распределение регионов республики по потенциалу солнечной, ветровой, геотермальной энергии. Грузия была пионером по развитию солнечной теплогенерации: разработана оптимальная конструкция солнечного коллектора и освоено серийное производство, работало специализированное монтажное управление. Впервые в СССР в Грузии было освоено использование тепловых насосов в солнечных и геотермальных системах теплоснабжения.

В 2022г. в Грузии в области ВИЭ работало АО «Фонд развития энергетики Грузии» Министерства экономики и устойчивого развития (www.seeca.eu). В основе энергетики Грузии 94 ГЭС большой мощности и 959 микро ГЭС с суммарной мощностью 57 МВт. В 2022г. работала ВЭС в Гори мощностью 20 МВт. Солнечная энергетика была представлена ФЭС небольшой единичной мощности.

10 Возобновляемая электрогенерация Туркменистана

По данным агентства IRENA в 2022г. Туркменистан имел установленную мощность ВЭ на основе ГЭС – 2 МВт. Первая из них – Гиндукушская ГЭС была построена в 1903г. на реке Мургаб (1,2 МВт). В советские годы Туркмения была

лидером СССР по солнечной энергетике. В восьмидесятые годы XX века заместитель директора ЭНИН Г.М. Кржижановского – д.ф.-м.н. В.А. Баум организовал в Ашхабаде НПО «Солнце», которое исследовало тепловые, опреснительные, концентрирующие гелиоустановки. В Ашхабаде также работала Туркменская лаборатория фотоэнергетики Всесоюзного НИИтоков (ВНИИТ руководителем к.ф.-м.н. Б.А. Базаров), в которой под руководством Б.В. Тарнижевского была создана первая в мире концентрирующая фотоэлектрическая установка.

В основе современного развития ВЭ – закон Туркменистана № 334-VI от 13.03.2021г. «О возобновляемых источниках энергии» и Национальная стратегия развития возобновляемой энергетики до 2030г., утвержденная Указом Президента № 2007 от 04.12.2020г. Основной научной организацией является Научно – производственный центр «Возобновляемые источники энергии» Государственного энергетического института Туркменистана в г. Мары с лабораториями ФЭП, концентрации солнечной энергии и гелиотехники, биоэнергетики. В Энергетическом институте также ведется подготовка бакалавров и магистров по специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

11 Возобновляемая электрогенерация Таджикистана

По данным агентства IRENA в 2022г. установленная мощность возобновляемой энергетики Таджикистана на основе ГЭС составляла 5274 МВт. В республике работали более 300 МГЭС. Деятельность данного вида энергетики регулировалась законом «Об использовании возобновляемых источников энергии» от 12.01.2010г. Работала Ассоциация возобновляемой энергетики Таджикистана. Первая ВЭС этого государства мощностью 220 кВт была построена в 2020г. в Мургабе Горно – Бадахшанской области. ОАО «Системоавтоматика» (Душанбе) разработала и смонтировала десятки ФЭС мощностью до 120 кВт, тепловые гелиоустановки площадью до 1500 м². ООО «Технологияхоу Сабз» (с. Балджувон, одноименного района) построило 425 ФЭС, в том числе 300 для домохозяйств, 50 для школ и медпунктов, 40 для солнечных насосных, 35 для объектов бизнеса, а также 15 МГЭС. При Таджикском техническом университете им. академика М.С. Осими (Душанбе) работает образовательно – технологический центр по внедрению технологий ВИЭ.

12 Возобновляемая электрогенерация Киргизстана

По данным агентства IRENA в 2022г. установленная мощность ВЭ Киргизской Республики (КР) составляла 2780 МВт и была представлена в основном гидроэнергетикой. В 2018г. был принят закон о возобновляемых источниках энергии. В министерстве энергетики и промышленности КР работал отдел «Возобновляемые источники энергии» и НИИ энергетики и экономики. Исследованиями занимались кафедра «ВИЭ» Кыргызского государственного университета им. И. Раззахова и Ошский государственный университет. В республике работала Ассоциация возобновляемых источников энергии и Центр развития ВИЭ и энергоэффек-

тивности. В г. Бишкеке были построены солнечно – топливные котельные с общей площадью солнечных коллекторов около 1000 м², поставлены тысячи солнечных водонагревателей и тепловых насосов, на приобретение которых были предусмотрены налоговые преференции.

13 Возобновляемая электрогенерация Молдовы

По данным Минэнерго Республики Молдова (РМ) на 01.01.2024г. общая установленная мощность ВЭ составляла 343 МВт, в том числе фотоэнергетика 192,4 МВт, ветроэнергетика – 126,8 МВт; гидроэнергетика – 16,7 МВт; биоэнергетика – 6,9 МВт (рис. 11).

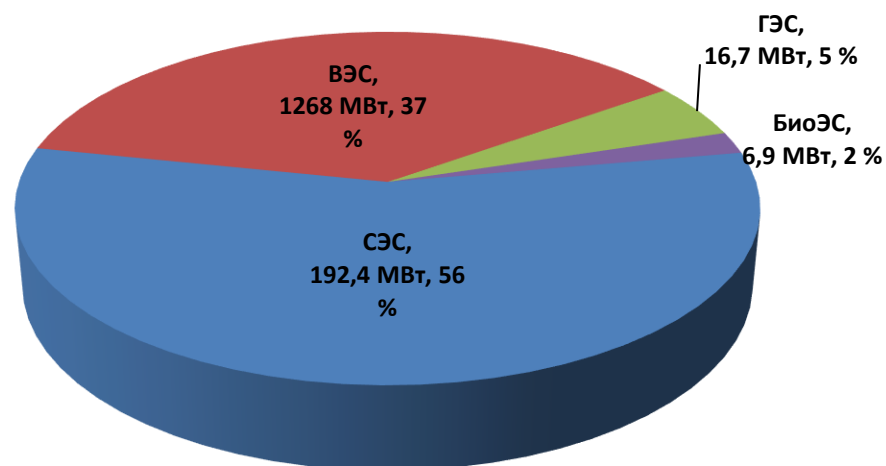


Рис. 11 Диаграмма распределения установленной мощности ВЭ РМ в 2023 г. по данным Минэнерго

Доля ВЭ в общей структуре установленной мощности энергетики РМ в 2023г. составляла 16,8 %. Действует закон № 10 от 26.02.2016г. «О продвижении энергии из возобновляемых источников энергии» и Положение о гарантиях происхождения электрической энергии, произведенной из возобновляемых источников энергии от 28.09.2017г.

В солнечной энергетике активно развиваются СЭС частных лиц и организаций единичной мощностью до 200 кВт. Из общего значения мощности СЭС – 192,4 МВт в 2023г. работали ФЭС 5051 потребителя суммарной мощностью 115,3 МВт при соотношении физических и юридических лиц – 74/26.

14 Научные школы возобновляемой энергетики

В 2022 г. из всех стран СНГ традиции советских научных школ ВЭ удалось сохранить в основном в трех странах: России, Украине, Узбекистане. Исследования выполняются в академических и образовательных учреждениях. Российские институты работают по всем направлениям ВЭ. Среди стран СНГ они лидируют по фотоэнергетике, геотермальной энергетике, биоэнергетике. На Украине более 30 лет работает институт НАН «Возобновляемые источники энергии», издается специализированный научный журнал. В Узбекистане традиции академических институтов развивает вновь организованное НИИ возобновляемых источников энергии, при Минэнерго РУз. Деятельность научных школ стран СНГ не координируется должным образом. Сотрудничество между национальными академиями наук по ВЭ ограничено личными контактами ученых.

Из научных достижений последних лет следует выделить работы российских ученых (Института вулканологии и сейсмологии РАН) по исследованию геотермальных скважин со сверхкритическими параметрами флюидов, сооружение циркуляционной геотермальной системы теплоснабжения в п. Ханкала в г. Грозного (Грозненский нефтяной институт им. Миллионщикова). В области фотоэнергетики на основании фундаментальных работ Санкт-Петербургского ФТИ РАН ГК «Хевел» удалось создать производство замкнутого цикла фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в Удмуртии, а в г. Калининграде в 2023г. завершили сооружение предприятия ЭНКОР по изготовлению кремниевых ФЭМ. Ведущей научной организацией РАН в области создания биотоплив является институт ИВТАН (д.т.н. В.М. Зайченко).

На основании разработок украинского НИИ возобновляемой энергетики НАН удалось создать экономические условия и технические решения по масштабному сооружению фотоэлектрических станций жилых домов и частной коммерческой застройки. Академические и образовательные учреждения Узбекистана разработали единственную в СНГ актуализированную систему нормативных документов по проектированию фотоэлектрических и тепловых солнечных установок.

Важным показателем научной деятельности являются публикации в международных специализированных журналах. Из 378 международных периодических изданий с публикациями по возобновляемой энергетике [21] наибольшую цитируемость в базе данных Web of Science имели журналы как по комплексу проблем использования ВИЭ: Renewable Sustainable Energy Reviews (Обзор возобновляемой и устойчивой энергетики, Великобритания); так и по ее отдельным видам: Solar Energy (Солнечная энергетика, США); Wind Energy (Ветроэнергетика, Нидерланды); Geothermal Energy (Геотермальная энергетика, ФРГ); Biomass Bioenergy (Биомасса и биоэнергетика, Великобритания). Из указанных журналов в составе редколлегий только в трех первых состоят представители стран СНГ, а публикации ученых весьма редки.

В странах СНГ в 2022г. специализированные научные журналы по ВИЭ имелись на Украине (Возобновляемая энергетика), в Узбекистане (Гелиотехника (Scopus); Альтернативная энергетика, Карши), в России (Альтернативная энергетика и экология). В России статьи по ВИЭ за последние пять лет (610) были опубликованы в 13 журналах [22]. Представительство ученых СНГ в международных

профессиональных сообществах по ВИЭ (International Renewable Energy Alliance): ISES (солнечной энергетики); IGA (геотермальной); WWEA (ветро-энергетики); WBA (биоэнергетики) весьма ограничено. Фактически отсутствуют представители России в ассоциациях ISES и IGA.

Полноценная подготовка инженерных и научных кадров организована только в России и Узбекистане. В России обучением бакалавров и магистров в 2022 г. занимались 17 вузов с ежегодным выпуском более 400 чел [23], а в Узбекистане 12 вузов (более 300 чел). Основными проблемами этой деятельности являются: сложности трудоустройства выпускников, несоответствие международным стандартам, отсутствие координации программ и методик обучения. Интересен опыт МГУ по созданию специализированных программ обучения по ВИЭ для студентов гуманитарных вузов. При обучении по известным зарубежным учебным пособиям в большинстве стран СНГ используют собственные учебники (в России более 50). Некоторые из них учитывают специфику подготовки по основной специальности, например, нефтяной промышленности, но в большинстве своем представляют компиляцию известных книг. Координация учебно-методической работы по использованию ВИЭ в странах СНГ не осуществляется.

Подготовка научных кадров является важнейшим индикатором перспективности направлений науки. Только в трех странах СНГ сохранилось обучение аспирантов по научной специальности – Энергоустановки на основе возобновляемых (альтернативных) видов энергии [24]. В России в 2022г. ее содержание было распределено по специальностям 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы; 4.3.2 – Энерготехнологии, электрооборудование и электроснабжение агропромышленного комплекса; 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. За последние 20 лет по проблемам ВИЭ в РФ были защищены 117 кандидатских и 13 докторских диссертаций [24]. В Узбекистане аналогичная работа осуществляется академическими учреждениями (Физико – технический институт, НПО «Физика – Солнце» АН РУз) и ведущими вузами.

Существенным недостатком деятельности научных школ стран СНГ является низкое качество статистики по возобновляемой энергетике. Правительство РФ Распоряжением № 594 – Р от 24.03.2022г. поручило министерству энергетики создать такую систему. При адаптации опыта известных международных методик подготовки статистики по ВИЭ особое внимание заслуживает 20 – летняя деятельность экспертной группы AGEE – Stat, в ежегодных сборниках [25] которой по методикам ФРГ и Евросоюза приводятся данные по Германии, 28 странам Европы и мира в целом. Обработка отчетов статуправления ФРГ сопровождается научным анализом и согласованием результатов с ведущими специализированными ассоциациями. На основании топливно – энергетического баланса ФРГ по первичному топливу определяется доля энергетики на основе ВИЭ, а затем структура выработки энергии по отдельным видам.

Во всех странах СНГ в 2023г. (кроме Беларуси) имелись только данные по электрогенерации. По теплогенерации были известны только экспертные оценки.

15 Выводы

1. В основе деятельности управления ВЭ России и Казахстана – рыночные принципы, Беларуси – административные, а в Узбекистане, других странах содружества – сочетание административных и рыночных.
2. Источниками финансирования развития ВЭ России и Казахстана в основном являются средства инвесторов, которые погашаются потребителями через государственную тарифную политику. В Беларуси источник финансирования – государственные бюджетные средства, а в Узбекистане – сочетание бюджетных средств и частных инвестиций.
3. В странах содружества отсутствует полный цикл производства оборудования ВЭ. В России, Казахстане и Узбекистане работали предприятия по добыче и выплавке кремния, производству ФЭМ. В России законодательно закреплено требование по локализации производства оборудования ВЭ и построены соответствующие производства (ФЭМ; ВЭУ).
4. В отличие от других стран содружества, в России отсутствует Федеральный закон об использовании ВИЭ, а развитие возобновляемой электрогенерации регламентируют поправки и дополнения к закону «Об электроэнергетике». Национальная программа «ДПМ-ВИЭ-2,0» с горизонтом планирования до 2035г. интегрирована с программами развития безуглеродной экономики и экологии «Чистая энергетика».
5. Сохранены традиции советских научных школ по ВИЭ в России, Узбекистане, Украине. В этих странах созданы коллаборации академических, вузовских организаций и НИИ при министерствах энергетики. Издаются специализированные научные журналы: «Альтернативная энергетика» (РФ), «Возобновляемая энергетика» (Украина), «Гелиотехника» (РУз). Отсутствует координация работы научных учреждений со стороны Исполкома Электротехнического совета СНГ.
6. Лидерами научного обеспечения возобновляемой энергетики среди стран СНГ является Россия и Узбекистан. При сотрудничестве вузовских организаций практически отсутствует координация между академическими учреждениями. Недостаточно полно научные организации представлены в редакциях международных журналов, специализированных ассоциациях.
7. Массовой подготовкой инженерных и научных кадров занимаются РФ и РУз (до 1000 бакалавров и магистров ежегодно), в аспирантурах обучаются более 100 человек. Актуальна синхронизация и актуализация программ обучения, учебно – методических материалов.

Литература

1. Международное агентство Irena. Электронный ресурс: www.irena.org. Renewable Energy Capacity Statistics 2023 mc-cd 8320d4-36al-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint. azurereedge.net/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity-Statics_2023.pdf.
2. IEA, Международное энергетическое агентство. Электронный ресурс: www.iea.gov, energy statistics data tools.
3. Международное экспертное сообщество REN21. Электронный ресурс: [ren21_2023_jun_global-status-report-energy-supply.pdf](https://ren21.net/2023-jun-global-status-report-energy-supply.pdf).
4. Системный оператор Единой Энергетической системы РФ. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году. Электронный ресурс: www.so.ets.ru.
5. Информационный бюллетень АРВЭ «Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития». М. Июль. 2022. Электронный ресурс: www.irreda.ru.
6. Бутузов В.А. Солнечная теплогенерация в России. Цифры и факты // Энергосбережение. 2023. № 8. с. 42-47.
7. Крецков В. Беларусь и стратегия экономии ТЭР. Энергоэффективность. 2022. № 6. с. 2-5.
8. Оганесов И.А., Горустович Т.Г., Королевич Н.Г. О некоторых вопросах развития биогазовых технологий в Республике Беларусь. Энергоэффективность. 2020. № 6. с. 29-32.
9. ТОО «Расчетно-финансовый центр по поддержке ВИЭ». Электронный ресурс: www.rfc.keqoc.kz. 9 ШНК 2.04.15.22. Фотоэлектрические станции (системы). Нормы проектирования. Министерство строительства и коммунального хозяйства РУз. Ташкент. 2022.
10. Фотоэлектрические станции (системы). Нормы проектирования. ШНК 2.04.15.22 Министерство строительства и коммунального хозяйства. Ташкент. 2022.
11. Елистратов В.В., Мухаммандиев М.М. Комплексное использование гидроэнергетических источников Узбекистана в контексте изменения климата. Applied Solar Energy. 2023. Т. 59. Вып 1. с. 87-94.
12. Захидов Р., Кремков М. Ветроэнергетический потенциал Узбекистана. Гелиотехника. 2015. Т. 51. №4. с. 336-337.
13. Хілько В.А. Заходи підтримки відновлюваної енергетики в Україні// Відновлювана енергетика. 2021. №3 с. 6-17.
14. Васько П.Ф., Мороз А.В., Бриль А.О. Сугасний стан будівництва малих гідроелектростанцій в Україні та оцінка технічного потенціалу їх подальшого розвитку// Відновлювана енергетика. 2018. № 4. с. 73-83.
15. Відновлювана енергетика вітрові електростанції. Організація експлуатації та технічного обслуговування. Норми та вимоги. Всеукраїнська енергетична асамблея нормативне та технічне забезпечення енергетичної галузі. www.uwea.com.ua.
16. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Історія становлення, сучасністів та перспективи / За ред. С.О. Кудря. – Київ. ІВЕ. 2020.
17. Морозов Ю.П. Добыча геотермальных ресурсов аккумуляирования теплоты в подземных горизонтах. – Киев.: Наукова Думка. 2017.
18. Мирзоев Р.К., Мирзоева С.М. Перспективы развития альтернативной и возобновляемой энергетики в Азербайджане // Вестник наук. 2022. № 11 (56) Т.1. Энергетика и альтернативная энергия. с. 1-11.

19. Паникян С.Р. Энергетика Армении: сегодня и завтра // Энергетика за рубежом. 2022. № 4. с. 42-45
20. Маркаров А. Давтян В. Развитие возобновляемой энергетики в Армении: вызовы диверсификации // Геоэкономика энергетики. 2021. № 3 (15).
21. Лазарев В.С., Скалабан А.В. Основные мировые научные журналы в помощь в выполнении исследований по проблеме «Возобновляемые источники энергии, местные и вторичные энергоресурсы // Энергетика. Известие высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2016. Т. 59 №5.
22. Бутузов В.А. Возобновляемая энергетика России: научно – технические статьи, материалы конференций, диссертации в 2018 – 2022 годах // СОК (Сантехника, отопление, вентиляция). 2023. № 9.
23. Бутузов В.А., Амерханов Р.А., Григораш О.В. Энергетика на основе возобновляемых источников энергии: подготовка специалистов в российских вузах // Энергосбережение и водоподготовка. 2022. № 3. с. 4-16.
24. Бутузов В.А., Амерханов Р.А., Григораш Р.А., Будников Д.А. Российские научные кадры для энергетики на основе ВИЭ // Энергосбережение и водоподготовка. 2022 №3
25. BMWK. Zeitreihen Erneuerbare Energien. https://www.erneuerbare-energien.de/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zitreihen/Zitreihen.html (zugegriffen 4. Oktober 2022).

References

1. Mezhdunarodnoe agentstvo Irena. E"lektronnyj resurs www.irena.org. Renewable Energy Capacity Statistics 2023 mc-cd 8320d4-36al-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint. [az-ureedge.net-mediaFilesIRENAAgencyPublication2023MarIRENA_RE_Capacity-Statics_2023.pdf](https://www.irena.org/mediaFiles/IRENAAgencyPublication/2023Mar/IRENA_RE_Capacity-Statics_2023.pdf).
2. IEA Mezhdunarodnoe energeticheskoe agentstvo. E"lektronnyj resurs www.iea.gov energy statistics data tools
3. Mezhdunarodnoe ekspertnoe soobshhestvo REN21. E"lektronnyj resurs [ren21_2023_jun_global-status-report-energy-supply.pdf](https://www.ren21.net/2023/jun/global-status-report-energy-supply.pdf).
4. Sistemnyj operator Edinoj E"nergeticheskoy sistemy RF. Otchet o funkcionirovanii EE"S Rossii v 2022 godu. E"lektronnyj resurs www.so.ets.ru.
5. Informacionnyj byulleten ARVE" «Rynok vozobnovlyaemoj energetiki Rossii te-kushhij status i perspektivy razvitiya». M. Iyul. 2022. E"lektronnyj resurs www.irreda.ru.
6. Butuzov V.A. Solnechnaya teplogeneraciya v Rossii. Cifry i fakty E"nergoberezhenie. 2023. 8. s. 42-47.
7. Kreckov V. Belarus i strategiya ekonomii TE"R. E"nergoeffektivnost. 2022. 6. s. 2-5.
8. Oganessov I.A. Gorustovich T.G. Korolevich N.G. O nekotoryx voprosax razvitiya biogazovyx tehnologij v Respublike Belarus. E"nergoeffektivnost. 2020. 6. s. 29-32.
9. TOO «Raschetno-finansovyy centr po podderzhke VIE"». E"lektronnyj resurs www.rfc.kegoc.kz. 9 ShNK 2.04.15.22. Fotoelektricheskie stancii (sistemy). Normy proektirovaniya. Ministerstvo stroitelstva i kommunalnogo xozyajstva RUz. Tash-kent. 2022.
10. Fotoelektricheskie stancii (sistemy). Normy proektirovaniya. ShNK 2.04.15.22 Ministerstvo stroitelstva i kommunalnogo xozyajstva. Tashkent. 2022.
11. Elistratov V.V. Muxammandiev M.M. Kompleksnoe ispolzovanie gidroenergeticheskix istochnikov Uzbekistana v kontekste izmeneniya klimata. Applied Solar Energy. 2023. T. 59. Vyp 1. s. 87-94.

12. Zaxidov R. Kremkov M. Vetroenergeticheskij potencial Uzbekistana. Geliotexnika. 2015. T. 51. 4. s. 336-337.
13. Xilko V.A. Zaxodi pidtrimki vidnovlyuvanoi energetiki v Ukraini Vidnovlyuvaa energetika. 2021. 3 s. 6-17.
14. Vasko P.F. Moroz A.V. Bril A.O. Sugasnij stan budivnicva malix gidroelektras-tancij v Ukraini ta ocipka texnichnogo potencialu ix podalmogo rozvitku Vidnovlyu-vana energetika. 2018. 4. s. 73-83.
15. Vidnovlyuvana energetika vitrovi eletrostantsii organizaciya ekspluatacii ta texnichnogo obslugovuvannya. Normi ta vimoti. Vseukrainska energetichna asambleya normativne ta texnichne zabezpechennya energetichnoi galuzi. www.uwea.com.ua.
16. Institut vidnovlyuvanoi energetiki NAN Ukraini. Istoriya stanovlennya suchasnistiv ta perspektivi Za red. S.O. Kudrya. – Kiiv.IBE. 2020.
17. Morozov Yu.P. Dobycha geotermalnyx resursov akumulirovaniya teploty v podzem-nyx gorizontax. – Kiev. Nazkova Dumka. 2017.
18. Mirzoev R.K. Mirzoeva S.M. Perspektivy razvitiya alternativnoj i vozobnovlyae-moj energetiki v Azerbajdzhane Vestnik nauk. 2022. 11 (56) T.1. E"nergetika i alternativnaya energiya. s. 1-11.
19. Panikyan S.R. E"nergetika Armenii segodnya i zavtra E"nergetika za rubezhom. 2022. 4. s. 42-45
20. Markarov A. Davtyan V. Razvitie vozobnovlyaemoj energetiki v Armenii vyzovy di-versifikacii Geoeconomika energetiki. 2021. 3 (15).
21. Lazarev V.S. Skalaban A.V. Osnovnye mirovye nauchnye zhurnaly v pomoshh v vy-polnenii issledovanij po probleme «Vozobnovlyaemye istochniki energii mestnye i vtorichnye energoresursy E"nergetika. Izvestie vysshix uchebnyx zavedenij i ener-geticheskix obidenij SNG. 2016. T. 59 5.
22. Butuzov V.A. Vozobnovlyaemaya energetika Rossii nauchno – texnicheskie stati mate-rialy konferencij dissertacii v 2018 – 2022 godax SOK (Santexnika otopenie ventilyaciya). 2023. 9.
23. Butuzov V.A. Amerxanov R.A. Grigorash O.V. E"nergetika na osnove vozobnovlyaemyx istochnikov energii podgotovka specialistov v rossijskix vuzax E"nergoberezhenie i vodopodgotovka. 2022. 3. s. 4-16.
24. Butuzov V.A. Amerxanov R.A. Grigorash R.A. Budnikov D.A. Rossijskie nauchnye kadry dlya energetiki na osnove VIE" E"nergoberezhenie i vodopodgotovka. 2022 3
25. BMWK. Zeitreihen Eneuerbare Energien. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in/Zahlen/Zeitreihen/Zeitreihen.html (zugegriffen 4. Oktober 2022).

Electricity generation of the CIS countries based on renewable energy sources in 2022

Butuzov Vitaliy Anatolyevich

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

E-mail: ets@nextmail.ru

Abstract. The results of the development of renewable electricity generation (RE) in the countries of CIS in 2022 are presented, according to the interstate agency IRENA and national operators. The legislative framework, management structure, features of tariff formation, financing and national programs for the development of renewable energy are described. The structure of types of renewable energy in the Commonwealth states and the results of development based on the results of 2022 are shown. Scientific schools and personnel training are described. The need to improve RE statistics is emphasized.

Keywords: renewable electricity generation (RE), national operators, installed capacity, HPP, SPP, WPP, GeoPP, BioPP, laws, national programs, RE structures, statistical reporting, equipment production, scientific support, personnel training.

УДК 911.3:33

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-2-40-60

EDN: HSHNJR

Влияние возобновляемой энергетики на объём и структуру производства и потребления электроэнергии в регионах России

^{1,2}Дегтярев Кирилл Станиславович [0000-0002-1738-6320]^{1,3}Синюгин Олег Анатольевич [0000-0001-5874-4342]¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, РоссияE-mail: ²kir1111@rambler.ru, ³sinyugin.oleg@yandex.ru

Аннотация. Статья включает обзор строительства генерирующих мощностей в возобновляемой электроэнергетике России в 2019 – 2023 гг. Проводится анализ изменения структуры мощностей и выработки электроэнергии по источникам в стране в целом и отдельных её регионах. Выделены регионы, где возобновляемая энергетика имеет максимальную долю в производстве электроэнергии. Для них проведена оценка изменения объёмов и структуры производства и потребления электроэнергии в связи с вводом в эксплуатацию новых ветровых, солнечных и гидроэлектростанций.

Ключевые слова: гидроэлектростанции, ветровые электростанции, солнечные электростанции, производство электроэнергии, потребление электроэнергии, Юг России.

1 Введение

В 2019-2023 гг. в России идёт активное, по сравнению с предыдущими годами, строительство электростанций на основе возобновляемых источников энергии, а в отдельных регионах ВИЭ стали основным источником производимой электроэнергии.

Целью данной работы является оценка влияния возобновляемой энергетики на современном этапе на объёмы и структуру производства и потребления электроэнергии и, в перспективе, на социально-экономическое положение регионов с большим весом ВИЭ в энергетике.

Известно, что существует достаточно сильная положительная корреляция между количеством производимой и потребляемой электроэнергии в стране и его

валовым внутренним продуктом (ВВП). Эта закономерность действует и в отношении регионов России. Наблюдается средняя положительная корреляция – с коэффициент корреляции 0,54 (табл. 1) между производством электроэнергии в субъекте РФ и его валовым региональным продуктом (ВРП) и сильная корреляция с коэффициентом 0,68 между потреблением электроэнергии и ВРП. Ещё более чёткая связь проявляется на уровне федеральных округов – коэффициенты корреляции составляют 0,76 и 0,73 соответственно.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между производством и потреблением электроэнергии в регионе и его ВРП (расчёт автора на основе данных по ВРП [1], производству и потреблению электроэнергии [2] в 2022 году)

Показатель	Производство электроэнергии и ВРП	Потребление электроэнергии и ВРП
Уровень субъектов РФ	0,54	0,68
Уровень федеральных округов	0,76	0,73

В связи с этим существуют ожидания относительно повышения ВРП и улучшения общего социально-экономического положения региона в связи с вводом в эксплуатацию новых энергетических мощностей и увеличением выработки электроэнергии – в том числе, это относится к электростанциям, работающим на основе ВИЭ. Задачей работы является анализ произошедших изменений, на первом этапе – в части объёмов и структуры производства и потребления энергии. В работе на временном интервале с 2018 по 2023 год последовательно рассматривается Россия в целом, ОЭС Юга, где введение в строй новых ГЭС, ВЭС и СЭС происходило наиболее быстрыми темпами, и отдельные субъекты Южного и СКФО в зоне ОЭС Юга, где строительство новых электростанций на основе ВИЭ существенно изменило объёмы и структуру производства электроэнергии.

Информационная основа, используемая в работе – данные Росстата ВРП регионов, производству и потреблению электроэнергии, отчёты АО «СО ЕЭС» о функционировании ЕЭС России, отчёты АРВЭ о развитии возобновляемой энергетики в России, авторские расчёты на основе имеющихся официальных и корпоративных данных.

2 Изменение структуры мощностей и производства электроэнергии в России

До 2017-2018 года солнечные (СЭС) и ветровые (ВЭС) электростанции на территории России находились большей частью в Крыму (где они были построены ещё до 2014 года), а их общая мощность не превышала нескольких сотен МВт. Далее, благодаря принятию комплекса мер поддержки возобновляемой энергетики, к концу 2023 года было построено около 40 ВЭС и 60 СЭС общей мощно-

стью около 4 000 МВт [3]; существенно выросла (хотя и остаётся в целом небольшой) их доля в общей структуре электроэнергетических мощностей и производства электроэнергии (табл. 2); кроме того, несколько активизировались и строительство ГЭС, в том числе – малых ГЭС.

Таблица 2. Доля электростанций разных типов в структуре мощностей и выработки электроэнергии в России, 2018-2023 гг. (по данным [2; 4-9; 10-11; 12])

Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
2018, ситуация на конец года						
Мощности, МВт	164 587	29 132	48 506	184	834	243 243
Доля в общей мощности	67,7%	12,0%	19,9%	0,08%	0,34%	100,0%
Годовое пр-во ЭЭ, ГВтч	681 830	204 357	183 760	218	758	1 070 923
Доля в общем производстве	63,7%	19,1%	17,2%	0,02%	0,07%	100,0%
2021, ситуация на конец года						
Мощности, МВт	163 097	29 543	49 955	2 035	1 961	246 591
Доля в общей мощности	66,1%	12,0%	20,3%	0,83%	0,80%	100,0%
Годовое пр-во ЭЭ, ГВтч	676 908	222 245	209 520	3 622	2 254	1 114 548
Доля в общем производстве	60,7%	19,9%	18,8%	0,32%	0,20%	100,0%
2023, ситуация на конец года						
Мощности, МВт	163 712	29 543	50 223	2 518	2 170	248 165
Доля в общей мощности	66,0%	11,9%	20,2%	1,01%	0,87%	100,0%

Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Годовое пр-во ЭЭ, ГВтч	750 000	217 000	203 000	6 050	2 500	1 178 550
Доля в общем производстве	63,6%	18,4%	17,2%	0,51%	0,21%	100,0%
Прирост (+)/снижение (-) с 2018 по 2023 год, в абсолютных единицах						
Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Мощностей, МВт	-875	411	1 716	2 334	1 335	4 922
Годового пр-ва ЭЭ, ГВтч	68 171	12 643	19 240	5 832	1 742	107 628
Прирост (+)/снижение (-) с 2018 по 2023 год, в %						
Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Мощностей, МВт	-0,5%	1,4%	3,5%	1269%	160%	2,0%
Годового пр-ва ЭЭ, ГВтч	10,0%	6,2%	10,5%	2678%	230%	10,0%
Прирост (+)/снижение (-) с 2018 по 2023 год доли в общей структуре						
Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Мощностей, МВт	-1,7%	-0,1%	0,3%	0,9%	0,5%	0,0%
Годового пр-ва ЭЭ, ГВтч	0,0%	-0,7%	0,1%	0,49%	0,14%	0,0%

По ситуации на 2023 год общая доля ВЭС и СЭС в структуре электроэнергетических мощностей России составила 1,9%, в производстве электроэнергии – 0,7% (табл.1). Учитывая же, что в 2018-2023 гг. в целом электроэнергетические мощности и производство электроэнергии в стране росли невысокими темпами (рост за данный период на 2% и 10% соответственно; табл. 1), доля ВЭС и СЭС в общем росте мощностей составила 75%, а в росте производства электроэнергии – 7%; на ГЭС – соответственно, 35% и 18%.

В целом, структура электроэнергетических мощностей России за 2018-2023 гг. сместилась в сторону неуглеродного сектора – мощности и доля ТЭС несколько снизились – с 67,7% до 66,0% за счёт увеличения доли остальных типов электростанций.

При этом, в структуре производства доля ТЭС практически не снижается (при том, что средний КИУМ ТЭС России составил по итогам 2023 года около 52%, сохраняется резерв дальнейшего роста производства на них, особенно в условиях текущего переизбытка ископаемых углеводородов на внутреннем рынке), а увеличение доли ВЭС и СЭС в производстве произошло за счёт некоторого сокращения доли АЭС – в этом смысле в России обозначается повторение общемировых тенденций [13].

3 Развитие возобновляемой энергетики на Юге России (ОЭС Юга)

Размещение генерации на основе ВИЭ на территории России неравномерно [3]: более 50% всех мощностей СЭС и почти 90% всех мощностей ВЭС России приходится на субъекты Южного и Северо-Кавказского ФО (табл.3) – территорию ОЭС Юга1, где возобновляемая энергетика, включая ВЭС, СЭС и ГЭС, в последние 5 лет росла наиболее высокими темпами.

Наиболее интенсивное строительство пришлось на 2019-2021 год; в 2022 наблюдается резкое замедление роста (с тенденцией к некоторому восстановлению в 2023 году), в значительной степени связанное с текущими политическими обусловленными сложностями, испытываемыми российской возобновляемой энергетикой [3; 14].

Таблица 3. Доля электростанций разных типов в структуре мощностей ОЭС Юга, 2018-2023 гг. (по данным [4-9])

Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
2018, ситуация на конец года						
Мощности, МВт	13 026	4 030	5 943	92	445	23 536
Доля в общей мощности	55,3%	17,1%	25,2%	0,7%	1,9%	100%
2021, ситуация на конец года						
Мощности, МВт	13 834	4 072	6 306	1 943	1 011	27 166

¹ Здесь и далее цифры и данные по ОЭС Юга приводятся без учёта новых субъектов РФ, официально вошедших в состав России в 2022 году.

Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Доля в общей мощности	50,9%	15,0%	23,2%	7,2%	3,7%	100%
2023, ситуация на конец года						
Мощности, МВт	13 817	4 072	6 439	2 223	1 115	27 667
Доля в общей мощности	49,9%	14,7%	23,3%	8,0%	4,0%	100%
Рост мощностей в 2019-2023 гг.						
Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
МВт	+791	+42	+496	+2 131	+670	+4 131
%	+6,1%	+1,0%	+8,3%	+23,6%	+50,1%	+17,6%
Доля ОЭС Юга в общей структуре электроэнергетических мощностей России						
Год	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
2018	7,9%	13,8%	12,3%	50,0%	53,3%	9,7%
2021	8,5%	13,8%	12,6%	95,5%	51,6%	11,0%
2023	8,4%	13,8%	12,8%	88,3%	51,4%	11,1%

Кроме того, в СКФО и ЮФО наращивались и мощности ТЭС; среди наиболее крупных проектов - ввод в эксплуатацию в 2019 году нескольких ТЭС в Крыму общей мощностью более 500 МВт и Грозненской ТЭС №2 мощностью 180 МВт [4-9]. Как следствие, в отличие от остальной части страны, мощности ТЭС на территории ОЭС Юга не уменьшились, а выросли на 6%; при этом их доля в структуре, и ранее меньшая, чем в среднем по России, снизилась до уровня менее 50%, прежде всего, благодаря масштабному строительству ВЭС и СЭС. Если сопоставить увеличение генерирующих мощностей за данный период в целом в России – на 4 922 МВт (табл.1) и ОЭС Юга – на 4 131 МВт (табл.2), получается, что на 84% оно обусловлено увеличением мощностей в данной энергосистеме, в том числе в зоне ОЭС Юга было возведено 91% всех ВЭС (2 131 из 2 334 МВт) и 50% всех СЭС (670 из 1 336 МВт).

В свою очередь, в структуре прироста электрогенерирующих мощностей ОЭС Юга за период 2019-2023 гг. 52% составляют ВЭС, 16% - СЭС и 12% - ГЭС.

Также в системе функционирует единственная, но мощная (4 энергоблока общей мощностью 4000 МВт) Ростовская АЭС, последний энергоблок которой был введен в эксплуатацию в 2018 году.

В то же время, темпы роста производства электроэнергии в системе ОЭС Юга в 2019-2023 гг. росли почти теми же темпами - на 10,9% за весь период, что и в России в среднем 10% (табл. 4) – главным образом, за счёт того, что выработка электроэнергии на ТЭС ОЭС Юга (+5,4% за 2019-2023; табл. 4) росла медленнее,

чем в среднем по России (+10% за тот же период; табл. 2), несмотря на то, что мощности ТЭС ОЭС юга выросли (+6,1% за 2019-2023; табл. 3), а на остальной территории России несколько уменьшились (-1,7% за тот же период, табл. 2).

Также несколько снизилась выработка электроэнергии на ГЭС (за 2019-2023 гг. – на 3,7%), при том, что в среднем по России она выросла на 10,5% (табл. 2) – также несмотря на то, что мощности ГЭС в ОЭС Юга выросли за данный период на 8,3% (табл.2), а в среднем по России – всего на 3,5% (табл. 2).

Несущественный рост выработки на ТЭС и снижение её на ГЭС в ОЭС Юга были компенсированы повышенными темпами роста выработки электроэнергии на АЭС и, главным образом, на ВЭС и СЭС, по сравнению со среднероссийскими показателями (ср. данные табл. 2 и 4).

Таким образом, если в России в целом ведущим фактором увеличения производства электроэнергии в 2018-2023 гг. стало увеличение загрузки ТЭС, то в регионах ОЭС Юга – повышение выработки на ВЭС и СЭС благодаря введению в эксплуатацию большого количества новых станций.

Таблица 4. Доля электростанций разных типов в производстве электроэнергии ОЭС Юга, 2018-2023 гг. (по данным [2; 4-9;10-12])

Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
2018						
Пр-во ЭЭ, ГВтч	52 721	29 370	22 026	126	490	104 731
Доля в общем	50,3%	28,0%	21,0%	0,12%	0,47%	100,0%
2021						
Пр-во ЭЭ, ГВтч	53 811	31 713	20 102	3 392	1 157	110 175
Доля в общем	48,8%	28,8%	18,2%	3,08%	1,05%	100,0%
2023*						
Пр-во ЭЭ, ГВтч	55 542	32 772	21 216	5 295	1 274	116 107
Доля в общем	47,8%	28,2%	18,3%	4,56%	1,10%	100,0%
Рост производства ЭЭ в 2019-2021 гг.						
Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
ГВтч	1 090	2 343	-1 924	3 267	667	5 444
%	2,1%	8,0%	-8,7%	2603%	136%	5,2%
Рост производства ЭЭ в 2019-2023 гг.						
ГВтч	2 821	3 403	-810	5 169	784	11 376
%	5,4%	11,6%	-3,7%	4119%	160%	10,9%
Доля ОЭС Юга в общей структуре производства электроэнергии России						
Год	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
2018	7,7%	14,4%	12,0%	57,6%	64,6%	9,8%

Показатель	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
2021	7,9%	14,3%	9,6%	93,7%	51,3%	9,9%
2023*	7,4%	15,1%	10,5%	87,5%	51,0%	9,9%

*Данные по выработке на ТЭС, АЭС и ГЭС за 2023 год носят расчётный характер – принимаются изменения, пропорциональные изменению мощностей с 2021 года; по ВЭС и СЭС использованы данные АРВЭ за 2023 год [11]; по общему производству электроэнергии – данные Росстата по субъектам Федерации [12].

Суммарная доля ВЭС и СЭС в производстве электроэнергии в ОЭС Юга составляет 5,8% (табл. 4). Доля ТЭС в общей выработке электроэнергии в ОЭС Юга ниже их доли в структуре установленных мощностей (табл. 3). К 2021 году она упала до величины менее 49% (табл. 4), в 2023 году может быть оценена в величину менее 48%.

Структура производства электроэнергии по источникам ОЭС Юга по источникам близка к таковой в странах Западной Европы при в 1,5 раза меньшей выработке электроэнергии на душу населения по сравнению со средней западноевропейской [16]. Различия заключаются в более высокой средней доле АЭС и ГЭС при менее высокой – ВЭС и СЭС.

Интерес представляют и удельные показатели установленной мощности и производства электроэнергии (табл. 5).

Таблица 5. Удельные показатели мощностей и производства электроэнергии на основе ВИЭ (по данным за 2023 год; использованы данные [17])

Показатель	Среднее по субъектам ОЭС Юга	Среднероссийский показатель
Площадь территории, тыс. км ²	618	17 125
Численность населения, тыс. чел.	26 875	146 151
Показатели на единицу площади (плотность размещения мощностей и генерации)		
Мощность ВЭС, кВт/ км ²	3,60	0,15
Мощность СЭС, кВт/ км ²	1,80	0,13
Мощность ГЭС, кВт/ км ²	10,42	2,93
Общая мощность электростанций, кВт/ км ²	44,75	14,49
Пр-во ЭЭ на ВЭС, кВтч/ км ²	8 563	353
Пр-во ЭЭ на СЭС, кВтч/ км ²	2 060	146
Пр-во ЭЭ на ГЭС, кВтч/ км ²	34 314	11 854

Показатель	Среднее по субъектам ОЭС Юга	Среднероссийский по- казатель
Общее производство ЭЭ, кВтч/ км ²	187 791	68 820
Душевые показатели (установленные мощности и производство электроэнер- гии на душу населения)		
Мощность ВЭС, кВт	0,08	0,02
Мощность СЭС, кВт	0,04	0,01
Мощность ГЭС, кВт	0,24	0,34
Общая мощность элек- тростанций, кВт	1,03	1,70
Пр-во ЭЭ на ВЭС, кВтч	197	41
Пр-во ЭЭ на СЭС, кВтч	47	17
Пр-во ЭЭ на ГЭС, кВтч	789	1 389
Общее производство ЭЭ	4 320	8 064
Баланс производства и потребления электроэнергии		
Производство, ГВтч	116 107	1 181 000
Потребление, ГВтч	117 125	1 172 288
Профицит(+)/дефицит(-), ГВтч	-1 018	8 712
Профицит(+)/дефицит(-), %	-0,9%	0,7%

Обращает на себя внимание, что в целом регионы ОЭС Юга (ЮФО и СКФО) отличаются существенно меньшими мощностями (примерно в 1,8 раза) и выработкой (примерно в 1,9 раза) электроэнергии на душу населения по сравнению со средними показателями по России. При этом, существенно ниже и потребление электроэнергии (в целом производство электроэнергии почти равно потреблению, табл. 5), что объясняется менее высоким средним ВРП по регионам ОЭС Юга по сравнению со средними российскими показателями [3] и меньшей долей энергоёмких промышленных производств в экономике.

При этом, поскольку ЮФО и СКФО относятся к наиболее густонаселённым регионам России, густота объектов генерации и плотность производства электроэнергии (на единицу площади) примерно в 3 раза выше, чем в среднем по России (табл. 5). В то же время, они примерно в 4 раза ниже среднего показателя по западноевропейским странам (плотность производства ЭЭ - 800 тыс. кВтч/км²) и даже ниже, чем в Финляндии (более 200 тыс. кВтч/км²) [16], что указывает на наличие резерва площадей для наращивания генерирующих мощностей в регионе, в том числе на основе ВИЭ.

4 Развитие возобновляемой энергетики в отдельных субъектах Юга России

Отдельные субъекты ЮФО и СКФО принципиально различаются в количестве установленных мощностей и объёмах производства электроэнергии. В табл. 6-7 приведены данные за 2018 год – до начала активного строительства ВЭС и СЭС.

Особое положение занимает Ростовская область, где благодаря Ростовской АЭС и ряду мощных ТЭС (прежде всего, Новочеркасская ГРЭС мощностью более 2000 МВт), максимальные и абсолютные, и душевые показатели мощностей и производства – выше средних российских.

На втором месте находится Волгоградская область благодаря Волжской ГЭС мощностью более 2 500 МВт и также ряду крупных ТЭС.

Также относительно развитой энергетикой, основанной, главным образом, на ТЭС, отличаются другие промышленно развитые субъекты: Ставропольский и Краснодарский края и Астраханская область.

В отдельную группу можно выделить два субъекта – республики Дагестан и Карачаево-Черкесию благодаря относительно большой установленной мощности ГЭС и выработке на них электроэнергии; в то же время, эти два региона остаются дефицитными с точки зрения соотношения производства и потребления электроэнергии.

Отдельная ситуация – в Республике Крым, где в 2014 - 2018 гг. в форсированном режиме для преодоления энергетической блокады был возведён ряд ТЭС.

Наконец, выделяется группа субъектов с минимальной энерговооружённостью и максимальным дефицитом производства электроэнергии: республики Адыгея, Калмыкия, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия и Чечня. В случае с Адыгеей, Калмыкией и Ингушетией на 2018 год можно говорить о практическом отсутствии производства электроэнергии в субъекте.

Таблица 6. Установленные электроэнергетические мощности и производство электроэнергии в субъектах РФ, включённых в ОЭС Юга, по состоянию на конец 2018 года

Субъект	Установленные мощности, по итогам 2018 (МВт)					
	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Республика Адыгея	38	0	10	0	0	48
Республика Калмыкия	18	0	0	0	0	18
Республика Крым и г. Севастополь	1 183	0	0	98	296	1 577
Краснодарский край	2 129	0	71	0	0	2 200
Астраханская область	744	0	0	0	135	879
Волгоградская область	1 343	0	2 756	0	25	4 124
Ростовская область	3 098	4 072	212	0	0	7 381
Республика Дагестан	44	0	1 886	0	5	1 935

Субъект	Установленные мощности, по итогам 2018 (МВт)					
	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Республика Ингушетия	0	0	0	0	0	0
Кабардино-Балкарская Республика	0	0	188	0	0	188
Карачаево-Черкесская Республика	24	0	541	0	0	565
Республика Северная Осетия	0	0	111	0	0	111
Чеченская республика	540	0	2	0	0	542
Ставропольский край	4 117	0	242	0	10	4 370

Таблица 7. Удельные показатели мощности и выработки электроэнергии в субъектах ОЭС Юга (2018)

Субъект	Пл., тыс. кв. км	Нас. (2018), тыс. чел.	М-ти ЭС на ед. пл, кВт/кв. км	М-ти ЭС на душу населения, кВт	Пр-во ЭЭ в 2018, млн. кВтч (ГВт ч)	Пр-во ЭЭ на ед. пл, кВтч/кв. км	Пр-во ЭЭ на душу населения, кВтч
Адыгея	8	453	6,1	0,1	164	21 047	362
Калмыкия	75	275	0,2	0,1	117	1 559	423
Крым и г. Севастополь	27	2 350	58,5	0,7	3 040	112 815	1 293
Краснодарский край	75	5 603	29,1	0,4	12 451	164 941	2 222
Астраханская обл.	49	1 018	17,9	0,9	4 218	86 029	4 145
Волгоградская область	113	2 521	36,5	1,6	17 948	159 008	7 119
Ростовская обл.	101	4 220	73,1	1,7	42 341	419 355	10 032
Дагестан	50	3 064	38,5	0,6	4 785	95 182	1 562
Ингушетия	3	488	0,0	0,0	0	0	0
Кабардино-Балкария	12	866	15,1	0,2	481	38 589	556
Карачаево-Черкесия	14	466	39,6	1,2	1 310	91 763	2 810
Северная Осетия	8	702	13,9	0,2	325	40 691	463

Субъект	Пл., тыс. кв.к м	Нас. (2018), тыс.че л.	М-ти ЭС на ед. пл, кВт/кв. км	М- ти ЭС на душ у нас. , кВт	Пр- во ЭЭ в 2018, млн. кВтч (ГВт ч)	Пр-во ЭЭ на ед. пл., кВтч/кв. км	Пр- во ЭЭ на душ у насе л. кВт ч
Чечня	3	1 437	173,5	0,4	9	2 818	6
Ставропольский край	66	2 801	66,0	1,6	18 232	275 574	6 510

С 2019 года энергетика отдельных субъектов ОЭС Юга развивается разнонаправленно. Основная часть прироста мощностей и производства в целом по энергосистеме пришлась на ВИЭ (ВЭС+СЭС+ГЭС; табл. 3-4).

При этом, строительство ТЭС было сконцентрировано в двух субъектах – Республике Крым и Чеченской Республике, а строительство электростанций на основе ВИЭ – в 7 регионах: Адыгее, Калмыкии, Астраханской, Волгоградской и Ростовской областях, Северной Осетии и Ставропольском крае (табл. 8), в каждом из которых было введено более 100 МВт и на которые в совокупности пришлось более 90% всех введённых мощностей ВЭС, СЭС и ГЭС в ОЭС Юга. Это величина около 3,2 ГВт (табл. 8), что составляет почти 60% всех электроэнергетических мощностей на основе ВИЭ, введённых в России в эксплуатацию за 2019-2023 гг. (табл. 2). При этом, наращивание электроэнергетических мощностей в данных субъектах происходило исключительно за счёт ВИЭ.

Далее сдвиги в объёмах и структуре производства и потребления рассматриваются на примере этих 7 регионов.

Таблица 8. Регионы ОЭС Юга с наибольшими введёнными мощностями электрогенерации на основе ВИЭ (МВт) в 2019-2023 гг.

Субъект РФ	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Адыгея	0	150	9	159
Калмыкия	0	217	216	432
Астраханская обл.	0	475	135	610
Волгоградская обл.	0	88	85	173
Ростовская обл.	0	607	0	607
Сев. Осетия	346	0	0	346
Ставр. край	21	730	100	851
ВСЕГО	367	2 267	545	3 179

Данные регионы, в свою очередь, можно разделить на две группы. Первая группа включает Ростовскую область, Волгоградскую область и Ставропольский край, с изначально развитым энергетическим комплексом, представленным АЭС (Ростовская область), крупной ГЭС (Волгоградская область) и крупными ТЭС (все три субъекта). В данном случае строительство новых электростанций на основе ВИЭ не отразилось существенно на структуре мощностей (табл. 9) и объемах выработки электроэнергии (табл. 10).

Таблица 9. Изменение структуры генерирующих мощностей по субъектам с 2018 по 2023 г.

Субъект	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Установленные мощности, по итогам 2018 (МВт)						
Адыгея	38	0	10	0	0	48
Калмыкия	18	0	0	0	0	18
Астраханская обл.	744	0	0	0	135	879
Волгоградская обл.	1 343	0	2 756	0	25	4 124
Ростовская обл.	3 098	4 072	212	0	0	7 381
Сев. Осетия	0	0	111	0	0	111
Ставр. край	4 117	0	242	0	10	4 370
Структура установленных мощностей по итогам 2018 года, %						
Адыгея	79,4%	0,0%	20,6%	0,0%	0,0%	100,0%
Калмыкия	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Астраханская обл.	84,6%	0,0%	0,0%	0,0%	15,4%	100,0%
Волгоградская обл.	32,6%	0,0%	66,8%	0,0%	0,6%	100,0%
Ростовская обл.	42,0%	55,2%	2,9%	0,0%	0,0%	100,0%
Сев. Осетия	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Ставр. край	94,2%	0,0%	5,5%	0,0%	0,2%	100,0%
Установленные мощности, по итогам 2023 (МВт)						
Адыгея	38	0	10	150	9	207
Калмыкия	18	0	0	217	216	450
Астраханская обл.	744	0	0	475	270	1 489
Волгоградская обл.	1 343	0	2 756	88	110	4 297
Ростовская обл.	3 098	4 072	212	607	0	7 989
Сев. Осетия	0	0	457	0	0	457
Ставр.край	4 117	0	264	730	110	5 221
Структура установленных мощностей по итогам 2023 года, %						

Субъект	ТЭС	АЭС	ГЭС	ВЭС	СЭС	Всего
Адыгея	18,3%	0,0%	4,8%	72,6%	4,3%	207
Калмыкия	4,0%	0,0%	0,0%	48,1%	47,9%	450
Астрахан- ская обл.	50,0%	0,0%	0,0%	31,9%	18,1%	1 489
Волгоград- ская обл.	31,3%	0,0%	64,1%	2,1%	2,6%	4 297
Ростовская обл.	38,8%	51,0%	2,6%	7,6%	0,0%	7 989
Сев. Осетия	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	457
Ставр. край	78,9%	0,0%	5,1%	14,0%	2,1%	5 221

Вторая группа включает республики Адыгею, Калмыкию и Северную Осетию, где введение в эксплуатацию ВЭС и СЭС (Адыгея, Калмыкия) и ГЭС (Северная Осетия) означало кардинальный количественный и качественный сдвиг в энергетике. В случае с Адыгеей и Калмыкией можно говорить о создании практически «с нуля» энергетического комплекса, почти полностью основанного на ВИЭ, в случае с Северной Осетией – о более, чем 4-кратном увеличении мощностей ГЭС (хотя следует отметить, что это связано с запуском всего одной Зарамагской ГЭС-1 мощностью 346 МВт в 2019 году).

При этом, с 2018 по 2023 год резко увеличение производство электроэнергии (табл.10) в Калмыкии – более, чем в 8 раз, в Адыгее – почти в 3,4 раза, и в Северной Осетии – в 2,5 раза.

Промежуточное положение занимает Астраханская область, где строительство новых ВЭС и СЭС существенно изменило структуру производственных мощностей (табл. 10), но не привело к повышению выработки электроэнергии по итогам 2018-2023.

Если рассмотреть ввод новых мощностей и производство электроэнергии в динамике (табл. 10), то видно, что все регионы отличает увеличение производства электроэнергии после масштабных вводов новых мощностей, определившее общий заметный рост по ОЭС Юга в целом.

В частности, производство электроэнергии заметно выросло в Астраханской, Волгоградской и Ростовской областях в 2022 году по сравнению с 2021 годом после введения в строй основной части ВЭС и СЭС регионов (табл. 10), а в Ставропольском крае масштабное строительство ВЭС совпадает с переломом тенденции снижения производства электроэнергии и возобновлением его роста.

Однако устойчивый, более того – многократный, рост выработки по итогам периода, который можно полностью увязать со строительством новых электростанций на основе ВИЭ, характерен только для трёх регионов второй группы – Адыгеи, Калмыкии и Северной Осетии.

Таблица 10. Динамика ввода мощностей и производства электроэнергии в 2018-2023 гг.

Регион	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Введение новых мощностей (МВт)							
Адыгея		0	154	5	0	0	159
Калмыкия		30	287	78	38	0	432
Астраханская обл.		105	30	475*	0	0	610
Волгоградская обл.		0	40*	133*	0	0	173
Ростовская обл.		0	347*	260*	0	0	607
Северная Осетия		346	0	0	0	0	346
Ставропольский край		75	160	320*	60	236*	851
Всего по 7 субъектам		556	1 018	1 272	98	236	3 179
ОЭС Юга, всего		1 324	1 018	1 137	141	326	3 946
Производство электроэнергии, ГВтч							
Регион	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Рост с 2018 по 2023, %
Адыгея	164	161	372	504	548	551	235,9%
Калмыкия	117	121	227	837	977	997	756,1%
Астраханская обл.	4 218	4 303	4 358	4 086	4 407*	4 238	0,5%
Волгоградская обл.	17 948	16 895	18 532	16 015	17 043*	16 565	-7,7%
Ростовская обл.	42 341	44 562	43 033	44 609	48 703*	47 627	12,5%
Северная Осетия	325	296	763*	812	752	818	151,8%
Ставропольский край	18 232	13 987	12 617	17 433*	17 166	17 589*	-3,5%
Всего по 7 субъектам	83 344	80 325	79 900	84 296	89 595	88 385	6,0%
ОЭС Юга, всего	105 420	104 055	103 924	111 119	116 513*	116 107	10,1%

*Заметное увеличение производства в текущем году по сравнению с предыдущим годом после масштабного введения в эксплуатацию новых мощностей ВИЭ.

5 Изменение объёма и структуры потребления электроэнергии в отдельных субъектах Юга России

В отношении данных регионов представляет интерес рассмотреть, наряду с производством, изменение объёмов и структуры потребления электроэнергии.

Ниже основные направления потребления энергии разбиты следующим образом:

- Промышленность (добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений);
- Прочее экономическое использование (сельское хозяйство, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; строительство, торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов, транспортировка и хранение, деятельность в области информации и связи и другие виды экономической деятельности);
- Потребление электроэнергии населением;
- Потери в электросетях.

По всем трём регионам к 2023 году по сравнению с 2018 годом наблюдается рост потребления электроэнергии, при этом в Калмыкии и Адыгее он в несколько раз выше средних показателей по субъектам ОЭС Юга и России в целом (табл. 11). При этом Калмыкия превратилась по электроэнергии превратилась из энергодефицитного в энергопрофицитный регион (тогда, как ОЭС Юга в целом в данный период из-за существенного роста потребления электроэнергии прежде всего в Северо-Кавказском Федеральном округе, напротив, столкнулась с небольшим энергодефицитом), а Адыгея и Северная Осетия сократили дефицит.

Таблица 11. Изменение структуры и объёмов потребления электроэнергии в отдельных субъектах юга России в 2018 – 2023 гг. (на основе данных [2])

Показатель	Адыгея	Калмыкия	Сев. Осетия		ОЭС Юга	Россия
2018 год						
Пр-во ЭЭ, ГВтч	164	117	325		105 420	1 070 922
Потр. ЭЭ, в т.ч.:	1 446	537	1 466		98 554	1 055 600
Промышленность	386	52	535		34 490	558 059
Прочее использование	390	148	166		24 392	247 557
Население	404	187	512		23 550	151 753
Душевое потребление населением, кВтч	892	677	730		897	1 033
Потери в сетях	266	151	254		16 121	98 230
Профицит/дефицит, ГВтч	-1 282	-421	-1 141		6 866	15 322
Отношение производства к потреблению, %	11%	22%	22%		107%	101%
2023 год						

Показатель	Адыгея	Калмыкия	Сев. Осетия		ОЭС Юга	Россия
Производство ЭЭ, ГВтч	551	997	818		116 107	1 178 550
Потребление электроэнергии, в т.ч.:	2 039	924	1 675		117 125	1 172 288
Промышленность	602	56	503		37 325	609 963
Прочее использование	697	434	332		31 321	280 900
Население	528	201	620		30 677	183 969
Потери в сетях	211	233	220		17 802	97 456
<i>Душевое потребление населением, кВтч</i>	<i>1 055</i>	<i>752</i>	<i>913</i>		<i>1 141</i>	<i>1 259</i>
Профицит/дефицит, ГВтч	-1 488	73	-857		-1 017	6 262
Отношение производства к потреблению, %	27%	108%	49%		99%	101%
Рост с 2018 по 2023, %						
Пр-ва ЭЭ	235,9%	756,1%	151,8%		10,1%	10,1%
Потр-ия ЭЭ, в т.ч.:	41,0%	72,0%	14,2%		18,8%	11,1%
Промышленность	56,0%	8,1%	-5,9%		8,2%	9,3%
Прочее использование	78,9%	193,2%	100,6%		28,4%	13,5%
Население	30,6%	7,5%	21,0%		30,3%	21,2%
<i>Рост душевого потребления населением</i>	<i>18,3%</i>	<i>11,0%</i>	<i>25,1%</i>		<i>27,3%</i>	<i>21,8%</i>
Потерь в сетях	-20,7%	54,6%	-13,3%		10,4%	-0,8%

Основными локомотивами роста энергопотребления стали в Адыгее – промышленность и «другие виды экономической деятельности» [2], в Калмыкии – «транспорт и хранение» [2], в Северной Осетии рост потребления распределён относительно равномерно по разным направлениям в рамках прочего экономического использования.

В случае с Адыгеей опережающий рост потребления связан, вероятно, с развитием туристическо-рекреационной инфраструктуры, в Калмыкии рост за счёт «транспорта и хранения» - с работой Каспийского трубопроводного консорциума, являющегося оператором проходящего через территорию республики нефтепровода «Тенгиз – Новороссийск», однако данные вопросы являются предметом отдельных исследований.

В то же время, обращает на себя внимание, что душевое потребление энергии во всех трёх республиках выросло в меньшей степени, чем в среднем по России и ОЭС Юга (и остаётся существенно ниже средних российских показателей), что косвенно указывает на отсутствие на данный момент связи новых энергетических мощностей на основе ВИЭ с ростом благосостояния населения. Однако детальный анализ социально-экономических трансформаций в регионах в связи с возведением новых объектов на основе ВИЭ является объектом исследований на следующих стадиях.

6 Выводы

В настоящее время строительство ветровых и солнечных электростанций в России находится в начальной стадии и носит преимущественно очаговый характер.

В России в 2018-2023 гг. идёт активное, по сравнению с предыдущими годами, строительство ВЭС, СЭС и ГЭС. За данный период в стране было возведено около 3700 МВт солнечных и ветровых электроэнергетических мощностей и более 1700 МВт гидроэлектростанций. Практически весь прирост мощностей в электроэнергетике России за 5 лет, начиная с 2019 года, пришёлся на возобновляемую энергетику. При некотором сокращении мощностей ТЭС и незначительном росте мощностей АЭС за период именно благодаря введению в эксплуатацию электростанций, работающих на основе ВИЭ общие генерирующие мощности в стране выросли примерно на 2%, или более 4900 МВт.

При этом, рост производства электроэнергии примерно на 10% за данный отрезок времени был связан в наибольшей степени с увеличением выработки на ТЭС, где, в то же время, сохраняется низкий (порядка 52%) среднегодовой КИУМ.

По итогам 2018 – 2023 гг. совокупная доля ВЭС и СЭС в структуре электроэнергетических мощностей России выросла с 0,4% до 1,9%, в производстве электроэнергии – с 0,07% до 0,7%; доля ГЭС осталась практически неизменной – соответственно, 20% и 17%.

Строительство новых мощностей ВЭС и СЭС распределено по территории страны неравномерно. Выделяется ОЭС Юга (территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов), где процесс шёл наиболее быстрыми темпами и по ситуации на конец 2023 года сконцентрировано почти 90% всех мощностей ВЭС и более 50% всех мощностей СЭС.

По итогам 2023 в структуре электроэнергетических мощностей ОЭС Юга на долю ВЭС и СЭС пришлось 12% (8% - ВЭС и 4% - СЭС), в структуре производства электроэнергии – 5,7% (соответственно, 4,6% и 1,1%). Доля ТЭС в структуре мощностей и производства ОЭС Юга снизилась до уровня менее 50%, и по структуре производства электроэнергии по источникам ОЭС Юга на данный момент близка к средним показате

В отличие от России в целом, в зоне ОЭС Юга с 2018 по 2023 год основная часть не только прироста мощностей, но и увеличения выработки электроэнергии

(также в целом около 10%) пришлось на ВИЭ, несмотря на то, что в этот период в ОЭС Юга мощности ТЭС также наращивались.

В свою очередь, в пределах ОЭС Юга выделяются 7 субъектов, на которые приходится более 90% (почти 3200 МВт) построенных в данный период генерирующих мощностей на основе ВИЭ: Ставропольский край, Ростовская область, Астраханская область, Республика Калмыкия, Республика Северная Осетия, Волгоградская область, Республика Адыгея.

Среди них можно выделить три субъекта, где строительство новых электростанций означало кардинальный сдвиг в объёмах и структуре производства электроэнергии: республики Адыгея, Калмыкия и Северная Осетия. Во всех трёх случаях произошло многократное наращивание электроэнергетических мощностей и производства электроэнергии, а доля ВИЭ в структуре выработки электроэнергии в данных регионах составила почти 100%.

Одновременно в большей степени, по сравнению со средними показателями по ОЭС Юга и России в целом, выросло потребление электроэнергии в республиках. В то же время нет достаточных оснований для утверждений, что этот рост обусловлен введением новых электроэнергетических мощностей, а не энергоёмкими проектами, осуществляемыми независимо от строительства ВЭС, ГЭС и СЭС в данных регионах. Кроме того, потребление электроэнергии населением Калмыкии, Адыгеи и Северной Осетии выросло не в большей степени, чем в среднем по России и по ОЭС Юга, что косвенно указывает на отсутствие на данный момент связи между запуском новых электростанций и ростом благосостояния населения в регионе.

Литература

1. Росстат. Валовой региональный продукт в основных ценах. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/61497>. Дата обращения 24.06.2024.
2. Росстат. Производство и потребление электроэнергии в Российской Федерации. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/33942>. Дата обращения 24.06.2024.
3. Дегтярев К.С., Синюгин О.А. Территориальная организация возобновляемой электроэнергетики России // Окружающая среда и энерговедение. – 2024. - №1. – с. 36-50.
4. Системный оператор Единой энергетической системы. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2018 году.
5. Системный оператор Единой энергетической системы. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году.
6. Системный оператор Единой энергетической системы. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 году.
7. Системный оператор Единой энергетической системы. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2021 году.
8. Системный оператор Единой энергетической системы. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году.
9. Системный оператор Единой энергетической системы. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году.
10. Ассоциация развития возобновляемой энергетики. 2022. Годовой отчет.
11. Ассоциация развития возобновляемой энергетики. 2023. Годовой отчет.

12. Выработка электроэнергии в России в 2023 году выросла на 0,7%. URL: <https://tass.ru/ekonomika/19869375> Дата обращения 24.06.2024.
13. Дегтярев К. С. Динамика мирового энергопотребления в XX–XXI вв. и прогноз до 2100 года // Окружающая среда и энергоснабжение. — 2020. — № 2. — С. 35–48.
14. Prospects of low-carbon development in Russia: the role of renewable energy and challenges of sanctions / L. Nefedova, D. Solov'yev, M. Berezkin, K. Degtyarev // E3S Web of Conferences. — 2023. — Vol. 461. — P. 01049.
15. Карта-схема размещения линий электропередачи, подстанций напряжением 220 кВ и выше и электростанций ОЭС Юга на 2022 – 2028 годы. URL: <https://energybase.ru/map/map-substations-powerplants-south>. Дата обращения 24.06.2024.
16. Синюгин О. А., Дегтярев К. С. Зональные факторы развития возобновляемой энергетики на примере Западной Европы // Окружающая среда и энергоснабжение. — 2023. — № 1. — С. 28–43.
17. Росстат. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13205>. Дата обращения 24.06.2024.

References

1. Russian Federal Service for State Statistics. Gross Regional Product. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/61497>. Access 24.06.2024.
2. Russian Federal Service for State Statistics. Electricity production and consumption in Russian Federation. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/33942>. Access 24.06.2024.
3. Degtyarev K.S., Sinyugin O.A. Territorial Design of Renewable Power Industry of Russia // Journal of Environmental Earth and Energy Study. – 2024. – №1. – p. 36–50.
4. System Operator of the United Energy System. Report on the functioning UES of Russia in 2018.
5. System Operator of the United Energy System. Report on the functioning UES of Russia in 2019.
6. System Operator of the United Energy System. Report on the functioning UES of Russia in 2020.
7. System Operator of the United Energy System. Report on the functioning UES of Russia in 2021.
8. System Operator of the United Energy System. Report on the functioning UES of Russia in 2022.
9. System Operator of the United Energy System. Report on the functioning UES of Russia in 2023.
10. Russia Renewable Energy Development Association. 2022. Annual Report.
11. Russia Renewable Energy Development Association. 2023. Annual Report.
12. Electricity Production in Russia in 2023 Grew by 0.7%. URL: <https://tass.ru/ekonomika/19869375> Access 24.06.2024.
13. Degtyarev K.S. Dynamics of the World Energy Supply in XX–XXI and 2100 Outlook // Journal of Environmental Earth and Energy Study. — 2020. — № 2. — p. 35–48.
14. Prospects of Low-Carbon Development in Russia: the Role of Renewable Energy and Challenges of Sanctions / L. Nefedova, D. Solov'yev, M. Berezkin, K. Degtyarev // E3S Web of Conferences. — 2023. — Vol. 461. — P. 01049.

15. Map of Power Transmission Lines, Substation of 220 kV and above, and Power Plants of South UES for 2022-2028. URL: <https://energybase.ru/map/map-substations-powerplants-south>. Дата обращения 24.06.2024.
16. Sinyugin O.A., Degtyarev K.S. Zonal Drivers of Renewable Energy on the Example of Western Europe // Journal of Environmental Earth and Energy Study. — 2023. — № 1. — С. 28–43.
17. Russian Federal Service for State Statistics. Regions of Russia. The Main Characteristics of the Subjects of Russian Federation. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13205>. Access 24.06.2024.

Impact of Renewable Energy on the Volume and Structure of Electricity Production and Consumption in the Regions of Russia

^{1,2}Kirill Degtyarev, ^{1,3}Oleg Sinyugin,

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: ²kir1111@rambler.ru, ³sinyugin.oleg@yandex.ru

Abstract. The article includes a review of creating the new renewable electricity capacities in Russia within 2019-2023. The work presents an analysis of electricity capacities and production volume and structural changes by energy sources in the country as a whole and its separate regions. There was distinguished the regions where renewable energy had the maximal weight in capacity and electricity production. For those regions there were evaluated the changes in volume and structure of electricity production and consumption considering launch of the new wind, solar, and hydro capacities.

Keywords: hydro power plants, wind power plants, solar power plants, electricity production, electricity consumption, South of Russia.

УДК 621.3

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-2-61-78

EDN: NIAVNO

Парусные энергетические установки морского базирования: география использования

^{1,2} Залиханов Алим Михайлович^[0000-0002-2540-6045]^{1,3} Чекарев Константин Владимирович^[0000-0002-5140-5142],¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, РоссияE-mail: ²bulungu@yandex.ru, ³konstantintchekarev@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 установок с ветроколесом с горизонтальной осью вращения. Предложены варианты парусных энергетических установок, которые преобразуют энергию ветрового потока в энергию водного потока, который используется для производства электроэнергии, что позволяет уменьшить размеры преобразователя энергии. Установки содержат катамаран, симметричный относительно носа и кормы, к корпусам которого снизу прикреплен гидрогенератор, выполненный в виде крыльчатки и электрогенератора. Предложено несколько вариантов организации движения катамарана, позволяющих автоматизировать перемещения катамарана и повысить эффективность преобразования энергии ветрового потока. Конструктивные особенности парусных энергетических установок морского базирования позволяют расширить спектр решаемых задач и географическую область использования ветроэнергетических установок. В данной статье найдены основы определения областей использования парусных ветроэнергетических установок и с их помощью определены географические области использования парусных установок морского базирования.

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

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. 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.

Энергетические установки с ветроколесом с горизонтальной осью вращения в настоящий момент являются самыми эффективными преобразователями энергии ветрового потока. Они устанавливаются как на суше, так и вблизи морского берега. Чтобы расширить область использования ветроэнергетических установок были разработаны плавающие ветроэнергетические установки. Для обеспечения устойчивости они устанавливаются на платформе, оборудованной вертикальными колоннами со статическим и динамическим балластом, что приводит к удорожанию конструкции.

2 Особенности парусных энергетических установок

Для расширения области использования морских ветроэнергетических установок необходимо разработать более простые и экономичные установки. Для этого предлагается использовать парусные энергетические установки, в частности, установки, преобразующие энергию ветрового потока в энергию потока воды обтекающего парусное судно. Такие установки имеют меньшую эффективность преобразования ветрового потока, поскольку они должны расходовать часть ветровой энергии на собственное перемещение, но их конструктивные особенности позволяют расширить область использования ветроэнергетических установок. Они могут применяться в тех районах, где ветроэнергетические установки традиционного типа не могут быть установлены, или их строительство экономически не выгодно. Кроме этого парусные энергетические установки позволяют расширить спектр задач, решаемых с помощью энергии ветра.

Предлагаются различные варианты парусных энергетических установок морского базирования. Конструкция предлагаемых вариантов существенным образом зависит от цели производства электроэнергии. Если электроэнергия производится для внутреннего использования, то парусные энергетические установки могут быть созданы на базе существующих конструкций. Например, был предложен способ и конструкция парусной установки для получения водорода [2].

Энергоустановка включает конструкцию в виде парусного катамарана, снабженного гидравлической турбиной, сочлененной с гидрогенератором. На катамаране установлена система получения водорода путем электролиза морской воды.

При движении катамарана установленная на нем турбина начинает вращаться потоком воды, при этом вырабатываемое электрогенератором электроэнергия поступает на электролизер, где происходит разложение морской воды на водород и кислород. Полученный водород по трубопроводу поступает в криогенную установку, где он сжижается и закачивается баллоны, которые передаются потребителю. Подобная конструкция парусной энергетической установки была реализована в проекте Energy Observer [3]. Был построен катамаран с двумя мачтами, на котором были установлены два электрических двигателя. При движении под парусами электродвигатели переходили в режим генерирования. Вырабатываемая ими электроэнергия для короткого хранения направлялась в аккумуляторы, а для длительного хранения использовалась для получения жидкого водорода.

Производство электроэнергии для внешнего потребителя требует разработки специальных конструкций морских парусных энергетических установок. Был предложен вариант ветроэнергетической морской установки повышенной мощности, где система жестких парусов, выполненная в виде вертикальных лопастей, удерживается на поверхности воды кольцевым понтоном, который вращается вокруг вертикальной оси [4]. 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.

Предложены варианты парусной энергетической установки, позволяющие снять проблему больших размеров преобразователя энергии ветрового потока и проблему устойчивости волновому воздействию [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 (Рис. 1).

Движение по дуговой траектории может быть автоматическим [7,8]. Вариант парусной энергетической установки [7] позволяет повысить эффективность использования энергии ветрового потока за счет задания области перемещения катамарана, в которой он все время движется курсом, близким к курсу галфвинд. Предложен вариант парусной установки, в котором повышается эффективность преобразования энергии ветрового потока за счет организации автоматического движения катамарана в заданной области перемещений (Рис. 2) [7].

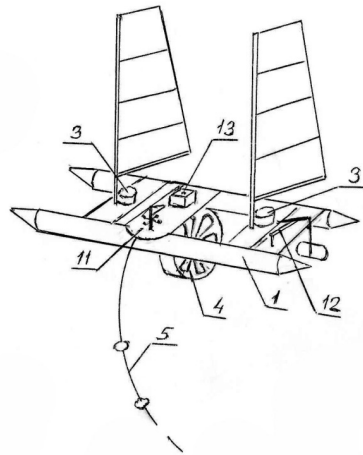


Рис. 1. Схема катамарана, выполненного в виде конструкции, симметрично относительно носа и кормы. (На схеме: 1- катамаран; 3 – система изменения положения парусов; 4 – крыльчатка электрогенератора; 5 – электрический кабель; 11 – датчик скорости и направления ветра; 12 – автопилот; 13 – система управления автоматическим движением катамарана).

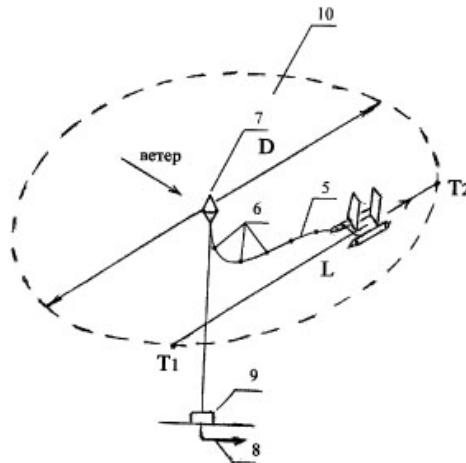


Рис. 2. Схема парусной установки, в которой катамаран движется с курсом с наибольшей эффективностью использования ветровой энергии. (На схеме: 5 – электрический кабель; 6 – система поплавков на электрическом кабеле; 7 – буй в центре круга с диаметром D , ограничивающим область 10 движения катамарана; 8 – кабель к внешнему потребителю электроэнергии; 9 – груз на морском дне; $T1$ и $T2$ – точки, между которыми движется катамаран по хорде L , перпендикулярной направлению ветра).

Катамаран перемещается в заданной области между точками T1 и T2, курсом перпендикулярно ветровому потоку при любом направлении ветра.

Конструктивные особенности этого варианта парусной энергетической установки позволяет расширить область использования ветроэнергетических установок и круг задач, решаемых с помощью энергии ветрового потока.

3 Методика проведения исследования

Строительство ветроэнергетических установок подчинено стандартам, в частности, СТО 70238424.27.100.059-2009 «Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования», в которых учитываются как технические требования к самим установкам, так и к местам их строительства [12]. Окончательные параметры, определяющие возможность использования парусных энергетических установок в конкретном районе можно будет определить после создания и исследования работы опытных образцов парусных энергетических установок.

В процессе экспериментального исследования на макетах морских парусных энергетических установок были определены их основные конструктивные особенности, которые учитывались при оценке областей их возможного использования.

К ним относятся следующие особенности:

- 1) Модульность конструкции, обеспечивающая возможность изменять технические параметры, например, варьировать мощность в зависимости от предъявляемых требований;
- 2) Автоматическая работа всех устройств, входящих в состав установки;
- 3) Удобная логистика, обусловленная простотой и модульностью конструкции;

Конструкции парусных энергетических установок существенным образом зависят от целей производства электроэнергии:

а) при выработке электроэнергии для внутреннего использования, парусные энергетические установки могут быть созданы на базе существующих конструкций;

б) при выработке электроэнергии и передаче её внешнему потребителю необходима разработка специальных энергетических конструкций, вариант которой представлен на рис. 2 [7].

Конструкция парусных энергетических установок зависит, так же, от специфики задач для которых осуществляется выработка электроэнергии:

- для снабжения электроэнергией при проведении сезонных работ;
- установка в местах, в которых традиционно не размещались ветроэнергетические установки, например, на водоемах внутри тропических атоллов, на озерах, водохранилищах, крупных реках и т.д.;
- для разового снабжения электричеством в случае необходимости, например, при стоянке судна на якоре. В этом случае установка легко собирается на судне,

опускается в воду и начинает вырабатывать электроэнергию, которая поступает на судно;

Модульность сборки катамарана позволяет создавать энергетические установки для решения разного типа задач.

При оценке территорий возможного использования морских парусных энергетических установок, необходимо учитывать географические особенности районов, к которым относятся:

- 1) Наличие достаточного для работы установки ветрового потенциала;
- 2) Характеристики ветрового и волнового режимов района работы установки обеспечивающей безопасность работы парусной установки;
- 3) Наличие потенциальных потребителей вырабатываемой электроэнергии.

Вырабатываемая парусными энергетическими установками электроэнергия может использоваться, в частности, для производства на катамаране водорода для последующего использования, что определяет организацию работы парусной энергетической установки и её привязку к географической местности. В случае производства водорода область использования парусных энергетических установок определяется только соображениями ветрового потенциала территории и удобства передачи готовой продукции потребителю.

Важными характеристиками районов использования морских парусных ветро-энергетических установок являются такие гидрометеорологические параметры как сила, направление, устойчивость ветра и характеристики волн – высота, период, длина. Из-за особенностей конструкций и размеров установок, ограничивающим факторами являются скорости ветра выше 20 м/с и волны выше 2-3 м. Однако, некоторые технические решения, например, такие как использование систем изменения площади парусов и др., позволяют расширить территории использования данных установок.

Географические параметры, определяющие область использования парусных энергетических установок морского базирования, должны учитываться на основе совокупности найденных параметров.

4 Ветровые и волновые условия некоторых районов Мирового океана

На основе этого подхода были определены географические районы возможного использования парусных энергетических установок морского базирования.

Принимая во внимание обширность водных пространств Земли, на первом этапе необходимо рассмотреть характеристики больших водных территорий. Возможность использования парусных энергетических установок в каком-то конкретном районе должно проводиться в совокупности с вышеуказанными параметрами.

С учетом объективных ограничений, таких как невозможность использования при сильном волнении, сильных порывах ветра или при длительных штилях, рассматриваемые ветроэнергетические установки могут широко использоваться на

морях и океанах в различных географических зонах и в различные сезоны, используя наиболее приемлемые для функционирования парусных энергоустановок параметры, так как гидрометеорологические параметры, которые даже в пределах достаточно небольших морей могут сильно отличаться.

Определение географических областей использования парусных энергетических установок можно рассмотреть на примере Атлантического океана. Для Тихого и Индийского океанов методика изучения будет аналогичной.

Атлантический океан простирается от Северного полярного круга до Антарктиды, пересекая почти все климатические зоны Земли. Режимы ветров и волнения существенно изменяются в различных районах, особенно при движении в широтном направлении [11]. Показательны гидрометеорологические параметры, особенно распределение ветров и волнения в течении года. На Рис. 3 представлена схема зон и районов Атлантического океана.

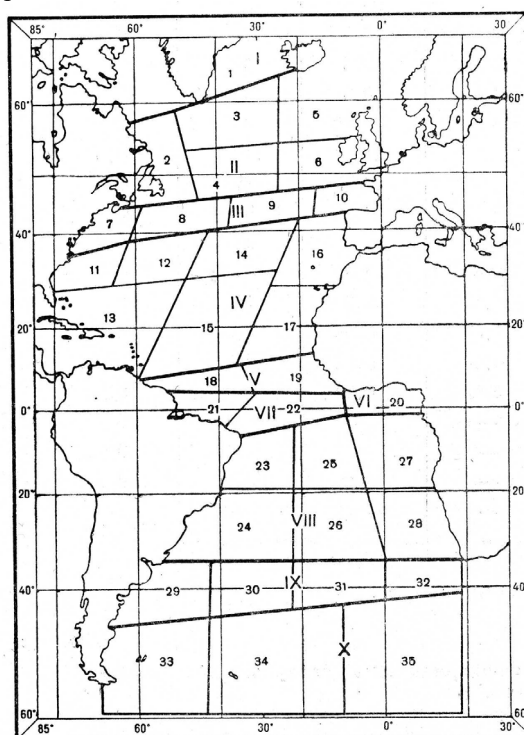


Рис. 3. Схема зон и районов Атлантического океана. (Зоны северного полушария: I – полярная; II – умеренная; III- субтропическая; IV- тропическая; V – экваториально-тропическая муссонов; VI – экваториальная зона; зоны южного полушария: VII – экваториально-тропическая муссонов; VIII – тропическая; IX – субтропическая; X – умеренная. (арабскими цифрами обозначены районы)) [11].

В полярной зоне Атлантического океана в зимний период из-за большого числа циклонов, ветров северных румбов и, особенно, высоких скоростей ветра

– среднемесячные скорости ветра зимой 12-13 м/с и максимальные до 49 м/с, создаются неблагоприятные условия для мореплавания и другой хозяйственной деятельности. Однако летом ветровой режим сильно отличается от зимнего: среднемесячные скорости ветра составляют 7 м/с, преобладающими становятся ветры средних скоростей – 5-10 м/с, а повторяемость штормов уменьшается до минимума (3 %). Кроме того, в летний период высота волн так же, уменьшается и в 70-80 % случаев составляет меньше 2 м. В таблице 1 приведены повторяемость и обеспеченность скоростей ветра для полярной зоны Атлантического океана. По данным таблицы видно резкое усиление ветра с началом осеннего периода и дальнейшее усиление в зимние месяцы. В этой зоне характерно намерзание льда на морских судах, особенно в зимний период. Это явление сильно затрудняет навигацию небольших судов и, часто, может представлять опасность для них.

Таблица 1. Повторяемость *P* и обеспеченность *F* скоростей ветра для полярной зоны (северного полушария) Атлантического океана, %. [11]

Скорость ветра, м/с	Месяцы (сезон)							
	XII-II		III-V		VI-VIII		IX-XI	
	P	F	P	F	P	F	P	F
Штиль*	1	100	1	100	1	100	1	100
<2	1	99	3	99	3	99	2	99
2-4	3	98	9	96	13	96	7	97
4-6	6	95	14	87	23	83,5	13	90
6-8	10	89	15	73	21,5	60,5	15	77
8-10	10,5	79	16	58	18	39	16	62
10-12	11,5	68,5	13	42	11	21	14	46,5
12-14	13	57	11	39	7	10	12,5	32,5
14-16	10	44	7	18	2	3	9	20
16-18	9	34	5	11	0,5	1	5,5	11,5
18-20	8	25	3	6	0,3	0,5	3,5	7,5
20-22	6	17	1,3	3	0,12	0,2	1	3
22-24	4	11	1	1,7	0,04	0,08	1,3	2
24-26	3	7	0,3	0,7	0,02	0,04	0,3	0,7
26-28	2	4	0,2	0,4	0,02	0,02	0,2	0,4
28-30	1	2	0,1	0,2	-	-	0,08	0,2
30-32	0,4	1	0,045	0,1	-	-	0,06	0,12
32-34	0,28	0,6	0,035	0,055	-	-	0,06	0,06
34-36	0,2	0,32	0,02	0,02	-	-	-	-
>36	0,12	0,12	-	-	-	-	-	-

*здесь и далее под штилем понимается скорость ветра 0,5 м/с и менее

Для умеренной зоны Атлантического океана в северном полушарии характерны другие условия ветрового режима – преобладание потоков западных рум-

бов в течении всего года и высокие скорости ветров. Однако, зимой средние скорости ветра равны 10-11 м/с при практическом отсутствии слабых ветров (0-5 м/с) и частых штормах – повторяемость штормов до 35%. Летом большая часть умеренной зоны находится под воздействием периферии Азорского максимума, поэтому преобладающими становятся юго-западные и южные ветра со скоростями 5-6 м/с. Значительно уменьшается количество штормов. В ряде районов этой зоны в летний период наблюдаются штили. Например, в зоне 4 (см. рис. 1) умеренной зоны в летний период наблюдаются штили и периоды со слабыми ветрами повторяемостью до 30 % [11]. Летом в умеренной зоне значительно меньше волнение чем зимой – в основном, слабое и умеренное, однако наряду с ветровым волнением почти всегда присутствуют волны зыби.

Субтропическая зона Атлантического океана в северном полушарии (как и субтропическая зона в южном полушарии) имеет характерную климатическую особенность – зимой преобладают воздушные массы умеренных широт, а летом – тропических. Режим ветра и волнения субтропической зоны определяется циркуляцией атмосферы в системе азорского максимума, а зимой существует значительное влияние исландского минимума. В холодную половину года (октябрь-апрель) циклоны становятся обычным явлением во всей области. С ростом циклонической активности возрастают средние скорости ветра – от 3-6 м/с летом, до 8-10 м/с зимой. Однако, в летний период повторяемость слабых ветров (0-5 м/с) доходит до 40%, но при этом часты быстропроходящие шторма (до 90 % штормов длятся до 12 часов). Наблюдаются ураганы (скорости ветра 30-35 м/с) и смерчи. Наибольшие средние высоты волн наблюдаются в осеннее и зимнее время.

Тропическая зона северного полушария Атлантического океана характеризуется преобладанием пассатной циркуляцией и находится в зоне господства тропического воздуха. Тропическая зона северного полушария, особенно ее западная часть, находится в области наиболее частых циклонов Атлантического океана. Частые и сильные циклоны характерны для всех тропических областей океанов, кроме тропической зоны Атлантического океана в южном полушарии. На Рис. 4 представлены основные пути ураганов.

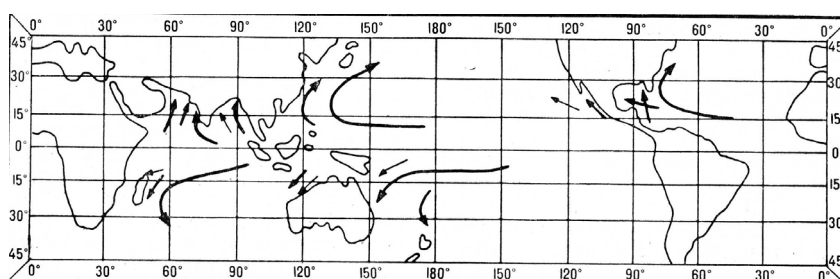


Рис. 4. Основные пути ураганов в Индийском, Тихом и Атлантическом океанах. [11]

Кроме частоты и длительности (средняя продолжительность 6 дней) тропические циклоны отмечаются экстремальной силой ветра – свыше 70 м/с.

Тропические циклоны в Северной Атлантике образуются в четырех основных районах: а) к востоку от Малых Антильских островов и в Карибском море к востоку от 70° з.д. (июль-начало октября); б) в юго-западной части Карибского моря (июль-октябрь); в)

западной части Карибского моря (июнь, конец сентября - начало ноября); г) в Мексиканском заливе (июль – ноябрь).

Необходимо отметить, что при преобладании слабых и средних ветров в этой зоне (летом 5-6 м/с, зимой 7-9 м/с), могут наблюдаться ураганные скорости ветра (свыше 35 м/с) при прохождении тропических циклонов. В различных районах этой зоны ветровой режим может значительно отличаться. Например, область западнее Африки (район 17 на схеме районов и зон Атлантического океана – см. Рис. 3) характеризуется преобладающими устойчивыми северо-восточными ветрами. Средние скорости 6-7 м/с, а слабые ветры (менее 5 м/с) имеют повторяемость зимой 40-45 % а летом и весной - в 45-55 % всего времени, а штормовые ветры крайне редки [11].

Зона экваториально-тропических муссонов (северного полушария) Атлантического океана характеризуется сезонной сменой преобладающих воздушных потоков – в летние месяцы муссон формируется за счет юго-восточных и юго-западных пассатов, а зимний муссон образуется северо-восточными и северными потоками. В западной части зоны (Зона V, район 18 - см. Рис.3) летний муссон устанавливается в конце июня и существует до ноября. Средняя скорость экваториального муссона около 4 м/с. До 70 % всех ветров приходится на долю ветров со скоростями менее 8-10 м/с. Однако, иногда случаются тропические циклоны, в которых ветер может достигать скорости 30-35 м/с. Зимний муссон дует с декабря по май со средними скоростями 6-8 м/с, с возрастанием скоростей к северу. Устойчивость зимнего муссона достигает 80-85 м/с. Восточнее (район 19 этой зоны), летний муссон существует с июня-июля до октября со средними скоростями ветра около 4 м/с и повторяемостью ветров 50-60 %, а зимний, более устойчивый чем летний, муссон резко сменяет летний в конце октября-ноября с высокой повторяемостью ветров до 90 % и низкой скоростью – 3-6 м/с. Ураганы обычно не чаще одного раза в год. Эта зона характеризуется небольшими средними высотами волн – волнение в 60-80 % случаев не превышает 2 м.

Экваториальная зона Атлантического океана занимает небольшую территорию (см. Рис. 3) и расположена в основном по экватору, с севера ограничиваясь береговой линией Африки. Погода определяется северной периферией южноатлантического антициклона, который устойчиво держится весь год, достигая максимума в июне-августе. Циклоны редки и неустойчивы. Весь год преобладают юго-западные и южные ветры с повторяемостью до 80 % в июне-августе, и 40-50 % в декабре-феврале, когда пассат ослабевает. Соответственно, средние скорости ветра в июне-августе выше – 5-6 м/с, в сентябре-ноябре около 4 м/с, а в декабре-феврале 3-4 м/с. Повторяемость слабых ветров (0-5 м/с) в январе-феврале около 70 %, в июне-июле до 60 %. Характерна низкая повторяемость ветра со скоростью выше 10 м/с – до 5 % в мае по август. Очень редки сильные ветра – повторяемость менее 1 %. Для всей зоны характерна низкое волнение – до 2 м (годовая повторяемость 70 %).

Тропическая зона (южного полушария) Атлантического океана характеризуется круглогодичным господством пассатных ветров системы южноатлантического антициклона, отличающейся высокой устойчивостью и годовой стабильностью, в отличие от азорского (североатлантического) максимума. Южноатлантические пассаты гораздо устойчивей североатлантических и в этой зоне есть районы, в которых отсутствуют другие ветры, кроме юго-восточных пассатов. Устойчивость пассатов увеличивается с юга на север зоны. Средние скорости ветра около 6-8 м/с. В летний период средние скорости ветра 4-7, в зимний период - 8-9 м/с. Штормы имеют выраженную тенденцию к повторяемости и усилению с севера на юг от 1-2 % до 12-15 %. Наиболее низкие среднегодовые скорости ветра наблюдаются у африканского побережья – 3-6 м/с, штормы наблюдаются редко. Интенсивность волнения в тропической зоне усиливается к югу от 25° ю.ш., особенно в зимнее время, относительно прилегающих к северу территорий, где годовой ход менее выражен. Наиболее слабое волнение наблюдается в северо-восточной части зоны, где высота волн в 80-90 % случаев меньше 2 м.

Субтропическая зона (южного полушария) Атлантического океана занимает область между 35° ю.ш. и 45° ю.ш. (на западе, у берегов Ю.Америки) и 41° ю.ш. (на востоке зоны). Зона характеризуется высокой интенсивностью циклонической деятельности. Штормы отличаются большей силой и интенсивностью относительно штормов субтропической зоны северного полушария. В ряде районов зоны штормовые ветры дуют до 13 % всего времени, скорости достигают 30-35 м/с. Средние скорости ветра имеют тенденцию усиления в зимнее время – 9-10 м/с. Летом средняя скорость ветра 6-9 м/с. Волнение, также, имеет тенденцию снижения интенсивности летом - волны выше 5 м наблюдаются только в 3-5 % случаев наблюдения, в зимнее время (с мая по август) до 10 %. Кроме того, зимой в южной части зоны наблюдаются сильные продолжительные штормы, во время которых наблюдаются волны высотой до 15 м.

Умеренная зона (южного полушария) Атлантического океана расположена к югу от субтропической зоны до условно принятых 60° ю.ш. Восточная граница (с Индийским океаном) условно принята по 20° в.д. Умеренная зона условно разделена на 3 обширных района (Рис. 3). Режим ветра и волнения умеренной зоны южного полушария определяется зоной пониженного давления, опоясывающей всю планету между 45° ю.ш. и Антарктидой. Исключительные большие скорости ветра и высокие волны характерны в течение всего года. Меридиональные градиенты давления достигают огромных величин, вызывая ураганные ветры. Известный термин «ревущие сороковые широты» получил широкую известность из-за экстремальных условий умеренной зоны южного полушария. Средние скорости ветра летом 9-10 м/с, зимой 10-12 м/с. Повторяемость штормов составляет до 30 % летом и до 35 % зимой. Скорости ветра достигают 35-40 м/с. Нередко штормовой ветер дует 2-3 суток непрерывно [12]. Сильное волнение характерно для всей умеренной зоны южного полушария в течение всего года. Высоты волн могут превышать 20 м. Отмечается уменьшение средних высот волн в летний период, относительно зимнего.

У Тихого и Индийского океанов климатические закономерности формирования температурных и ветровых режимов осложнены особенностями этих океанов – размерами, расположением относительно экватора, влиянием материков и крупных островных групп и т.д.

Помимо больших океанических водных массивов и окраинных морей, представляют интерес в качестве территорий, где можно размещать парусные водные (морские) энергетические системы, – внутренние моря, крупные озера, водохранилища, крупные реки с невысокими скоростями течения.

Примером больших закрытых водоемов является Каспийское море. Оно имеет большой потенциал для целей использования ветроэнергетических установок.

Каспийское море является крупнейшим в мире замкнутым водоемом с площадью поверхности около 370 тыс. км², имеет сложный рельеф дна, расположено в нескольких климатических зонах. На Рис. 5 представлена карта Каспийского моря с глубинами воды [10]. Видно, что глубина воды в северной части моря значительно меньше чем в очень глубоких центральной и южной частях, что отражает тектоническую структуру этой области континента в месте контакта южного края Восточно-Европейской платформы и геосинклинальной области (граница Северного и Среднего Каспия).

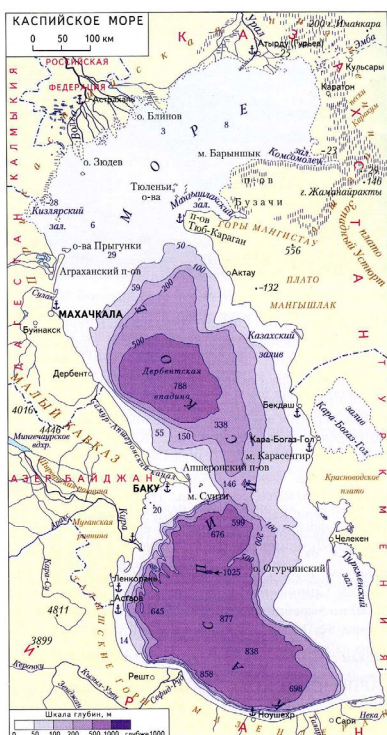


Рис. 5. Батиметрическая карта Каспийского моря

Каспийское море делится на три области, значительно отличающихся по большинству параметров – как морфометрических, гидрохимических, так и гидрометеорологических (Рис.6) [14]. По широтному расположению эти области подразделяются на Северный, Средний и Южный Каспий.

Для этих областей Каспийского моря характерны резкие различия в глубинах. Северная часть Каспия мелководная и имеет средние глубины 4,4 м. Многие прибрежные районы с глубинами до 3 м простираются участками шириной до 70 км вдоль берегов. В случае отливов и ветровых сгонно-нагонных явлений, достигающих 2,5 – 3 м, прибрежные отмели на многие километры осушаются. В северной части Северного Каспия, в районе дельты Волги, рельеф и береговая линия постоянно меняются, перемещаясь на десятки километров. Средний Каспий имеет максимальную глубину 790 м в центральной части, уменьшаясь к берегам до 20 м и образуя узкую шельфовую зону. Южный Каспий имеет максимальную глубину 1025 м, при этом наиболее глубоководная область расположена западнее центра (см. Рис.6), а глубины восточной части до 20 м, с ровным дном с илом и ракушечником. Береговая линия Каспийского моря сильно различается как в выделенных областях, так и на разных участках. В целом, северо-западные, северные и восточные берега имеют покатый, низменный характер, сложены современными осадочными отложениями. Юго-западный и южный берега имеют более разнообразный характер – многие участки крутые и обрывистые, сложены древними осадочными и магматическими породами. Вдоль большинства берегов и на островах, как и в самом море, наблюдаются грязевые вулканы. Часто, грязевой вулканизм является причиной изменения рельефа дна, возникновения и размывания небольших островов в Каспийском море.

Ветровой режим Каспийского моря определяется как циркуляционными особенностями атмосферы этой части континента, так и спецификой орографии западного берега. Так, наибольшие ветры зафиксированы в Апшеронском участке моря в районе Нефтяных Камней – более 40 м/с, что является влиянием Кавказского хребта. Подобный эффект наблюдается у туркменского побережья в районе Красноводска – зафиксированы скорости ветра более 30 м/с и штормы длительностью более суток. Наибольшая повторяемость штормов на Каспии в зимнее время. Средний годовой период со штормами до 50 суток. В северной части Каспия преобладают восточные ветры, в средней и южной – юго-восточные и северо-западные.

На Среднем Каспии господствует циклональная циркуляция воды, обусловленная речным стоком и господствующими ветрами. В южном Каспии также наблюдается циклональная циркуляция, в западной части (район Баку и устья Куры) осложненная антициклональной циркуляцией. В Северном Каспии преобладают неустойчивые ветровые течения различных направлений. Из-за мелководности моря при сильных ветрах ярко выражены явления сгона и нагона воды. Частая повторяемость умеренных и сильных ветров обуславливает большое количество дней со значительным волнением (максимальные наблюдаемые высоты волн до 11 м), а с ноября по март волнение по всей акватории достигает 6 баллов. Наиболее спокойным периодом является конец весны и первая половина лета [14].

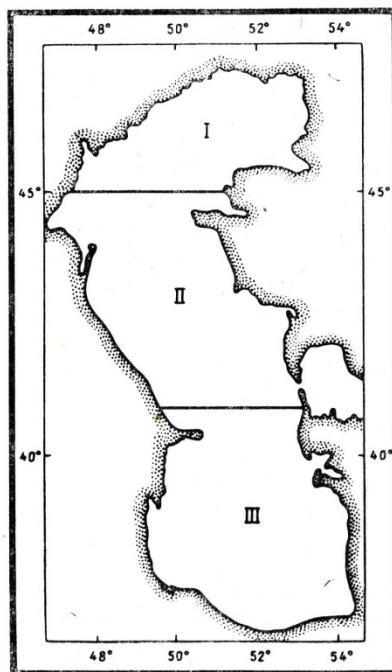


Рис. 6. Области Каспийского моря (1-Северный Каспий; 2-Средний; 3-Южный).

Интенсивность волнения моря и характеристики волн в различных частях Каспия зависят как от погодных условий, в основном, это сила и направление ветра, так и от особенностей участков моря – глубины и рельефы дна. Крупные волны встречаются в средней и южной частях моря, в северной части Каспия из-за мелководья и наличия льдов (в зимнее время) ограничена и не бывает выше 4 м. В Таблице 2 приведены данные повторяемости скоростей ветра и высот волн Северного Каспия. На Среднем и Южном Каспии (см. Рис. 6) высота волн может превышать 10 м при северных ветрах, а наибольшие волны зафиксированы в районе Апшеронского полуострова (акватория от Нефтяных Камней к северо-западу) при южных и юго-западных ветрах. В открытых районах Среднего и Южного Каспия часто наблюдается крупная зыбь с севера и северо-запада. В северных частях Каспия зыбь обычно с востока.

Особенности волнового и ветрового режимов Каспия позволяют говорить о сложной картине волнового поля во всех областях моря. Однако, наиболее благоприятными для использования предлагаемых парусных ветровых установок являются практически все районы Северного Каспия, широкие области вдоль восточного и западного побережья Среднего Каспия (севернее устья р.Сулак) и ряд областей Южного Каспия, такие как акватория восточнее Ленкоранской низменности.

Таблица 2. Повторяемость скоростей ветра и высот волн Северного Каспия по сезонам (данные по зимнему периоду не приводятся из-за частого ледового покрова), %. (по [11], с изм.).

Сезон	Скорость ветра, м/с	Высота волн, м		
		<2	2-4	>4
Весна	<6	32	7	1
	6-12	37	10	1
	12-16	5	3	2
	>16	1	1	-
Лето	<6	51	11	1
	6-12	27	6	2
	12-16	1	1	-
	>16	-	-	-
Осень	<6	30	12	1
	6-12	32	14	1
	12-16	4	3	1
	>16	-	-	1

Каспийское море, его рыбные ресурсы, газовые и нефтяные месторождения в шельфовой зоне, активные морские перевозки, развитие экономических связей стран каспийского региона и быстроразвивающиеся прибрежные территории становятся в настоящее время объектом усиливающегося многоуровневого экономического освоения. В российской части Каспия в настоящее время принимаются программы активного рекреационного освоения побережий в средней и северной частях моря. Все эти процессы создают возможность широкого использования парусных ветроэнергетических установок на Каспийском море как вдоль побережий, так и в других частях акватории.

В целом, активная хозяйственная деятельность по берегам морей, океанов, озер и водохранилищ, на морских островах, в прибрежных областях, особенно в шельфовой зоне, а так же по всему Мировому океану, позволяет говорить о наличии большого числа возможных потребителей получаемых морскими парусными ветроэнергетическими установками электроэнергии. Такими потребителями могут быть отдельные небольшие поселения на островах, особенно атоллах, в разных частях мирового океана, населенные пункты в прибрежных районах морей, рек, у озер и водохранилищ или отдельные организации осуществляющих геологоразведку, океанографические работы, добычу природных ресурсов и т.д. Большой потенциал размещения парусных морских ветроустановок имеется в тропических, субтропических и экваториальных зонах океанов, особенно у многочисленных морских архипелагов, атоллов и отдельных островов Тихого и Индийского океанов. Особенности парусных ветроэнергетических установок, таких как невысокая стоимость, простота в установке, обслуживании и ремонте, высокая мобильность, модульность конструкции и др., позволяют делать вывод о потенциальной востребованности данного типа ветроустановок.

5 Выводы

На основе экспериментальных исследований на макетах морских энергетических установок были определены их конструктивные особенности, которые следует учитывать при определении географических районов их использования. К ним относятся: модульность и универсальность конструкций, высокая мобильность при транспортировке и других логистических операциях, быстрая установка и начало работы парусных установок, низкие себестоимость и стоимость эксплуатации и другие особенности. Рассмотрены географические параметры водных пространств, которые необходимо учитывать при определении возможности использования парусных морских ветроэнергетических установок, в частности, ветровые и волновые параметры водных акваторий и рассмотрен ряд климатических особенностей водных территорий, таких как муссоны, ураганы и ряд других.

Дана общая характеристика районов возможного использования парусных морских ветроэнергетических установок на примере больших водных пространств, таких как Атлантический океан и Каспийское море.

Изучение особенностей гидрометеорологических параметров Атлантического океана и Каспийского моря показывает их многокомпонентность и большое разнообразие характеристик ветрового и волнового режимов. Ряд акваторий, особенно некоторые тропические области за счет значительного развития циклонической деятельности, например, бассейн Карибского моря, не очень благоприятен для ветроэнергетики. Вместе с тем, некоторые области, как большая область к западу от Африки по 20 параллели, экваториальная зона Атлантического океана и др. весьма подходят для размещения морских энергоустановок и круглогодичного их использования. Большинство территорий океанов и моря умеренного и полярного поясов из-за сильного различия летнего и зимнего режимов ветров и особенностей волнового режима, требуют, как правило, использования установок только в летний период.

Размещение ветроустановок на внутренних морях, больших озерах и водохранилищах требует учитывать гидрометеорологические особенности конкретных водоемов. Так, например, размещение на Каспийском море (в северной части), при всей благоприятности геологических, геоморфологических и др. условий, сильно осложняется характерной для этого водоема волновым и ветровым режимом, а также частым образованием ледового покрова.

Литература

1. https://www.yachtrussia.com/articles/2016/10/21/articles_391.html
2. Патент № 2567484 РФ, МПК В63Н 9/04 (2006.01) / Способ получения вторичного энергоносителя-водорода посредством преобразования энергии ветра/ № 2014124108/06, заявл.11.06.2014 / Седых Н.А.- автор; «Военная Академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулева» // «Изобретения. Полезные модели». 2015. № 31.

3. Проект Energy Observer // energy-observer.org
4. Чебоксаров В.В., Кузнецов Н.Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки//Строительство и технологическая безопасность. №18 (70), 2020. С.67-81
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Чекарев К.В., Залиханов А.М., Дегтярев К.С. Парусная энергетическая установка//География возобновляемых источников энергии. ИД «Энергия», Москва, 2021, СС. 180-197.
9. Мировой океан. Дополнения. Понятия. Термины. (Серия: География мирового океана). Л., «Наука», 1987.
10. Реки и озера мира. М. «Издательство Энциклопедия». 2012.
11. Регистр СССР. Ветер и волны в океанах и морях. Л., Изд. «Транспорт», 1974.
12. Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования. СТО 70238424.27.100.059-2009.
13. Экологический энциклопедический словарь. М. ИД «Ноосфера», 1999. Сс. 181.
14. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 2. Каспийской море. Л., Гидрометеоиздат, 1986, СС. 267.

References

1. https://www.yachtrussia.com/articles/2016/10/21/articles_391.html
2. Patent RU 2567484 C1, B63H 9/04 (2006.01) / Method of making of secondary energy carrier – hydrogen by wind energy conversion / # 2014124108/06, 11.06.2014 / Sedych N.A. – inventor, “Voennaja Akademija materialno-tekhnicheskogo obespechenija imeni generala armii A.V.Khruleva” – proprietor / Izobretenija, Poleznyja modeli / 2015, # 31.
3. Energy Observer Project // energy-observer.org
4. Cheboksarov V.V., Kuznecov N.N. Gibridnye vetro-solnechnye morskije energeticheskie ustanovki // Stroitel'stvo i tekhnologicheskaja bezopasnost'. №18 (70), 2020. S.67-81.
5. 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 // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2020 / # 16.
6. Patent RU 2745173 C1 / B63B 35/44 (2006.01) / Sailing power plant / Application: # 2020128596, 2020.08.28 / Chekarev K.V., Degtyarev K.S., Zalikhanov A.M. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2021, # 9.
7. 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., Bereskin M.Y., Zalikhanov A.M. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2022, # 26.

8. Chekarev K.V., Zalikhanov A.M., Degtyarev K.S. Parusnye energeticheskie ustanovki. // Geografiya vozobnovlyayemykh istochnikov energii. ID «Energiya», M., 2021. S.180-197.
9. Mirovoi okean. // (Seria: geografiya mirovogo okeana). // Leningrad, "Nauka", 1987.
10. Reki i ozera mira// Moscow, "Izdatelstvo Entsiklopedia", 2012.
11. Registr SSSR. Veter i volny v moriah i okeanah. (The winds and waves at oceans and seas) // Leningrad, "Transport", 1974.
12. Vetroelektrostantsii. // STO 70238424.27.100.059-2009.
13. Ekologicheskii entsiklopedicheskii slovar. // Moscow, "Noosfera", 1999/ pp. 181.
14. Gidrometeorologicheskie uslovia shelfovoi zony morei SSSR// # 2. Kaspiiskoe more. // Leningrad, "Gidrometeoizdat", 1986, pp. 267.

Land-Based Sailing Power Plant: Geography of Use

^{1,2} Alim Zalikhanov, ^{1,3} Konstantin Chekarev

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: ²bulungu@yandex.ru, ³konstantintchekarev@yandex.ru

Abstract. Installations that convert kinetic wind energy into electricity have large dimensions due to the low air density. A variant of a sailing power plant is known that converts the energy of a wind stream into the energy of a water stream, which allows reducing the size of the energy converter, however, difficulties arise when transferring the generated electricity to an external consumer. A variant of a land-based sailing power plant is proposed, in which this problem is removed. In the course of laboratory research, structural elements were found that can be used in the implementation of a land-based sailing installation, a system for transmitting generated electricity along a contact rail was developed. The design features of land-based sailing power plants make it possible to expand the geographical area of use of wind power plants and to construct them in places where traditional-type installations cannot be used. The results of the study of the features of geographical areas where land-based sailing power plants can be used are presented in this article.

Keywords: wind power, renewable energy sources, wind plant, sailing power plant, hydrogen energy

УДК 620.92:620.97

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-2-79-97

EDN: PXHZNI

Методика расчета мощности солнечной системы автономного типа на примере электроснабжения частного дома

^{1,2}Махсумов Илхом Бурхонович [0000-0001-7985-1315]^{1,3}Одинаев Неккадам Хушкадамович^{1,4}Давлатзода Абуфазл Нусратулло^{1,5}Шокиров Кудбиддин Шамсидинович¹Институт энергетики Таджикистана (ИЭТ), р-н Кушониён, ТаджикистанE-mail: ²messi.ilhom@gmail.com, ³onk.tj@mail.ru,
⁴davlatzoda.88@mail.ru, ⁵messi.ilhom@yandex.ru

Аннотация. Проектирование и строительство автономных и сетевых солнечных электростанций в современном мире становится все более необходимым и актуальным ввиду постоянно растущего спроса на электроэнергию. Однако их эффективное функционирование и экономические выгоды являются технической проблемой, которая в значительной степени зависит от многих климатических и технических параметров, что необходимо учитывать при проектировании солнечных установок. Авторы этой статьи предлагают методику расчета мощности автономной солнечной системы, элементы которой учитывают изменения потребляемой нагрузки в течение дня, чтобы точно установить желаемую мощность аккумуляторов и устранить неоправданную избыточную энергию элементов системы и стоимость самой установки. Предлагаемый в данной работе метод расчета мощности автономной солнечной системы позволяет значительно упростить работу при выборе и расчете основных её элементов и включает в себя следующие пошаговые подходы к расчету: первый шаг – расчет потребляемой мощности автономной солнечной системы, второй шаг – расчет емкости аккумулятора АСС, третий шаг – расчет мощности зарядного устройства АСС, четвертый шаг – расчет мощности основной шины АСС, пятый шаг – расчет мощности солнечных модулей АСС, шаг шестой – оценка солнечной инсоляции, седьмой шаг – расчет эффективности АСС и восьмой шаг – выбор автономных преобразователей напряжения АСС. Для точности расчета

генерируемой мощности автономной системы использованы данные солнечной приходящей инсоляции, в южном регионе Таджикистана из базы данных NASA.

Ключевые слова: автономная солнечная система АСС, инсоляция, импульсный преобразователь постоянного тока, инвертор, солнечный модуль.

1 Введение

Системы генерации на солнечной энергии сокращают выбросы парниковых газов во всем мире при их внедрении в энергоемкие отрасли, что помогает бороться с изменением климата. Солнечная фотоэлектрическая система является одной из известных широко используемых систем возобновляемой энергетики, применяемых для электрификации изолированных территорий по всему миру. Автономные системы – это энергетические системы, в которых электроэнергия производится и потребляется без подключения к централизованной электросети. Таким образом, необходимая энергия производится частным образом, экологически и на местном уровне. Автономная система состоит из одного или нескольких генераторов энергии, обычно фотоэлектрических модулей, которые используют энергию солнца или в сочетании с ветрогенераторами в гибридных системах. [1, 2].

Чтобы использовать электричество, оно берется из аккумулятора и преобразуется из постоянного тока (direct current, DC) в переменный ток (alternating current, AC) с помощью инвертора. Таким образом, можно использовать стандартную бытовую технику так, как если бы электричество поступало из централизованной электросети. Существуют системы, не имеющие инвертора и к которым можно подключать только устройства, рассчитанные на постоянный ток, обычно с напряжением 12 или 24 В постоянного тока. Это самая простая система, подходящая для небольших потребителей [1, 2].

Автономные солнечные системы (АСС), предназначены для обеспечения электроэнергией объектов без использования дополнительных источников. В автономных солнечных системах фотоэлектрические модули часто используются для зарядки батарей, которые, сохраняя производимую модулями электрическую энергию, обеспечивают потребителей электроэнергией по требованию. В случае автономных фотоэлектрических систем, установленных в жилых зданиях, потребность в электроэнергии в основном покрывается этой системой. Излишек подается в аккумулятор для хранения. Для электроснабжения автономного оборудования необходимо преобразовать постоянный ток в переменный ток с помощью инвертора [3, 4]. Важно знать, что домашние системы способны обеспечить питанием, постоянно работающий холодильник, периодически работающий погружной насос, телевизор и систему освещения. Чтобы обеспечить энергией работу бойлера или даже микроволновой печи, требуется более мощное и очень дорогое оборудование [5, 6].

2 Материалы и методы

Эффективность использования солнечной энергии в современных условиях является предметом исследований в Таджикистане. Это страна, где количество солнечной энергии в 2 раза больше, чем в Европе. Однако следует отметить, что на эффективность солнечных установок в процессе их эксплуатации большое влияние оказывает резко континентальный засушливый климат Таджикистана. При проектировании солнечной установки необходимо учитывать эти условия.

Исходя из этого, основной целью исследований в данной работе является разработка расчета генерации автономной солнечной системы, включающего несколько основных этапов. Подробно рассмотрим предложенный метод поэтапного расчета.

2.1. Первый шаг. Расчет потребляемой мощности автономной системы.

Одним из основных важных шагов при проектировании солнечной системы автономного типа является составление перечня электроприемников и определение их установленной потребляемой мощности, напряжения и занесение всего этого в таблицу [30]. Учитывая, что потребители электроэнергии, имеют различную потребляемую мощность и напряжение, необходимо произвести перерасчет их мощности, передав ее на главную шину автономной солнечной системы. Далее рассчитывается мощность каждого потребителя отдельно на главной шине по следующему уравнению:

$$P_{oc,i} = P_{H,i} \cdot \eta_i; \quad (1)$$

Здесь $P_{H,i}$ – мощность потребителя электроэнергии (Вт); $P_{oc,i}$ – мощность первого потребителя пересчитанной на главную шину автономной системы (Вт); η_i – эффективность, КПД инвертора (%) [3].

Если потребитель постоянного тока питается непосредственно от основной шины или напрямую от отдельной батареи с напряжением ниже напряжения самой батареи (№7, табл.1), то КПД можно принять равным единице по формуле 1 [3]. После этого необходимо рассчитать по времени, сколько часов каждый электроприемник работает в течение суток, и определить потребляемую за сутки электроэнергию и внести это в таблицу. В результате будет создана таблица общего ежедневного потребления энергии. К автономной солнечной системе можно подключить большое количество электроприемников при условии, что их общая потребляемая мощность не превышает установленную мощность автономной системы. Электроприемники, подключаемые к автономной системе, в зависимости от назначения и характера работы могут находиться под периодическими или постоянными нагрузками [3, 4].

Таблица 1. Суммарное потребление электроэнергии потребителями в сутки

№	Потребители	Напряжение, В, Мощность, (Вт)	Мощность на главной шине, Вт	Рабочее время ча- сов/день	Энергопо- требление Вт*час/день
1	Электрический чайник	220 В, 2200 Вт	2500	0,25	625
2	Холодильник	220 В, 400 Вт	450	12	5400
3	Кондиционер	220 В, 1000 Вт	1200	6	7200
4	Микроволновая печь	220 В, 1500 Вт	1800	0,25	450
5	Телевизор	220 В, 100 Вт	100	7	700
6	Комнатное освещение (4 комнаты), свето- диодная лампа LED	220 В, 45 Вт	45	8	360
7	Освещение кухни и душа	12 В, 30 Вт	30	4	120
8	Другие типы потре- бителей (зарядной блок телефона пыле- сос и др.)	220 В, 67 Вт	67	2	134
	Общий		6192		14989

Электроприемники с периодическими нагрузками бывают плавающие и стабильные, например, холодильник (№2, таблица 1). Пренебрежение этими факторами при проектировании значительно увеличивает генерируемую мощность, что приводит к увеличению стоимости автономной системы. Чтобы избежать это, необходимо правильно определить выдаваемую мощность автономной солнечной системы [30]. Для снижения стоимости АСС важно определить график суточного изменения нагрузки потребителей в зависимости от их установленной мощности и времени работы. Наряду с этим необходимо исключить подключения большой мощности к автономной системе за счет одновременного использования нескольких маломощных потребителей, чтобы потребляемая мощность системы была минимальной [3-5]. Например, только после отключения электрочайника включается микроволновая печь (№ 1, табл. 1). Также для обеспечения бесперебойного подключения и ущемления стоимость автономной системы, необходимо подключить электроприемников к одному инвертору автономного типа [3-5]. Невозможно определить интервал изменения нагрузки с плавающим рабочим интервалом на основе планирования изменения нагрузки (№ 2, холодильник, табл. 1). Принимая во внимание этот фактор, упрощаем график изменения нагрузки, будем иметь в виду, что такие нагрузки, как холодильник, работают постоянно (Табл. 2). Тогда выходную мощность АСС можно определить, как максимальную нагрузочную способность за интервал летнего дня по следующей формуле:

$$P_{H,j} = \sum_{i=1}^N P_{oc,i}; \quad (2)$$

Здесь: $H, J - i$ - количество потребителей, подключенных к сети за интервал времени.

Таблица 2. Изменение суточных нагрузок

№	Электроприёмники	Потребляемая мощность во времени, Вт.														Общая
		с 7:00 до 7:05	с 7:05 до 7:10	с 7:10 до 8:00	с 8:00 до 12:00	с 12:00 до 12:05	с 12:05 до 12:10	с 12:10 до 14:00	с 14:00 до 15:00	с 14:00 до 17:00	с 17:00 до 17:05	с 17:05 до 17:10	с 17:10 до 19:00	с 19:00 до 20:00	с 20:00 до 23:00	
1	Кондиционер					1200					1200					7200
2	Электрический чайник	2500					2500				2500					625
3	Телевизоры	100				100								100		700
4	Комнатное освещение (4 комнаты)	45							45		45					360
5	Освещение кухни и душа	30									30					120
6	Микроволновая печь	1800					1800				1800					450
7	Холодильник					450										5400
8	Другие типы потребителей (зарядной блок телефона пылесос и др.)	67											67			134
	Общий	4542	242	242		1300	6050	1750	1245	450	6025	1725	1725	1892	145	14989

При расчете мощности системы необходимо учитывать пусковой момент некоторых электроприемников, например, холодильников, электробарабанов и ряда других электроприемников, которые при запуске потребляют в 5-6 раз больше мощности, чем номинальные, указанные в паспорте. Следовательно, необходимо избегать использования большого количества таких указанных электроприемников, чтобы генерируемая мощность не была превышена, что приводит к увеличению стоимости самой автономной системы [3-5].

В течение дня солнечная панель заряжает аккумулятор и обеспечивает питание потребителей [3, 30].

Принимаем во внимание время суток: $\Delta t_{\text{с.с.}} = 14$ часов летом (с 6.00 до 20.00), $\Delta t_{\text{с.с.}} = 8$ часов (с 8.00 до 16.00) зимой.

Тогда потребляемая мощность автономной солнечной системы определяется максимальной мощностью нагрузки для интервала летних суток по следующей формуле.

$$P_H = \max(P_{H,j}), \forall j \in 1, M. \quad (3)$$

где M – количество временных интервалов, входящих в интервал летних суток, (час).

Согласно табл. 2, потребляемая мощность автономной солнечной системы составляет $P_H = 14989$ Вт, что используется для расчета мощности солнечной батареи АСС.

Вышеупомянутая методика расчета выходной мощности АСС учитывает изменение мощности нагрузки во времени и является нормой [3-5]. В частном случае нагрузка АСС не меняется, т.е. постоянна. К таким потребителям относятся узлы сотовой связи, системы электроснабжения электростанций и подстанций, светофоры и др.

При этом выходная мощность автономной солнечной системы должна соответствовать мощности полной нагрузки.

2.2. Шаг второй. Расчет емкости аккумуляторов автономной системы.

Чтобы определить правильную емкость аккумулятора для поддержки нагрузки, необходимо знать общую дневную нагрузку. Следующим шагом является определение емкости и типа аккумуляторов для конкретного применения. Средняя нагрузка является определяющим фактором для расчета размера аккумуляторной батареи. Размер аккумуляторной батареи должен быть таким, чтобы батареи подвергались циклическому использованию (одна полная разрядка с последующей полной перезарядкой) примерно два раза в день. Solar Stik рекомендует максимальную глубину разряда 50 % для свинцово-кислотных аккумуляторов и глубину разряда 80 % для аккумуляторов LiFePO4. Правильный выбор размера аккумулятора снижает стоимость системы, гарантируя, что будет приобретено правильное количество батарей (т.е. не больше батарей, чем необходимо), и что батареи не будут повреждены из-за перезарядки [3-5, 7]. Емкость аккумулятора оценивается в А·ч и определяется по следующему уравнению

$$\Delta C = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \Delta t_{\text{ниг}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} (24 - \Delta t_{\text{диг}}) \quad (4)$$

Здесь $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность автономной системы (Вт); $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электрической нагрузки (В); $\Delta t_{\text{ниг}}$ – ночной интервал времени ($\Delta t_{\text{ниг}} = 10$ часов летом, $\Delta t_{\text{ниг}} = 16$ часов зимой); $\Delta t_{\text{диг}}$ – дневной интервал времени.

Повреждение аккумулятора происходит при его глубоком разряде при длительном использовании. Чтобы избежать этого, производитель аккумулятора устанавливает конечное напряжение разряда, после чего необходимо снять нагрузку с аккумулятора и зарядить его. Чтобы продлить срок службы аккумулятора необходимо снять нагрузку с него при уменьшении его заряда на 70-80%. В

автономной системе уровень разряда аккумулятора можно записать следующим образом [3-5].

$$S_{раз} = \frac{C_{ном} - C_{мин}}{C_{ном}} 100\% = \frac{\Delta C}{C_{ном}} 100\% \quad (5)$$

Объединив выражение 4 и выражение 5, получим следующее уравнение для определения уровня разряда аккумулятора.

$$C_{ном} = \frac{100}{S_{раз}} \cdot \frac{P_{ном}}{U_{ном}} \Delta t_{нив} \quad (6)$$

Если нагрузка автономной системы постоянна, то, используя уравнение (6), можно будет просто определить нужную емкость аккумуляторов системы. Тяжелыми условиями эксплуатации аккумулятора отличается зимний период, поэтому при определении емкости аккумулятора необходимо использовать значение ночного временного интервала 16 часов и степени разряда 70%. Чем выше выходное напряжение автономной системы, тем ниже емкость, ток разряда $I_{аккумулятор} = P_{аккумулятор} / U_{аккумулятор}$ и, в конечном итоге, стоимость самого аккумулятора [3-5].

Ток разряда аккумулятора зависит от мощности нагрузки. Например, в системе с нагрузкой 10 кВт и напряжением аккумуляторной батареи 48 В максимальный ток разряда аккумуляторной батареи должен достигать 200 А·ч [3, 8]. Исходя из этого, можно сказать, что, чем выше вырабатываемая мощность автономной солнечной системы, тем больше выгода от использования высоковольтной аккумуляторной системы по сравнению с низковольтной.

Энергоемкость батареи АСС можно рассчитать по следующей формуле:

$$W_{аккумулятор} = C_l \cdot U_l \quad (7)$$

Количество последовательно соединенных отдельных аккумуляторов в ветви можно записать следующим образом:

$$n = U_l / U_{аккумулятор}. \quad (8)$$

Здесь $U_{аккумулятор}$ – напряжение отдельной батареи, (В).

Число параллельных ветвей в батарее АСС можно записать следующим образом:

$$m = C_l / C_{аккумулятор}. \quad (9)$$

Здесь $C_{аккумулятор}$ – емкость отдельной батареи, (А·ч).

Тогда общее количество отдельных батарей в АСС будет записано следующим образом:

$$N = n \cdot m \quad (10)$$

Коэффициент для определения общего количества отдельных аккумуляторов в АСС можно получить, подставив уравнения (6) и (9) в (10) следующим образом:

$$N = \frac{100}{S_{раз}} \frac{P_{ном}}{W_{аккумулятор}} \Delta t_{нив} \quad (11)$$

Здесь $W_{аккумулятор} = C_{аккумулятор} \cdot U_{аккумулятор}$ – энергоемкость отдельного аккумулятора. Чем выше потребление энергии или емкость при данном напряжении батареи, тем

меньше потребуются отдельных батарей в аккумуляторном блоке АСС. Выражение для определения напряжения батареи АСС можно записать, выбрав батарею заданной емкости из уравнений (6) и (9) следующим образом:

$$U_{аккумулятор} = \frac{100}{S_{раз}} \frac{P_{ном}}{mC_{ном}} \Delta t_{ниж} \quad (12)$$

Как правило, электрическая нагрузка проектируемой солнечной автономной системы непостоянна, то есть меняется во времени [3-5, 9]. В соответствии с таблицей 2 изменение нагрузки в основном наблюдается в ночном временном интервале, точнее с 15.00 до 23.00 часов, и на основании этого примерно построим суточный график нагрузки потребителей автономной системы, Рис. 1.

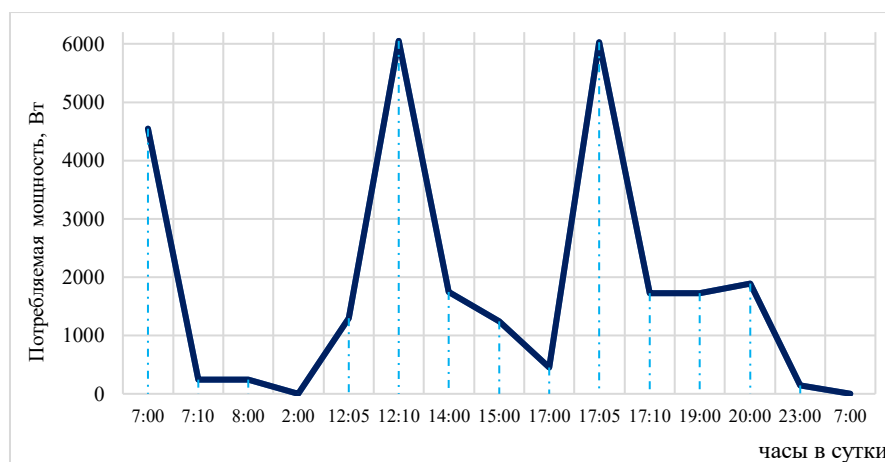


Рис. 1. График суточной нагрузки электроприемников в соответствии с расчетной таблицей 2

2.3. Шаг третий. Расчет мощности зарядного устройства АСС. Чтобы максимально и эффективно использовать солнечную систему, важно иметь эффективную систему зарядки аккумуляторов. Зарядка солнечной батареи - важнейший процесс в использовании энергии Солнца для получения электрической энергии. Понимание этапов этого процесса необходимо для оптимизации производительности и срока службы солнечных модулей и аккумуляторов. Контроллеры заряда солнечных панелей выступают в роли хранителей процесса зарядки, регулируя напряжение и ток солнечных панелей, чтобы предотвратить перезарядку батарей, которая может привести к повреждению или сокращению срока службы.

Кроме того, он защищает аккумулятор от чрезмерной разрядки, которая может привести к необратимому повреждению. Контроллер заряда обеспечивает максимальную отдачу энергии от солнечных панелей и поддерживает оптимальный уровень заряда аккумулятора, улучшая общую производительность солнечной системы. Кроме того, солнечные контроллеры заряда контролируют и управляют различными этапами зарядки аккумуляторов, гарантируя, что аккумуляторы

остаются в работоспособном состоянии и продлевают срок их службы. Солнечные контроллеры также обеспечивают защиту от перенапряжения, обратного тока и чрезмерного выделения газа из аккумуляторной батареи, обеспечивая безопасную и надежную зарядку.

Они регулируют зарядный ток и напряжение в зависимости от уровня заряда аккумулятора, предотвращая перезаряд или недозаряд. Зарядка аккумулятора обычно включает несколько этапов, что обеспечивает эффективную и безопасную зарядку [10].

Большинство контроллеров заряда солнечных батарей обычно имеют три стадии зарядки: объемный заряд, абсорбционный заряд и плавающий заряд. Вот краткий обзор каждого этапа:

Этап массовой зарядки. На этапе массовой зарядки контроллер заряда от солнечной батареи подает на батарею максимально допустимый ток. Целью этого этапа является доведение уровня заряда аккумулятора примерно до 80-90 %. Для свинцово-кислотных аккумуляторов напряжение увеличивается примерно до 14,5 В при номинальном его напряжении 12 В. Этот начальный этап зарядки быстро восполняет заряд аккумулятора, подготавливая его к дальнейшей зарядке.

Этап абсорбционной зарядки. После этапа массовой зарядки аккумулятор переходит в фазу абсорбционной зарядки. На этом этапе контроллер заряда применяет регулирование постоянного напряжения, постепенно уменьшая зарядный ток. Эта контролируемая зарядка предотвращает чрезмерное выделение газа и перегрев аккумулятора. Обычно абсорбционная зарядка доводит аккумулятор до уровня заряда 98% или выше, обеспечивая максимальную емкость и долговечность.

Плавающий этап зарядки. Когда аккумулятор достигает уровня заряда 98%, контроллер заряда переключается на плавающую зарядку. Этот этап, также известный как «капельная зарядка», поддерживает максимальную емкость аккумулятора в течение дня. Во время плавающего заряда зарядный ток еще больше снижается, позволяя напряжению аккумулятора упасть до уровня плавающего напряжения. Это предотвращает перезарядку и продлевает срок службы аккумулятора. Этапы зарядки аккумулятора показаны на рис. 2.

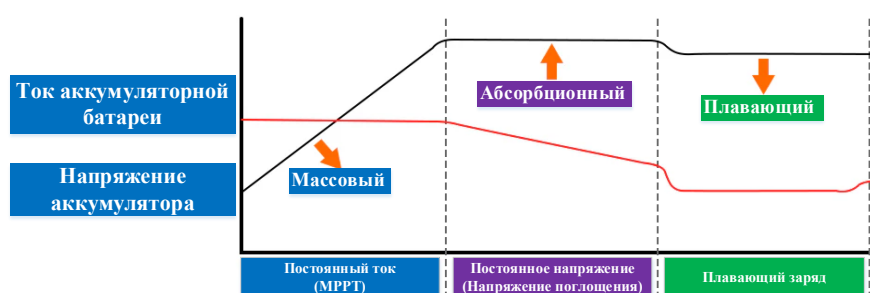


Рис. 2. Этапы зарядки аккумулятора

2.4. Четвертый шаг. Расчет мощности основной шины автономной системы. Все электроприборы, аккумуляторы и зарядное устройство автономной системы питаются от основной шины. Необходимо определить пропускную способность основной шины, чтобы выбрать правильное поперечное сечение основной шины и определить мощность солнечных панелей автономной солнечной системы.

Пропускная способность основной шины АСС определяется суммой мощностей всех нагрузок, мощности зарядного устройства и аккумуляторов с учетом ее КПД [3, 4, 5], [11].

$$P_{ос.шин} = P_{наг} + P_{ем.зар.ус} / \eta_2 \quad (13)$$

Здесь $P_{наг}$ – суммарная мощность нагрузки, (Вт); $P_{ем.зар.ус}$ – емкость зарядного устройства АСС, (Вт); η_2 – эффективность зарядного устройства АСС, (%).

2.5. Шаг пятый. Расчет мощности солнечных модулей АСС. Для расчета точной выходной мощности солнечной энергии необходимо учитывать множество факторов, таких, как размер солнечной панели, ее качество и условия окружающей среды. Существует доступная общая формула, позволяющая аппроксимировать результат на основе параметров окружающей среды. Эта формула известна как формула расчета солнечной энергии и записывается как:

$$E = A \cdot r \cdot H \cdot PR \quad (14)$$

Где E – выходная мощность солнечной панели в ватт (Вт), A – площадь солнечной панели в квадратных метрах, r – ежегодное солнечное излучение, падающее на площадь в кВт·ч/м²/год, H – КПД преобразования солнечной энергии в процентах и PR – коэффициент производительности солнечной установки [12].

Коэффициент производительности (также известный как коэффициент качества) является одной из наиболее важных переменных и ключевым показателем для измерения эффективности солнечной фотоэлектрической установки. Коэффициент производительности представляет собой соотношение между фактическим выходом энергии и теоретическим максимальным (возможным) выходом, который может быть получен в оптимальных условиях с учетом потерь энергии.

Существует другое уравнение для расчета требуемой мощности солнечных модулей:

$$P_{сол.мод} = P_{ос.шин} / \eta_1 = P_{наг} / \eta_1 + P_{ем.зар.ус} / (\eta_1 \eta_2) \quad (15)$$

Здесь η_1 – эффективность понижающего импульсного преобразователя постоянного тока.

Формула расчета солнечной энергии является лишь приблизительной, и фактическая выходная мощность может меняться в зависимости от изменений условий окружающей среды. Тем не менее, ее все равно можно использовать в качестве грубого ориентира для оценки мощности конкретной системы солнечных батарей. Чтобы точно рассчитать мощность, необходимо понять следующие расчеты: мощность солнечной панели, мощность нагрузки, потребление энергии, время резервного питания солнечной панели, стоимость солнечной панели и эффективность солнечной панели. Каждый из этих расчетов выполняется по определенной формуле, как указано ниже [12].

2.6. Шаг шестой. Оценка солнечной инсоляции. Оценка солнечных ресурсов является необходимым шагом при проектировании фотоэлектрической электростанции, который позволяет понять целесообразность строительства электростанции в данном месте. Одной из конечных целей оценки является определение доступного солнечного потенциала и того, сколько энергии фотоэлектрическая электростанция с типичной фотоэлектрической технологией может производить ежегодно. Существуют определенные факторы, которые меняются от места к месту и со временем, поэтому важно получить знания об этих факторах, прежде чем устанавливать их. Эти факторы включают солнечное излучение в горизонтальной плоскости, излучение в наклонном положении фотоэлектрического модуля и диаграмму пути солнца. Оценка солнечных ресурсов обычно включает сбор метеорологических данных с объекта, таких как данные о погоде, количество солнечного света, получаемого в данном месте, скорость ветра, температура воздуха и т. д. [14, 16].

Солнечная инсоляция — это количество солнечной радиации на площадь поверхности с течением времени. Фотоэлектрические элементы, вырабатывают электрическую энергию из поступающего солнечного света. Солнечная инсоляция измеряется как средняя интенсивность излучения в киловаттах на квадратный метр ($\text{кВт}/\text{м}^2$) [15].

Следует отметить, что солнечный потенциал в любой точке мира также можно определить, используя база данных NASA [16, 17, 18] в реальном времени и с помощью программного пакета RETScreen Expert или другие источники актинометрических данных. Величина солнечной инсоляции для рассматриваемого региона приведена в табл. 3.

Таблица 3. Ежемесячная оценка приходящей солнечной радиации для города Бохтар (широта 37,872, долгота 68,724)

Месяцы	Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	Прямая радиация на нормальную к лучу поверхность, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	Оптимальный угол солнечной радиации, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	Суммарная солнечная радиация на поверхность с углом наклона 40° , $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$
январь	69,49	94,32	107,17	112,96
февраль	92,28	128,88	132,16	137,39
март	123,89	126,06	149,25	150,35
апрель	161,01	168,3	171,06	167,36
май	209,89	214,07	203,68	194,57
июнь	234,68	256,67	216,26	203,58
июль	234,64	260,67	221,05	209,37
август	215,73	259,36	222,69	215,77
сентябрь	176,05	228,68	210,09	210,33
октябрь	132,53	191,55	186,2	192,59
ноябрь	80,61	124,48	126,92	133,95
декабрь	66,62	108,77	112,91	120,56

2.7. Шаг седьмой. Расчет эффективности автономной системы. Коэффициент полезного действия автономной солнечной электростанции характеризует эффективность работы системы: Эффективность АСС измеряется в процентах и рассчитывается следующим образом:

$$\eta = \frac{P_{наг}}{P_{сол.мод}} = \frac{P_{наг} \cdot \eta_1 \eta_2}{P_{наг} \eta_2 + P_{ем.зар.ус}} \quad (16)$$

Здесь $P_{наг}$ – суммарная мощность нагрузки, (Вт); $P_{сол.мод}$ – мощность солнечного модуля, (Вт); $P_{ем.зар.уст}$ – емкость зарядного устройства АСС, (Вт); η_1 – эффективность понижающего импульсного преобразователя постоянного тока, (%); η_2 – эффективность зарядного устройства АСС, (%).

2.8. Шаг восьмой. Выбор автономных преобразователей напряжения АСС. Инверторы служат связующим звеном между фотоэлектрической системой и устройствами, получающими энергию из вашей системы. Они преобразуют выходной постоянный ток (DC) в переменный ток (AC), который является стандартом, используемым во всех коммерческих приборах [19]. Прежде чем выбрать инвертор для солнечной системы, необходимо определить требования к питанию. Это предполагает оценку как ежедневного потребления энергии, так и пиковой нагрузки. Важно рассчитать ежедневное потребление энергии, перечислив все приборы и устройства, которые будут питаться от солнечной системы. Анализ пиковой нагрузки имеет решающее значение для обеспечения того, чтобы инвертор мог справиться с периодическими высокими требованиями к мощности некоторых устройств, особенно с двигателями, такими, как холодильники и насосы [20]. В рассматриваемом случае инвертор последовательно питает электрочайник и микроволновую печь через одну розетку. Кроме того, мощность микроволновой печи выше, чем у электрического чайника. Таким образом, мощность инвертора составляет 15 кВт и определяется увеличением мощности микроволновой печи на 30%, пересчитанным для основной шины [3, 5].

3 Результаты и обсуждение

Очевидно, что солнечная энергетика является основным источником возобновляемой энергии и эта отрасль развивается достаточно быстрыми темпами. Чтобы максимально и эффективно использовать солнечную энергию, необходимо правильно рассчитать основные компоненты и выбрать оптимальное место при проектировании солнечных установок.

В данной работе предложена методика расчета мощности автономной фотоэлектрической системы на примере электроснабжения частного дома в резкоконтинентальном засушливом климате города Бохтар. Предложенный метод расчета позволяет учитывать суточные изменения потребляемой нагрузки электроприемников и тем самым исключает необоснованное увеличение мощности элементов автономной системы, приводящее к большим финансовым затратам автономной системы при ее проектировании. Для проектирования и расчета АСС определяется номинальная мощность и количество солнечных панелей, емкость

и количество аккумуляторной батареи, мощность контроллера заряда-разряда и мощность инвертора. Разработанная методика расчета мощности АСС, разделена на восемь основных этапов для удобства представления. В работе также определен потенциал поступления солнечной энергии на горизонтальную поверхность города Бохтар, предложенной территории для проектирования автономной солнечной системы, эффективность которой сильно зависит от солнечной инсоляции, поступающей на горизонтальную поверхность территории. На эффективность солнечной установки влияют многие параметры, особенно климат местности. Данная проблема недостаточно отражена в доступной литературе, а для резко континентального засушливого климата города Бохтар вообще отсутствует, поэтому разработка методики расчета мощности АСС и ее элементов с учетом конкретных условий климат данной местности весьма актуально.

Также следует отметить, что при проектировании солнечных электростанций автономного и сетевого типа, помимо выбора необходимых элементов и их количества, места установки, необходимо учитывать различные факторы, такие как температура воздуха, загрязненность солнечных модулей, влажность воздуха, деградация и интенсивность солнечной инсоляции, влияющие на эффективность солнечных установок. Авторы [21-29] в своих работах использовали различные компьютерные программы и различные подходы к проектированию солнечных электростанций, однако эффективность проектирования компьютерных программ не может учитывать вышеперечисленные факторы, влияющие на эффективность солнечной системы, и нуждается в усовершенствовании. Следовательно, предложенный пошаговый подход для расчета солнечных установок является актуальной и целесообразной.

4 Выводы

По результатам методики расчета мощности автономной солнечной системы на примере электроснабжения частного дома можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика расчета мощности автономных солнечных электростанций и их компонентов, позволяющая учитывать изменение нагрузки в течение суток. Методика включает в себе шаговый подход, который значительно упростит работу при выборе и расчете основных элементов автономной системы.
2. Для выполнения точного расчета мощности автономной системы определялись суммарные суточные расходы электроэнергии потребителем около 15 кВт·ч и их изменение в суточных нагрузках во времени, и на этой основе построен суточный график нагрузки электроприемников.
3. Изменение графика нагрузки в ночное время основной фактор, который необходимо учитывать при расчете и определении необходимой емкости аккумуляторной батареи в проектируемой автономной солнечной системе.
4. Используя базу данных NASA, была произведена оценка ежемесячной солнечной инсоляции, а именно: суммарная солнечная радиация на горизонтальную

поверхность, прямая радиация на нормальную к лучу поверхность, оптимальный угол глобального облучения и суммарная солнечная радиация на поверхность с углом наклона 40^0 (кВт·ч/м²) для города Бохтар, предлагаемого для установки солнечной установки.

5. Методика расчета мощности АСС позволяет исключить необоснованное завышение мощностей элементов электростанции и увеличение стоимости электростанции.

Литература

1. AUTONOME SYSTEME. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ffiSolar.com/index.php?lang=DE&page=autonome-systeme> (дата обращения 13.04.2024).
2. Mohammed C. Et al. Extended method for the sizing, energy management, and techno-economic optimization of autonomous solar Photovoltaic/Battery systems: Experimental validation and analysis // *Energy Conversion and Management*. – 2022. – Vol. 270. – PP. 116267.
3. Охоткин, Г.П. Методика расчета мощности солнечных электростанций / Г.П. Охоткин // *Вестник Чувашского университета*. – 2013. – № 3. – С. 222-230.
4. Okhotkin, Grigory, et al. "Method for Calculating the Capacity of Solar Power Plants and its Implementation in LabVIEW Environment." *E3S Web of Conferences*. Vol. 140. EDP Sciences, 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914011007>
5. Митрофанов, С.В. Методика расчета мощности фотоэлектрических панелей для объектов микрогенерации / С.В. Митрофанов, В.В. Петров // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 2023. – Т. 66, № 4. – С. 80-85. – DOI 10.17213/0136-3360-2023-4-80-85.
6. Off-Grid Solar: independent and clean power supply. [Электронный ресурс]. URL: <https://sinovoltaics.com/learning-center/off-grid/off-grid-solar-independent-and-clean-power-supply/> (дата обращения 13.04.2024).
7. Sizing a Battery Bank. Solar stik. [Электронный ресурс]. URL: <https://solarstik.com/stikopedia/calculate-battery-capacity/> (дата обращения 02.05.2024).
8. Analysis of key technical parameters of lead-acid batteries. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.better-tech.net/news/analysis-of-key-technical-parameters-of-lead-acid-batteries> (дата обращения 02.05.2024).
9. Тютюрев, А.А. Методика расчета мощности солнечной электростанции / А.А. Тютюрев, О.Н. Рязанова // *Высокие технологии в строительном комплексе*. – 2019. – № 1. – С. 24-26.
10. Solar Charge Controller Battery Charging Stages Explained. [Электронный ресурс]. URL: <https://powmr.com/blogs/news/what-are-the-solar-controller-s-battery-charging-stages> (дата обращения 02.05.2024).
11. Нтавухоракомейе, Н. Техническая методика расчета мощности солнечных электростанций в тропическом климате, как в республике Бурунди / Н. Нтавухоракомейе, М.П. Белов // *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. – 2019. – № 8. – С. 66-74.
12. Solar Power Calculation Formula. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bluettipower.com/blogs/articles/solar-power-calculation-formula> (дата обращения 02.05.2024).

13. How to Calculate Solar Panel kWh. [Электронный ресурс]. URL: <https://energytheory.com/how-to-calculate-solar-panel-kwh/> (дата обращения 02.05.2024).
14. How to Calculate Solar Insolation. [Электронный ресурс]. URL: <https://sciencing.com/calculate-solar-insolation-8435082.html> (дата обращения 02.05.2024).
15. Кирпичникова, И.М. Методика оценки потенциала солнечной энергетики в Республике Таджикистан / И.М. Кирпичникова, И.Б. Махсумов, Ю. Нуруллахи // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 3. – С. 25-34. – DOI 10.18635/2071-2219-2020-3-25-34.
16. Solar Resource Assessment. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-resource-assessment> (дата обращения 03.05.2024).
17. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. [Электронный ресурс]. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP (дата обращения 03.05.2024).
18. RETScreen Expert Overview. [Электронный ресурс]. URL: <https://getintopc.com/software/retscreen-expert-free-download/> (дата обращения 03.05.2024).
19. Selecting a solar inverter for your off-grid solar installation. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.renogy.com/blog/selecting-a-solar-inverter-for-your-offgrid-solar-installation/> (дата обращения 03.05.2024).
20. How to choose the best inverter for off grid solar system. [Электронный ресурс]. URL: <https://powmr.com/blogs/news/how-to-choose-inverter-for-solar-system-off-grid/> (дата обращения 03.05.2024).
21. Кирпичникова, И.М. Снижение генерации электрической энергии солнечными модулями в условиях запыленности местности / И.М. Кирпичникова, И.Б. Махсумов, В. В. Шестакова // iPolytech Journal. – 2023. – Т. 27. – № 1. – С. 83-93. DOI: 10.21285/1814-3520-2023-1-83-93.
22. Кирпичникова, И.М. Выбор электрооборудования автономной фотоэлектрической системы с использованием программного обеспечения PVsyst / И.М. Кирпичникова, И.Б. Махсумов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2020. – Т. 20 – № 2. – С. 77-88. DOI 10.14529/power200207.
23. Кирпичникова, И.М. Анализ эффективности тепловой защиты фотоэлектрических преобразователей солнечной электростанции / И.М. Кирпичникова, А.С. Мартыанов, И.Б. Махсумов // Промышленная энергетика. – 2021. – № 5. – С. 34-44. DOI 10.34831/EP.2021.83.85.006.
24. Кирпичникова, И.М. Расчет валового технического и экономического потенциала солнечной энергии Республики Таджикистан / И.М. Кирпичникова, И.Б. Махсумов // Энергетик. – 2020. – № 1. – С. 44-47.
25. Кирпичникова, И.М. Методика оценки потенциала солнечной энергетики в Республике Таджикистан / И.М. Кирпичникова, И.Б. Махсумов, Ю. Нуруллахи // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 3. – С. 25-34. DOI: 10.18635/2071-2219-2020-3-25-34.
26. Махсумов, И.Б. Влияние деградации и высокой температуры воздуха на энергетической эффективности солнечных модулей (литературный анализ) / И.Б. Махсумов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 3(63). – С. 22-28.

27. Махсумов, И.Б. Разработка и методология расчета системы солнечной энергетической генерации для бытового применения / И.Б. Махсумов, С.Н. Ниези, М.М. Вохидов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 3(59). – С. 26-32.
28. Махсумов, И.Б. Оценка потенциала солнечной энергии с использованием солнечных кадастров / И.Б. Махсумов // Энергетик. – 2024. – № 4. – С. 38-42. DOI: 10.34831/EP.2024.12.35.006
29. Махсумов, И.Б. Оценка эффективности использования солнечной энергетики на территории Хатлонской области Республики Таджикистан / И.Б. Махсумов // Окружающая среда и энерговедение. – 2024. – № 1(21). – С. 62-74. DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-62-74
30. Polvonov Omonjon Xusanboyo'g'li Method of Calculating Power Capacity of Solar Power Plants / O.P. Polvonov // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – Vol. 7, Issue 8. – PP. 14625-14631. 10-abdulatif-17.pdf (ijarset.com)

References

1. AUTONOME SYSTEME. [Electronic resource]. URL: <https://www.ffi.solar.com/index.php?lang=DE&page=autonome-systeme> (accessed on 13.04.2024).
2. Mohammed C. Et al. Extended method for the sizing, energy management, and techno-economic optimization of autonomous solar Photovoltaic/Battery systems: Experimental validation and analysis // Energy Conversion and Management. – 2022. – Vol. 270. – PP. 116267.
3. Okhotkin, G.P. Methodology for calculating the power of solar power plants / G.P. Okhotkin // Bulletin of the Chuvash University. – 2013. – No. 3. – P. 222-230.
4. Okhotkin, Grigory, et al. "Method for Calculating the Capacity of Solar Power Plants and its Implementation in LabVIEW Environment." E3S Web of Conferences. Vol. 140. EDP Sciences, 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914011007>
5. Mitrofanov, S.V. Methodology for calculating the power of photovoltaic panels for microgeneration facilities / S.V. Mitrofanov, V.V. Petrov // News of higher educational institutions. Electromechanics. – 2023. – Vol. 66, No. 4. – P. 80-85. – DOI 10.17213/0136-3360-2023-4-80-85.
6. Off-Grid Solar: independent and clean power supply. [Electronic resource]. URL: <https://sinovoltaics.com/learning-center/off-grid/off-grid-solar-independent-and-clean-power-supply/> (accessed on 13.04.2024).
7. Sizing a Battery Bank. Solar stik. [Electronic resource]. URL: <https://solarstik.com/stikopedia/calculate-battery-capacity/> (accessed on 02.05.2024).
8. Analysis of key technical parameters of lead-acid batteries. [Electronic resource]. URL: <https://www.better-tech.net/news/analysis-of-key-technical-parameters-of-lead-acid-batteries> (accessed on 02.05.2024).
9. Tyuterev, A.A. Methodology for calculating the power of a solar power plant / A.A. Tyuterev, O.N. Ryazanova // High technologies in the construction complex. – 2019. – No. 1. – P. 24-26.
10. Solar Charge Controller Battery Charging Stages Explained. [Electronic resource]. URL: <https://powmr.com/blogs/news/what-are-the-solar-controller-s-battery-charging-stages> (accessed on 02.05.2024).

11. Ntavuhorakomeye, N. Technical methodology for calculating the power of solar power plants in a tropical climate, as in the Republic of Burundi / N. Ntavuhorakomeye, M.P. Belov // News of St. Petersburg Electrotechnical University LETI. – 2019. – No. 8. – P. 66-74.
12. Solar Power Calculation Formula. [Electronic resource]. URL: <https://www.bluetipower.com/blogs/articles/solar-power-calculation-formula> (accessed on 02.05.2024).
13. How to Calculate Solar Panel kWh. [Electronic resource]. URL: <https://energytheory.com/how-to-calculate-solar-panel-kwh/> (accessed on 02.05.2024).
14. How to Calculate Solar Insolation. [Electronic resource]. URL: <https://sciencing.com/calculate-solar-insolation-8435082.html> (accessed on 02.05.2024).
15. Kirpichnikova, I.M. Methodology for assessing the potential of solar energy in the Republic of Tajikistan / I.M. Kirpichnikova, I.B. Makhsumov, Yu. Nurollahi // Energy safety and energy saving. – 2020. – No. 3. – P. 25-34. – DOI 10.18635/2071-2219-2020-3-25-34.
16. Solar Resource Assessment. [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-resource-assessment> (accessed on 03.05.2024).
17. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. [Electronic resource]. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP (accessed on 03.05.2024).
18. RETScreen Expert Overview. [Electronic resource]. URL: <https://getintopc.com/software/retscreen-expert-free-download/> (accessed on 03.05.2024).
19. Selecting a solar inverter for your off-grid solar installation. [Electronic resource]. URL: <https://www.renogy.com/blog/selecting-a-solar-inverter-for-your-offgrid-solar-installation/> (accessed on 03.05.2024).
20. How to choose the best inverter for off grid solar system. [Electronic resource]. URL: <https://powmr.com/blogs/news/how-to-choose-inverter-for-solar-system-off-grid/> (accessed on 03.05.2024).
21. Kirpichnikova I.M., Makhsumov I.B., Shestakova V.V. Reduced power generation efficiency of solar panels in dusty locations. iPolytech Journal. 2023;27(1):83-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-1-83-93>.
22. Kirpichnikova, I.M. Selection of electrical equipment for an autonomous photovoltaic system using PVsyst software / I.M. Kirpichnikova, I.B. Makhsumov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy. – 2020. – Vol. 20 – No. 2. – P. 77-88. DOI 10.14529/power200207.
23. Kirpichnikova, I.M. Analysis of the efficiency of thermal protection of photoelectric converters of a solar power plant / I.M. Kirpichnikova, A.S. Martyanov, I.B. Makhsumov // Industrial energy. – 2021. – No. 5. – P. 34-44. DOI 10.34831/EP.2021.83.85.006.
24. Kirpichnikova, I.M. Calculation of the gross technical and economic potential of solar energy of the Republic of Tajikistan / I.M. Kirpichnikova, I.B. Makhsumov // Energetik. – 2020. – No. 1. – P. 44-47.
25. Kirpichnikova, I.M. Methodology for assessing the potential of solar energy in the Republic of Tajikistan / I.M. Kirpichnikova, I.B. Makhsumov, Y. Nurollahi // Energy security and energy saving. – 2020. – No. 3. – P. 25-34. DOI: 10.18635/2071-2219-2020-3-25-34.
26. Makhsumov, I.B. The influence of degradation and high air temperature on the energy efficiency of solar modules (literary analysis) / I.B. Makhsumov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2023. – No. 3(63). – pp. 22-28.
27. Makhsumov, I.B. Development and methodology for calculating a solar energy generation system for household use / I.B. Makhsumov, S.N. Niesi, M.M. Vokhidov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2022. – No. 3(59). – P. 26-32.

28. Makhsumov, I.B. Assessing the potential of solar energy using solar cadastres / I.B. Makhsumov // *Energetik*. – 2024. – No. 4. – P. 38-42. DOI: 10.34831/EP.2024.12.35.006
29. Makhsumov, I.B. Assessment of the efficiency of solar energy use in the Khatlon region of the Republic of Tajikistan / I.B. Makhsumov // *Environment and energy science*. – 2024. – No. 1(21). – P. 62-74. DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-62-74
30. Polvonov Omonjon Xusanboyo'g'li Method of Calculating Power Capacity of Solar Power Plants / O.P. Polvonov // *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. – Vol. 7, Issue 8. – PP. 14625-14631. 10-abdulatif-17.pdf (ijarset.com)

Methodology for Calculating the Power of an Autonomous Solar System Using the Example of Power Supply to a Private House

^{1,2}Ilkhom Makhsumov, ^{1,3}Nekkadam Odinaev,
^{1,4}Abufazl Davlatzoda, ^{1,5}Kudbiddin Shokirov

¹Tajik Power Engineering Institute, Kushoniyon district, Tajikistan

E-mail: ²messi.ilhom@gmail.com, ³onk.tj@mail.ru,
⁴davlatzoda.88@mail.ru, ⁵messi.ilhom@yandex.ru

Abstract. The design and construction of autonomous and networked solar power plants in the modern world is becoming increasingly necessary and relevant due to the constantly growing demand for electricity. However, their efficient operation and economic benefits are a technical challenge that largely depends on many climatic and technical parameters that must be taken into account when designing solar installations. The authors of this article propose a methodology for calculating the power of an autonomous solar system, the elements of which take into account changes in the consumed load during the day in order to accurately set the desired battery power and eliminate unjustified excess energy of the system elements and the cost of the installation itself. The method for calculating the power of an autonomous solar system proposed in this work can significantly simplify the work when selecting and calculating its main elements and includes the following step-by-step approaches to calculation: the first step is calculating the power consumption of an autonomous solar system, the second step is calculating the capacity of the ASS battery, the third step is calculating the power of the ASS charger, the fourth step is calculating the power of the main ASS bus, the fifth step is calculating the power of the ASS solar modules, the sixth step is assessing solar insolation, the seventh step is calculating the efficiency of the ASS and the eighth step is choosing autonomous devices - ASS

voltage generators. To accurately calculate the generated power of the autonomous system, solar insolation data in the southern region of Tajikistan from the NASA database was used.

Keywords: autonomous solar system ASS, insolation, pulsed DC converter, inverter, solar module.

EDN: SUBFDN

Виталию Анатольевичу Бутузову – 75 лет!**Рис. 1.** В.А. Бутузов

13 июня исполнилось 75 лет Бутузову Виталию Анатольевичу – доктору технических наук, профессору кафедры электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т.Трубилина, старшему научному сотруднику Кубанского государственного технологического университета, генеральному директору ООО «Энерготехнологии-Сервис», члену редакционных коллегий ведущих технических международных и отечественных журналов, выпускнику Краснодарского политехнического института (1972 год, диплом с отличием) по специальности «Тепловые электрические станции».

Становление как инженера-производственника пришлось на 1972–1990 годы: мастер, начальник службы, заместитель главного инженера краевого теплоэнергетического объединения. Ему удалось организовать систему развития от выдачи технических условий до сдачи в эксплуатацию объектов теплоснабжения. В эти годы Виталий Анатольевич становится инициатором использования возобновляемых источников энергии: разрабатывает и строит геотермальные и солнечные системы теплоснабжения. Эта деятельность требовала новых знаний и в 1978 г. после обучения в аспирантуре Академии коммунального хозяйства (АКХ, Москва) Виталий Анатольевич защищает в диссертационном совете НИИСтройфизика (Москва) кандидатскую диссертацию по ВИЭ.

В 1996 г. по поручению руководства Краснодарского края организует филиал АКХ – лабораторию энергосбережения и ВИЭ. Работы по солнечному теплоснабжению сопровождались изготовлением и испытанием новых конструкций солнечных коллекторов. В геотермальном теплоснабжении применялись новые технические решения и тепловые насосы. Для городских очистных сооружений разрабатывались биогазовые энергогенераторы.

В начале 2000 годов Бутузов В.А. возглавил реализацию краевой программы развития солнечного теплоснабжения. Совместно с оборонным Ковровским механическим заводом ему удалось создать конструкцию солнечного коллектора с оптимальным соотношением цены и энергетической эффективности. К 2010 году на Кубани были построены более 100 гелиоустановок общей площадью 10 тысяч м². Совместно с Калужским турбинным заводом была разработана геотермальная паровая турбина «Кубань-0,5», модификации которой были установлены на электростанциях Курильских островов.

Многолетний опыт исследований Виталия Анатольевича был обобщен в докторской диссертации, защищенной в 2004 г. в Энергетическом институте им. Г.М. Кржижановского (Москва). С 2008 г. Бутузов В.А. генеральный директор АО «Южгеотепло» и реализует ряд геотермальных проектов, в том числе по разработке бинарных энергоблоков, обустройству скважин и строительству геотермально – солнечных систем теплоснабжения.

Руководящую и научную работу Виталий Анатольевич совмещает с учебно-педагогической. Десять лет он преподавал в Кубанском государственном технологическом университете и уже двадцать лет работает профессором Кубанского государственного аграрного университета. В числе его учеников три кандидата технических наук. Количество научных публикаций Виталия Анатольевича превысило 450. Он член редколлегии трех научных журналов: «Гелиотехника», (Узбекистан); «Энергосбережение и водоподготовка», РФ; СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование), РФ. Научная общественность ценит многолетнюю деятельность Виталия Анатольевича в составе Комитета ВИЭ РОСНИО, среди его наград – медаль им. Шухова.

Уважаемый Виталий Анатольевич!

Поздравляем Вас со знаменательной датой- 75-летием со дня рождения! Ваши фундаментальные труды — образец глубокого и мудрого подхода к самым сложным вопросам. При этом, Вы не только настоящий профессионал, но и внимательный, интеллигентный, всегда открытый для общения человек.

От научно-технической общественности, редакции журнала и коллег примите искренние пожелания долгих лет, сил и энергии, плодотворной творческой деятельности!

*Зам. главного редактора, к.геогр.н.
Кирилл Дегтярев*

Юбилей Главного редактора нашего журнала академика РАН М.Ч. Залиханова



Рис. 1. Академик М.Ч.Залиханов

22 июня исполнилось 85 лет главному редактору нашего журнала академику Михаилу Чоккаевичу Залиханову.

М.Ч.Залиханов родился 22. 06.1939 года в Кабардино-Балкарии в селе Тегенекли у подножья Эльбруса. После окончания в 1956 средней школы в с.Ивановка Киргизской ССР и возвращения в Кабардино-Балкарию, начал трудовую деятельность лаборантом в Эльбрусской экспедиции АН СССР, ставшей позже известным в стране Высокогорным геофизическим институтом. В этот период он занялся наукой и продолжил образование, поступив в университет. Кроме этого активно занялся альпинизмом, создав одну из самых сильных альпинистских команд в стране и став ее капитаном. Участвуя во Всесоюзных первенствах по альпинизму, был многократным призером и чемпионом СССР и РСФСР по альпинизму, стал мастером спорта Международного класса.

Поступив в Кабардино-Балкарский государственный университет (КБГУ) окончил несколько факультетов: физико – математический факультет (1962), сельскохозяйственный факультет (1966) и инженерно-технический факультет (1971). Был первым Ленинским стипендиатом КБГУ. В этот и последующие периоды активно занимался наукой став кандидатом географических наук (1964), кандидат биологических наук (1968) и, позже - доктором географических наук (1974) (тема докторской диссертации «Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа»). Занимался преподавательской деятельностью, в разные годы был старшим научным сотрудником кафедры геофизики КБГУ, доцентом кафедры общей физики, профессором по специальности физическая

география, геофизика и геохимия ландшафтов (1984) и др. В 1980 г. он создал кафедру геофизики и экологии в Кабардино-Балкарском государственном университете. В 1977 году стал директором Высокогорного геофизического института, проработав в этой должности до 1999 г., став затем его научным руководителем. За это время М.Ч.Залиханов воспитал сотни молодых ученых, десятки кандидатов и докторов наук.

Он – основатель научной школы по исследованию опасных геофизических и гидрометеорологических явлений, разработке методов борьбы с их вредным воздействием.

Под его научным руководством разработаны специальные авиационно-ракетные технологии двойного назначения, основанные на новых физических принципах. За эти работы он в 1987 году был удостоен звания Героя Социалистического Труда.

В 1984 году М.Ч.Залиханов избран Членом-корреспондентом Академии наук СССР. В 1990 г. он стал одним из самых молодых действительных членов АН СССР. В 2012 году избран Советником РАН.

Академик Залиханов - Почётный профессор МГУ им. М. В. Ломоносова и 25 ведущих Российских и зарубежных университетов, Почетный член Академии наук Татарстана, действительный член Академии военных наук, Академии инженерных наук им. Плеханова, Военно-инженерной академии и нескольких десятков других. Много лет представлял нашу страну в Высшем Совете ООН по стихийным природным процессам и 12 лет был вице-президентом Всемирной организации законодателей по сохранению окружающей среды (GLOBE International). В 2012 г. академик Залиханов стал первым учёным-парламентарием нашей страны, удостоенным высшей награды этой авторитетной международной организации при ООН - «Хрустальный глобус» - «...за выдающийся личный вклад в устойчивое развитие».

Высокогорный геофизический институт (ВГИ) под руководством М. Ч. Залиханова стал головным центром страны по научной разработке и внедрению новых средств активных воздействий на опасные природные явления – град, сели, снежные лавины. Опираясь на свои и сотрудников института научные достижения в геофизике и метеорологии, создал ряд уникальных инновационных разработок гражданского и военного назначения.

Фундаментальные исследования М.Ч.Залиханова снеголавинного режима, селевой активности ряда высокогорных районов страны и мира, имеют большое прикладное значение. Под его научным и организаторским руководством осуществлена разработка российских методов и средств активных воздействий, широко применяемых в нашей стране и экспортируемых в ряд стран.

М.Ч.Залиханов в течении ряда лет был членом Комитета Госдумы по экологии, председателем Высшего экологического совета, членом специальной государственной Комиссии по ввозу и хранению ядерного топлива в России, председателем Комиссии Госдумы по устойчивому развитию.

Еще со студенческих лет, М.Ч.Залиханов активно занимался общественной деятельностью. Многократно становился депутатом городских и республиканского Советов народных депутатов, а позже избирался в Верховный Совет СССР. М. Ч.

Залиханов, став одним из авторитетнейших Народных депутатов СССР в Северо-Кавказском регионе, был удостоен Большой золотой медали Советского Фонда Мира за сохранение мира и национального согласия в стране. Позже, неоднократно избирался в Государственную Думу РФ. Законотворческая деятельность академика М. Ч. Залиханова в Госдуме РФ отмечена двумя Почётными грамотами Президента и шестью грамотами Председателя Государственной Думы, и эта парламентская работа хорошо известна общественности. Общественная, научная и законотворческая деятельность отмечены многими государственными наградами – званием Герой Социалистического труда и медалью «Золотая Звезда», орденом Ленина, орденами «За заслуги перед Отечеством» IV и III степени, орденом «Дружбы народов», орденом Красной Звезды и другими. Награждался орденами и медалями других стран – Афганистана, Кыргызстана, Молдовы, Южной Осетии. Лауреат Государственной премии РФ, лауреат премии Правительства РФ, лауреат премии Ленинского комсомола, которая приравнена к Госпремии СССР.

Академик М.Ч.Залиханов Заслуженный деятель науки всех Северо-Кавказских республик, удостоен высших наград этих республик, Ставропольского края и Южной Осетии.

Академиком Залихановым опубликовано свыше 400 научных работ, сделано 36 изобретения и издано более 20 монографий.

Академик М.Ч. Залиханов в течение многих лет являлся главным редактором и членом редакционных советов многих научных и научно-популярных периодических изданий и энциклопедий.

С момента учреждения нашего журнала «Окружающая среда и энерговедение» в 2018 году, академик М.Ч.Залиханов бессменно является Главным редактором. За этот период журнал стал достаточно авторитетным и известным изданием. В начале 2024 года наш журнал включен в список изданий ВАК.

Редакционная коллегия поздравляет юбиляра со славным юбилеем и желает крепкого здоровья, дальнейшей плодотворной работы и дальнейших достижений в науке, образовании, общественной деятельности!

*Член редколлегии,
к.геогр.н. Алим Залиханов*

EDN: XJRQTO

Памяти Артура Николаевича Чилингарова



Рис.1. А.Н. Чилингаров

1 июня 2024 года на 85 году жизни после тяжелой и продолжительной болезни скончался знаменитый советский и российский полярник, географ, известный общественный деятель Артур Николаевич Чилингаров. Мало кто в нашей стране не знал этого замечательного человека, не запомнил его обаятельную улыбку и характерную «полярную» бороду. В течение многих лет Артура Николаевича можно было увидеть во многих телевизионных новостях, посвященных полярной тематике, развитию северных регионов, законотворческой деятельности в Государственной Думе и Совете Федерации и многих других.

Жизненный путь А.Н.Чилингарова начался в Ленинграде, где он родился 25 сентября 1939 года. В 1941 году вместе с матерью и бабушкой оказался в блокадном городе. После эвакуации в Северную Осетию, в город Орджоникидзе, через несколько лет после окончания войны, семья вернулась в Ленинград. Окончив среднюю школу, он устроился на Балтийский судостроительный завод учеником слесаря-монтажника. Проработав два года, Артур Николаевич подал документы на поступление в Высшее инженерное морское училище имени адмирала Макарова, рассчитывая попасть на механический факультет, однако, не пройдя по конкурсу, поступил на арктический факультет. Таким образом, и определился дальнейший жизненный путь А.Н.Чилингарова как полярного исследователя и специалиста.

Во время учебы в училище Артур Николаевич активно занимался спортом – футболом, легкой атлетикой. Становился призером и чемпионом студенческих и городских соревнований, был одним из лучших спортсменов училища. Позже, хорошая спортивная форма и крепкое здоровье позволило А.Н.Чилингарову переносить все те тяготы и экстремальные физические и психологические нагрузки, с которыми сталкивались и сталкиваются работающие на Севере люди.

После окончания училища в 1963 году Чилингаров был направлен по распределению в якутский полярный поселок Тикси, «столицу Арктики», как тогда называли работающие там люди и связанные с севером специалисты. Начал он научную работу в качестве младшего научного сотрудника Арктического и Антарктического НИИ. В этот период Артур Николаевич активно занимался спортом, общественной деятельностью, избирался председателем районного спорткомитета, первым секретарем районного комитета комсомола. До 1969 года занимался комсомольской работой и за этот период проявил себя как активного комсомольского лидера и активиста, получил известность в комсомольской среде.

В 1969 году Артур Ниролаевич возвращается в Арктический и Антарктический институт и начинает активно заниматься наукой. В 1969-1971 годах возглавлял высокоширотную научную экспедицию «Север-21», являлся руководителем дрейфующей станции «СП-19», заместителем начальника «СП-22». С 1971 года являлся начальником антарктической станции Беллинсгаузен 17-й антарктической экспедиции.

В 1974 году, после окончания 17-й антарктической экспедиции, наступает новый период в деятельности А.Н. Чилингарова – административный, когда он был назначен начальником Амдерминского территориального управления по гидрометеорологии и контролю природной среды, а в 1979 году становится начальником Управления кадров и учебных заведений, членом коллегии Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды.

В 1985 году, когда полярное научно-исследовательское судно «Михаил Сомов» оказалось блокировано мощными льдами в Антарктике, А.Н. Чилингаров возглавил экспедицию по спасению людей и судна. После череды неудач и неприятностей на ледоколе «Владивосток», направленном на спасение затертого льдами корабля, случившихся из-за сильнейших зимних ураганов в свирепых «ревуших сороковых» широтах и в более южных антарктических водах, удалось добраться до «Сомова» и вывести его в открытое море. Ход и результаты спасательной операции были широко представлены в средствах массовой информации тех лет. Артур Николаевич за свой героизм, мужество, умелое руководство спасательной операцией получил всесоюзную известность, был награжден государственными орденами и медалями, получил звание Героя Советского Союза.

А.Н. Чилингаров в 1991 году был назначен Советником по вопросам экологии Арктики и Антарктики председателя Верховного Совета РФ.

Все последующие годы Артур Николаевич активно занимался экспедиционной деятельностью как организатор и участник, многократно бывал на Северном и Южном полюсах планеты, опускался в батискафе на дно Северного Ледовитого океана, исследуя структуру дна океана, изучал загрязнение океана после аварии АЭС «Фукусима», занимался другими экологическими проблемами. Все эти десятилетия Чилингаров активно занимался организационной, законотворческой и административной деятельностью, связанной с полярной тематикой – руководил Ассоциацией полярников, Государственной полярной академией, был первым вице-президентом Русского географического общества, занимался разработкой международных и российских законов по регулированию пользования полярных территорий, международному сотрудничеству в Арктике и т.д. Результаты Высокоширотной арктической глубоководной экспедиции, проведенной в 2007 году

под руководством Чилингарова позволили выявить продолжение континентального шельфа на значительное расстояние на север от побережья России, что позволило нашей стране претендовать на гигантские участки дна Северного Ледовитого океана, богатыми природными ископаемыми. Результаты экспедиции и роль А.Н.Чилингарова высоко оценены государством – в 2008 году Артур Николаевич стал Героем Российской Федерации.

В результате многолетних научных исследований, А.Н.Чилингаров стал доктором географических наук, защитив докторскую диссертацию по теме «Междисциплинарные проблемы Крайнего Севера Российской Федерации: географический аспект», получил Государственную премию СССР, был избран членом-корреспондентом РАН (2008 г).

Значительную часть трудовой биографии Артура Николаевича занимает его законодательская деятельность в период работы депутатом Государственной Думы. Он избирался в состав Думы с 1 по 5 созывов (1993-2011 годы), 7 и 8 созывов (2016-2024 годы). Назначался в Совет Федерации в 2011-2014 годы. Все эти годы активно занимался законодательской, политической, общественной деятельностью, занимал руководящие посты в Государственной Думе, партийной организации, межфракционных структурах – был заместителем Председателя Государственной Думы первого - четвёртого созывов, и сопредседателем общественного объединения «Регионы России», членом Высшего Совета партии «Единая Россия» и многих других. А.Н.Чилингаров являлся разработчиком и инициатором принятия многих государственных законов, в том числе касающихся охраны природы и устойчивому развитию северных территорий.

Многолетняя трудовая деятельность А.Н.Чилингарова отмечена многими государственными, международными, отраслевыми, общественными наградами. Можно отметить такие значимые награды как ордена «За заслуги перед отечеством» II, III, IV степеней, орден Ленина, орден Трудового Красного Знамени, орден «Знак Почета», Почетные грамоты Правительства и Президента, орден Преподобного Сергия Радонежского 1 степени и многие другие ордена, медали, Почетные грамоты, Знаки, премии, различные почетные звания, и, конечно, звания Героя Советского Союза и Героя Российской Федерации.

Люди, как хорошо знавшие А.Н.Чилингарова, так и встречавшиеся с ним по работе, общественной, политической, выборной деятельности, обращавшиеся к нему с запросами и просьбами как депутату Думы и т.д., всегда отмечали его отзывчивость, настойчивость, душевную чуткость, желание помочь делом, словом, ценным советом.

Артур Николаевич Чилингаров останется в нашей памяти как замечательный человек, ученый, организатор науки, крупный общественный и государственный деятель, большой патриот России.

*Член редколлегии,
к.геогр.н. Алим Залиханов*