



2020
№4(8)

Окружающая среда и энерговедение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703
(Online)



**НИ Лаборатория ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
информирует о новом электронном научном журнале
"Окружающая среда и энергоснабжение".**

Журнал выходит при научно-информационной поддержке НИИ ВИЭ Географического
факультета МГУ имени
М.В. Ломоносова и Русского географического общества.

Сведения о журнале, требованиях к публикациям и порядке электронного
представления статей размещены
на сайте: <http://jeees.ru> .

ISSN 2658-6703

Публикация статей бесплатная.

Редакция журнала предлагает направлять рукописи статей для публикации через сайт
после предварительной регистрации, либо на E-mail редакции.

*С уважением, редакция журнала
"Окружающая среда и энергоснабжение"*

<http://jeees.ru>

info@jeees.ru

Окружающая среда и энерговедение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

2020№4(8)

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», PublicKnowledgeProject, OpenArchivesInitiative, OpenAIRE



Главный редактор

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

Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь
РИА (МЭИ)
Березкин Михаил Юрьевич, к.г.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.г.н. (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
Добролюбов Сергей Анатольевич, д.г.н., профессор,
член-корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).
Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН).
Залиханов Алим Михайлович, к.г.н. (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
Киселева Софья Валентиновна, к.ф.-м. н. (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
Красовская Татьяна Михайловна, д.г.н., профессор (МГУ
им. М. В. Ломоносова).
Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (KTH Royal Institute of
Technology, Sweden).
Нигматулин Роберт Искандерович, д.ф.-м.н., профессор,
академик РАН (ИО РАН).
Соловьев Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н. (ИО РАН)
Тикунев Владимир Сергеевич, д.г.н., профессор (МГУ им.
М. В. Ломоносова).
Показеев Константин Васильевич, д.ф.-м.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 энергетическое. 2020 №4(8)

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

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

Подписан в свет 30.12.2020.

Издатель:

Закрытое акционерное общество "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 энергетическое», 2020

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

ISSN 2658-6703



9 772658 670003

Содержание

| | |
|--|----|
| М.Ч. Залиханов, К.С. Дегтярев Всероссийская научная конференция и XII научная молодёжная школа « Возобновляемые источники энергии». 4 | |
| А.Ю. Абрамова Государственные меры поддержки возобновляемой энергетики в Китае..... 6 | 6 |
| Г.Е. Битяева, М.М. Сангаджиив Использование солнечных модулей в заповедных зонах Калмыкии15 | 15 |
| В.А. Бутузов Формирование российской энергетической научно- технической школы в начале XX века24 | 24 |
| В.В. Бушуев, А.Н. Клепач, Д.А. Соловьев, Н.В. Сокотушенко Анализ и прогноз цикличности социо-природных явлений первой половины 21-го века36 | 36 |
| А.И. Громов Энергоинформационное общество и человек: размышления и вопросы45 | 45 |
| А.И. Иванов, С.В. Стрижак Возможности макромасштабной и мезомасштабной моделей для моделирования работы ветропарка на примере Адыгейской ВЭС.....52 | 52 |
| М.О. Саница Повышение уровня метрологического обеспечения лопастей ВЭУ больших размеров (от 60 м) на этапах производства62 | 62 |

Content

| | |
|--|----|
| M.Ch. Zalihanov, K.S. Degtyarev All-Russian Scientific Conference and XII Junior Scientific School "Renewable Energy Sources" 4 | |
| A.Yu. Abramova Police Measures for Renewable Energy in China 6 | 6 |
| G.E. Bityaeva, M.M. Sangadzhiev Use of Solar Modules in Reserve Zones of Kalmykia15 | 15 |
| V.A. Butuzov Formation of Russian Energy Scientific and Technical School at the Beginning of the XX Century24 | 24 |
| V.V. Bushuev, A.N. Klepach, D.A. Soloviev, N.V. Sokotushchenko The Analysis and Forecast of the Cyclical Nature of Socio-Natural Phenomena in the First Half of 21 st Century36 | 36 |
| A.I. Gromov Energy Information Society and Man: Reflections and Questions..... 45 | 45 |
| A.I. Ivanov, S.V. Strijhak Possibilities of Macroscale and Mesoscale Models for Modelling the Operation of a Wind Farm on the Example of Adygeya Wind Farm52 | 52 |
| M.O. Sinitza Increasing the Level of Metrological Support for Large Wind Turbine Blades (from 60 m) at the production stages62 | 62 |

От редакции журнала «Окружающая среда и энерговедение»

Всероссийская научная конференция и XII научная молодёжная школа «Возобновляемые источники энергии»

Аннотация. Информация о регулярной конференции и молодёжной школе по возобновляемым источникам энергии, в МГУ им. М.В. Ломоносова. Текущий номер ОСЭ состоит большей частью из статей, предоставленных участниками последней конференции.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, конференции, молодые исследователи.

24-25 ноября 2020 г. в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова географическим факультетом МГУ совместно с Объединённым институтом высоких температур РАН организована и проведена Всероссийская научная конференция с международным участием «Возобновляемые источники энергии». Мероприятие поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (проект №20-08-22064). В рамках Всероссийской конференции была проведена XII научная молодёжная школа по той же тематике». Подробную информацию о мероприятии можно получить по адресу: <https://www.rsemsu.com/>.

Всероссийская научная конференция с международным участием, проведенная в 2020 г., является развитием проекта «Научная молодёжная школа «Возобновляемые источники энергии», выполняемого географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова в сотрудничестве с профильными институтами РАН и РАСХН с 1999 г. За это время были проведены двенадцать мероприятий – обычно они проводятся с интервалом в два года, в которых приняли участие за это время в общей сложности более 3000 молодых ученых, студентов, магистрантов и аспирантов. Интерес к тематике ВИЭ за этот период существенно вырос, соответственно, расширилась география участников, увеличилось их число, повысился научный уровень.

В последние годы возникли и новые тематические направления: геоинформационные системы (ГИС), вопросы управления энергетическими объектами и

сетями на ВИЭ, аккумулирующие системы для ВЭ. Также значительно вырос интерес к исследованиям в области биоэнергетики и водородной энергетики.

В текущем номере журнала «Окружающая среда и энерговедение» большая часть материалов – от участников прошедшей конференции, на тему, по которым авторами были сделаны доклады. Это статьи:

Абрамова А.Ю. Государственный меры поддержки возобновляемой энергетики в Китае.

Битяева Г.Е., Сангаджиев М.М. Использование солнечных модулей в заповедных зонах Калмыкии.

Иванов А.В., Стрижак С.В. Возможности макромасштабной и мезомасштабной моделей для моделирования работы ветропарка на примере Адыгейской ВЭС.

Синица М.О. Повышение уровня метрологического обеспечения лопастей ВЭУ больших размеров (от 60м) на этапах производства.

По итогам конференций и молодёжных школ – в том числе, последней, публикуются сборники – по вопросам их приобретения можно обратиться в Научно-исследовательскую лабораторию возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Также выход текущего номера приурочен к 100-летней годовщине важнейшего события в истории российской энергетики – принятия плана ГОЭЛРО. Людям, стоящим у истоков развития энергетики в нашей стране посвящена статья В.А. Бутузова «Формирование российской энергетической научно-технической школы в начале XX века».

М.Ч. Залиханов, главный редактор
К.С. Дегтярев, редактор

From the editorial board of Journal of Environmental Earth and Energy Study

All-Russian Scientific Conference and XII Junior Scientific School “Renewable Energy Sources”

Abstract. Information on a regular conference and junior school for renewable energy sources at Lomonosov Moscow State University. The current issue of JEEES magazine consists mainly of the articles participants of the conference gave.

Keywords: renewable energy sources, conferences, junior researchers.

M.Ch. Zalihanov, editor-in-chief
K.S. Degtyarev, editor

УДК 620.9

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ МЕРЫ ПОДДЕРЖКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КИТАЕ

Абрамова Алина Юрьевна^[0000-0001-7904-6818]

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

E-mail: abramovaayu@yandex.ru

Аннотация. Статья представляет собой аналитический обзор государственных мер поддержки, принятых в Китае в области возобновляемой энергетики. Всего за 15 лет Китаю удалось создать новый рынок электроэнергии и стать мировым лидером отрасли. Это стало возможным благодаря комплексным государственным мерам поддержки отрасли возобновляемой энергетики, масштабным инвестициям и выполнению амбициозных целей, стоящих перед правительством Китая.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, государственные меры поддержки, Китай, feed-in тариф.

На протяжении нескольких лет Китай является мировым лидером возобновляемой энергетики. Курс на развитие отрасли ВЭ был выбран, чтобы разрешить ряд проблем в секторе энергетики страны. Быстрый рост экономики способствовал увеличению потребления электроэнергии при ограниченных энергоресурсах. Годовой прирост первичного потребления энергии составил 4,3% в 2018 году и в среднем 3,9% за последние 10 лет [1]. При этом большую долю в структуре энергопотребления занимает ископаемое топливо, в 2019 году на уголь приходилось 61% общего первичного энергопотребления [1]. Еще одной проблемой является уязвимость энергетической безопасности страны – 20% потребляемой энергии приходится на импортируемые ископаемые источники [2].

Высокая концентрация ископаемых источников энергии в национальном энергобалансе ведет к высокому уровню выбросов вредных веществ. Китай является основным эмитентом CO₂ (30% общемирового объема выбросов приходится на КНР), но ставит перед собой цели по их сокращению, к 2030 году уровень выбросов должен уменьшиться на 60-65% по сравнению с уровнем 2005 года [1].

В связи с этим, перед Китаем стоит двойная задача достижения экономического роста при обеспечении защиты окружающей среды.

Принятие Закона о возобновляемых источниках энергии. В 2006 году в Китае вступил в силу Закон о возобновляемых источниках энергии, это стало

отправной точкой развития возобновляемой энергетики в стране. Закон устанавливает общие условия для возобновляемой энергетики и ставит цель сделать эту область приоритетным направлением. Он охватывает все современные виды возобновляемой энергии: энергию ветра, солнца, воды, биомассы, геотермальную и энергию океана. До этого гидроэнергетика являлась основным источником возобновляемой энергии в стране.

Закон о возобновляемых источниках энергии стал основанием для применения четырех механизмов стимулирования развития сектора возобновляемой энергетики в Китае: постановка среднесрочных и долгосрочных планов развития отрасли возобновляемой энергетики, проведение политики обязательного подключения проектов ВЭ к сети, создание Национального фонда развития ВЭ и введение системы Feed-in тарифов [3].

Постановка национальных целей в области ВЭ и контроль их выполнения. Департамент энергетики Государственного совета Китая отвечает за общую реализацию целей в области возобновляемых источников энергии на национальном уровне. Он устанавливает среднесрочные и долгосрочные целевые показатели для общего объема использования возобновляемых источников энергии и на основе этого готовит национальные пятилетние планы для реализации целевых показателей. 11-ый пятилетний план Китая на 2006-2010 год стал первым, в который были включены цели по развитию электроэнергии от ветровых, солнечных и био ресурсов.

Политика обязательного подключения проектов ВЭ к сети и заключение соглашения о закупке электроэнергии, выработанной на базе ВИЭ (Power Purchase Agreement – PPA). Закон о возобновляемых источниках энергии требует от сетевых компаний покупать фиксированный процент возобновляемой энергии (за исключением гидро-ресурсов), выработанной в пределах их зоны покрытия и осуществлять приоритетную генерацию электроэнергии от возобновляемых источников в последовательном распределении электроэнергии. Это положение стало знаковым, поскольку оно послужило основой для рынка генерируемой возобновляемой энергии и помогло стимулировать четкий, долгосрочный рыночный спрос, необходимый для инвестиций в крупномасштабные проекты энергетической инфраструктуры.

Создание Национального фонда развития возобновляемой энергетики за счет ассигнований из бюджета центрального правительства. Средства Фонда предназначены для проведения исследований в области науки и технологий, связанных с разработкой и внедрением проектов ВИЭ, обеспечения сельских и отдаленных районов электроэнергией от ВИЭ, исследования ресурсного потенциала регионов, формирования собственного рынка производства оборудования для создания электростанций и энергокомплексов на базе ВИЭ.

Введение системы Feed-in тарифов. Управление ценообразования Национальной комиссии по развитию и реформам Китая уполномочено устанавливать Feed-in тарифы для различных типов производства возобновляемой энергии (ветра, солнца и биомассы). Ценообразование тарифов зависит от средней стоимости проекта и внутренней нормы прибыли для каждого региона.

Для электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, доходы от продажи электроэнергии в сеть формируются из двух частей. Во-первых, продажа электроэнергии от ВИЭ осуществляется по фиксированной стоимости равной стоимости электроэнергии, выработанной от угольных станций. Во-вторых, электростанциям, работающим на ВИЭ, предоставляются субсидии из Национального фонда развития ВЭ, в объеме равном разнице Feed-in тарифа на ВЭ и местной стоимости электроэнергии на уголь.

В первой версии Закона о возобновляемых источниках энергии указывалось, что затраты, связанные с тарифами на подключение возобновляемых генераторов к сети, должны распределяться за счет конечных потребителей электроэнергии по всему Китаю. В соответствии с мерами по разделению затрат Feed-in тариф должен был взиматься сетевой компанией непосредственно со счета за электроэнергию конечного пользователя. Выплаты сетевым компаниям должны были приходиться ежемесячно, но на практике процесс занимал более 6 месяцев в связи с расчетом размера субсидий для каждой провинции. Эта задержка создала нагрузку на поток денежных средств для производителей ВЭ и их инвесторов, в конечном итоге препятствовала увеличению инвестиций, необходимых Китаю для достижения своих целей развития отрасли. Поэтому в 2009 году надбавки к обычной стоимости электроэнергии были объединены в общий национальный Фонд развития ВЭ и стали распределяться между сетевыми компаниями (при этом государственные средства на поддержание Фонда сохранились).

В 2009-2011гг были проведены аукционы по установке Feed-in тарифа для проектов ветровых, солнечных и био электростанций. В результате тарифная сетка была поделена на несколько уровней, проекты в районах Китая с наименее богатыми ресурсами получали самый высокий тариф.

Национальная комиссия по развитию и реформам Китая редко снижала ставку Feed-in тарифа на протяжении последних 10 лет. Тарифная сетка для проектов ВЭУ была в диапазоне 0,044 – 0,093 USD/кВтч [4], для проектов фотоэлектрических станций 0,061 – 0,11 USD/кВтч [5], для проектов по производству электроэнергии из биомассы сельского и лесного хозяйства в размере 0,038 – 0,11 USD/кВтч [4].



Рис. 1. Установленная мощность сетевых станций ВИЭ в Китае, ГВт [6]

Принятые Feed-in тарифы привели к быстрому увеличению установленных мощностей проектов возобновляемой энергии. По данным международного агентства по возобновляемым источникам энергии IRENA с момента вступления в силу Закона с 2006 по 2019 гг в Китае было установлено 1 971 ГВт мощностей (без учета атомных и гидро электростанций), из них ВЭУ – 1 182 ГВт, солнечных фотоэлектрических станций – 691 ГВт, биоэлектростанций – 98 ГВт [6].

Фокус на регионы с высоким энергопотреблением. В рамках среднесрочного и долгосрочного плана развития возобновляемой энергетики Китая была поставлена цель по увеличению доли возобновляемых источников энергии (включая атомную и гидро энергию) в общем объеме первичного потребления энергии к 2010 году – до 10%, к 2020 году – 15%. В 2010 году этот показатель был 8,3%, т.е. к 2020 году Китаю необходимо было увеличить объем рынка ВЭ почти в два раза [7].

Ранняя политика по внедрению проектов возобновляемой энергии привела к тому, что более 70% крупномасштабных проектов в Китае в области ветровой и солнечной энергии были реализованы в богатых природными ресурсами северных регионах (Внутренняя Монголия, Синцзянь, Ганьсу), где, однако, наблюдался низкий спрос на электроэнергию и низкая мощность сетей электропередач для экспорта электроэнергии в другие регионы Китая [8]. Это стало причиной замедления темпов роста выработки энергии от возобновляемых источников в 2016 году: сокращение выработки энергии от ветровых станций составило 17%, фотоэлектрических станций – 10% [2]. В результате 13-й пятилетний план развития экономики Китая на 2016-2020 гг поставил задачу улучшить интеграцию возобновляемых источников энергии в энергосистему страны.

Для оценки рыночной и инвестиционной среды в каждом регионе Китая для производства энергии от ветровых и солнечных фотоэлектрических станций Национальное энергетическое управление поделило регионы на три разных уровня (красный, оранжевый и зеленый) в зависимости от объема генерации и

мощности электроэнергетики. Согласно 13-ому пятилетнему плану, требовалось приостановить новые проекты в «красных» регионах, в основном западных, в которых наблюдается переизбыток генерируемой электроэнергии. Новое использование ветровой и солнечной энергии должно быть сосредоточено в провинциях с более высоким потреблением энергии (центральные и прибрежные регионы).

Отмена субсидий для проектов ВЭ. Существующие проекты по возобновляемой энергетике столкнулись с рисками, связанными с задержкой выплат субсидий и ценовой конкуренцией на рынках электроэнергии. С 2012 года правительство выплатило более 400 млрд юаней (61 млрд долл. США) в виде субсидий на развитие отрасли из Фонда развития возобновляемой энергетики. К середине 2018 года в фонде образовался дефицит более чем на 100 млрд юаней (15,5 млрд долл. США) [9].

Это стало одной из причин, почему в январе 2019 года правительство Китая объявило о плане запуска ветровых и солнечных пилотных проектов без субсидиарной поддержки в регионах с превосходными ветровыми или солнечными ресурсами и высоким местным потреблением электроэнергии. Данные проекты не будут получать субсидии национального правительства, и Feed-in тариф не должен быть установлен выше местного тарифа на уголь. Таким образом, доходы компаний будут формироваться только за счет продажи электроэнергии в сеть по цене равной стоимости электроэнергии, выработанной от угольных станций. Также правительство Китая предоставит вспомогательные стимулы для пилотных проектов: освобождение от 20-летнего соглашения с сетевыми организациями на покупку электроэнергии и платы за сделки покупки/продажи/аренды земли.

Политика запуска пилотных проектов увеличит масштабы использования ветровой и солнечной энергии в наиболее экономически эффективных регионах и тем самым ускорит поэтапный отказ от субсидий. Правительство Китая ожидает, что проекты солнечных фотоэлектрических станций и наземных ВЭУ больше не будут получать субсидии с начала 14-ого пятилетнего плана развития ВЭ.

Первая группа проектов без субсидиарной поддержки была анонсирована в мае 2019 года, регионы в которых они будут реализованы отмечены на Рисунке 2.

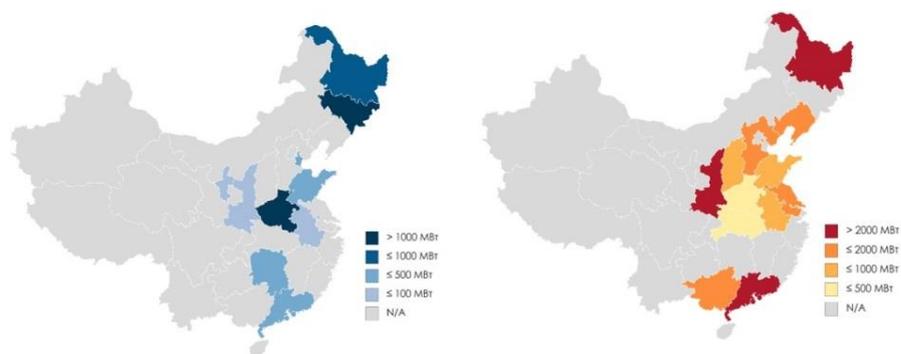


Рис. 2. Регионы Китая, в которых будут осуществлены проекты по установке наземных ветровых электростанций (слева) и фотоэлектрических станций (справа) без субсидиарной поддержки [2].

Общая мощность проектов без субсидий составляет 20,76 ГВт из них: 4,51 ГВт наземных ВЭУ, 14,78 ГВт фотоэлектрических установок и 1,47 ГВт проектов с распределенной генерацией энергии. Ожидается, что большинство проектов будет реализовано в 2020-2021 гг. Северо-Восточный Китай имеет наибольшее количество проектов без субсидий, поскольку при относительно более низкой мощности ветра и солнечной фотоэлектрической энергии, он имеет лучший доступ к сети для новых проектов.

Введение обязательных квот потребления электроэнергии. В связи с тем, что в Китае есть провинции, которые не импортируют энергию от ВИЭ из других регионов, был разработан план по увеличению до 30% доли возобновляемых источников энергии в основных межобластных и межрегиональных объемах электропередачи к 2020 году [2]. Так, в мае 2019 года в Китае были введены обязательные и стимулирующие квоты потребления возобновляемой энергии для каждой провинции, требующие от розничных продавцов электроэнергии и конечных пользователей увеличения потребления возобновляемой энергии. Соответствующие субъекты могут достичь своих целей также путем покупки избыточной энергии у других субъектов. Через 6 месяцев, к 2020 году треть из заявленных провинций достигли необходимого уровня потребления.

Таким образом, Китай сосредоточился на трех основных направлениях политики в области возобновляемых источников энергии: реализации аукционов для субсидируемых проектов, расширение в ветровой и солнечной энергетике масштабов проектов без субсидий и приоритетном использовании возобновляемой энергии как на сетевых станциях, так и в распределенной генерации и станциях децентрализованного энергоснабжения на ВИЭ.

Основными направлениями развития сектора ВЭ Китая на 2020-2021 года стали: запуск запланированных проектов ВИЭ без субсидиарной поддержки к концу 2021 года, фокус на наращивание мощностей шельфовых ВЭУ и развитие распределенной генерации фотоэлектрических установок, стимулирование местных органов власти к обеспечению передачи и потребления электроэнергии для новых проектов на базе ВИЭ.

На следующие пятилетние планы развития правительство Китая ставит целью сделать возобновляемую энергетику ядром национальной энергосистемы. К 2025 году ожидается установка ветровых электростанций мощностью 500 ГВт, солнечных фотоэлектрических станций – 530 ГВт. К концу 16-го пятилетнего плана планируется достижение установленной мощности ВЭУ и фотоэлектрических станций до 150 ГВт в год.

К 2020 году Китаю удалось практически с нуля создать новый рынок возобновляемой энергетики и стать мировым лидером отрасли. Для этого потребовалось огромное количество инвестиций, только в 2018 году было направлено 85 млрд долл. США на развитие ВЭ (70% от общего объема инвестиций в сектор энергетики Китая) [2]. С помощью государственной поддержки технологиче-

ского сектора были снижены капитальные затраты на проекты ВИЭ и, как следствие, нормированная себестоимость электроэнергии (с 2008 по 2018 год нормированная себестоимость электроэнергии от ветровых станций в Китае снизилась на 15-20%) [2]. В то же время развитие индустрии имеет и социальные положительные последствия: создан новый рынок труда – в КНР самое большое количество рабочих мест в секторе ВЭ – 4,08 млн 2018 году [2]; все население страны было обеспечено доступом к электроэнергии, включая сельские территории и домохозяйства в труднодоступных местностях, половина этих территорий была обеспечена за счет ВИЭ.

Опыт Китая свидетельствует о том, что для проведения успешной политики стимулирования развития ВИЭ необходимо, чтобы государственная поддержка представляла собой комплекс согласованных между собой и своевременных мер, которые не допускали бы пробелов на тех или иных этапах внедрения ВЭ, стимулировали развитие технологий, обеспечивали максимально полное использование полученной энергии от ВИЭ.

Литература

1. The Global Energy Statistical Yearbook 2020. [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://yearbook.enerdata.net>
2. China Renewable Energy Outlook 2019. [Электронный ресурс]. 2020. URL: <http://boostre.cnrec.org.cn/index.php/2020/03/30/china-renewable-energy-outlook-2019-2/?lang=en>
3. The Renewable Energy Law of the People's Republic of China. [Электронный ресурс]. 2005. URL: http://www.npc.gov.cn/zgrdw/englishnpc/Special/CombatingClimateChange/2009-08/25/content_1515301.htm
4. Independent evaluation group, China Renewable Energy Scale-Up Program: Phase One, [Электронный ресурс]. 2017. URL: <http://ieg.worldbank.org/sites/default/files/Data/ppar-chinarenewableenergy-10302017.pdf>
5. NDRC, Notice on improving solar PV feed-in tariff. [Электронный ресурс]. 2011. URL: <https://policy.asiapacificenergy.org/node/3182>
6. IRENA Data and statistics, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org/>
7. Energy and Climate Goals of China's 12th Five-Year Plan. [Электронный ресурс]. 2011. URL: [https://www.c2es.org/document/energy-and-climate-goals-of-chinas-12th-five-year-plan/#:~:text=The%2012th%20Five%20Year,and%20policies%20for%202011%20to%202015.&text=A%2016%20percent%20reduction%20in,per%20unit%20of%20GDP\)%%3B](https://www.c2es.org/document/energy-and-climate-goals-of-chinas-12th-five-year-plan/#:~:text=The%2012th%20Five%20Year,and%20policies%20for%202011%20to%202015.&text=A%2016%20percent%20reduction%20in,per%20unit%20of%20GDP)%%3B)
8. BloombergNEF China's Renewables Curtailment and Coal Assets Risk Map, Research Findings and Map User Guide. [Электронный ресурс]. 2017. URL: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/10/Chinas-Renewable-Curtailment-and-Coal-Assets-Risk-Map-FINAL_2.pdf
9. Forbes, Solar Leader China Is Slashing Its Subsidies On Solar Power – What You Need To Know. [Электронный ресурс]. 2018.
10. URL: <https://www.forbes.com/sites/jillbaker/2018/06/18/solar-leader-china-is-slashing-its-subsidies-on-solar-power-what-you-need-to-know/#3516228c2f9a>

Reference

1. The Global Energy Statistical Yearbook 2020. [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://yearbook.enerdata.net>
2. China Renewable Energy Outlook 2019. [Электронный ресурс]. 2020. URL: <http://boostre.cnrec.org.cn/index.php/2020/03/30/china-renewable-energy-outlook-2019-2/?lang=en>
3. The Renewable Energy Law of the People's Republic of China. [Электронный ресурс]. 2005. URL: http://www.npc.gov.cn/zgrdw/englishnpc/Special/CombatingClimateChange/2009-08/25/content_1515301.htm
4. Independent evaluation group, China Renewable Energy Scale-Up Program: Phase One, [Электронный ресурс]. 2017. URL: <http://ieg.worldbank.org/sites/default/files/Data/ppar-chinarenewableenergy-10302017.pdf>
5. NDRC, Notice on improving solar PV feed-in tariff. [Электронный ресурс]. 2011. URL: <https://policy.asiapacificenergy.org/node/3182>
6. IRENA Data and statistics, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org/>
7. Energy and Climate Goals of China's 12th Five-Year Plan. [Электронный ресурс]. 2011. URL: <https://www.c2es.org/document/energy-and-climate-goals-of-chinas-12th-five-year-plan/#:~:text=The%2012th%20Five%20Year,and%20policies%20for%202011%20to%202015.&text=A%2016%20percent%20reduction%20in,per%20unit%20of%20GDP%3B>
8. BloombergNEF China's Renewables Curtailment and Coal Assets Risk Map, Research Findings and Map User Guide. [Электронный ресурс]. 2017. URL: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/10/Chinas-Renewable-Curtailment-and-Coal-Assets-Risk-Map-FINAL_2.pdf
9. Forbes, Solar Leader China Is Slashing Its Subsidies On Solar Power – What You Need To Know. [Электронный ресурс]. 2018.
10. URL: <https://www.forbes.com/sites/jillbaker/2018/06/18/solar-leader-china-is-slashing-its-subsidies-on-solar-power-what-you-need-to-know/#3516228c2f9a>

Policy Measures for Renewable Energy in China

Abramova Alina

Lomonosov Moscow State University

E-mail: abramovaayu@yandex.ru

Abstract. The article provides an analysis of the government measures taken to support the renewable energy industry in China. China has managed to create a new electricity market and become the world industry leader in just 15 years. This became possible through comprehensive government measures to support the renewable energy industry, large-scale investments and the implementation of the ambitious goals facing the Chinese government.

Keywords: China, feed-in tariff, policy measures, renewable energy sources.

УДК 911.7: 551.1+551.8

Использование солнечных модулей в заповедных зонах Калмыкии

Битяева Галина Евгеньевна^{1,2} [0000-0002-9939-2192],Сангаджиев Мерген Максимович^{1,3} [0000-0001-5214-6624]¹ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова»,
г.Элиста²Email: erdnieva.galina1@mail.ru³Email: smm54724@yandex.ru

Аннотация. Республика Калмыкия, где более трёх четвертей года светит солнце, богата солнечной энергией. Кроме неё, в регионе можно использовать энергию ветра. Также в республике основной отраслью экономики является сельское хозяйство, и из его отходов возможно получение биогаза. В представленной работе рассматривается использование возобновляемых источников энергии в заповедных зонах, где нельзя применять дополнительные шумовые устройства и агрегаты. Также использование линий высоковольтной электропередачи может привести к пожарам, они занимают часть полезной площади заповедников, что требует дополнительного обслуживания. Для решения представленной задачи было проанализировано современное состояние заповедника по охране сайгачьих угодий в Калмыкии. Также исследованы вопросы инсоляции в зависимости от времён года и суток. Материалами послужили результаты экспедиционных маршрутов, проведенных за последние годы в заповеднике Черные Земли, данные кордонов. Полученные материалы позволят использовать нетрадиционные виды энергии для освещения кордонов, охотничьих и туристических угодий, в частности, солнечных модулей разной конструкции.

Ключевые слова: заповедник; Калмыкия; пустыни; солнечные модули; биогаз; ветер; Черные Земли.

1 Введение

Республика Калмыкия расположена в юго-восточной части Европы. Это единственная европейская территория, на которой расположены пустыни и полупустыни. Они составляют более 20% от всей территории Республики Калмыкия

(РК). Основной деятельностью является сельское хозяйство, в частности животноводство (более 3,0 млн голов овец, коров, коз, лошадей, верблюдов). На территории расположено около 3000 чабанских стоянок, расстояния между ними достигают нескольких десятков километров. Республика не воспроизводит сама энергию, а получает ее из соседних регионов: Ростовская область, Ставропольский край. Линии электропередач в основном проходят параллельно федеральным и республиканским автомобильным дорогам. Плотность населения составляет 3,63 чел./км² (2020). Общая численность населения - 271 135 чел. (2020).

Вопрос получения электроэнергии в республике наиболее актуален для малых населенных пунктов и чабанских стоянок. Прокладка 1 км высоковольтных линий в РК в среднем обходится 2,5 млн.руб. Поэтому фермерам, чабанам проводить линии в 10 км и более очень дорого.

Также проводка высоковольтных линий изымает из сельскохозяйственного оборота часть земли. Ранее нами были представлены доклады по использованию солнечных модулей на чабанских стоянках [1] и при чрезвычайных ситуациях [2]. Отдельно была издана монография «Энергетика на возобновляемых источниках в Республики Калмыкия: потенциал, опыт и перспективы», где представлено современное состояние энергетики в РК [3]. Ежегодно студенты инженерно-технологического факультета совместно с сотрудниками других вузов участвуют в международных конференциях по вопросам возобновляемых источников энергии (ВИЭ), имеются издания ВАК [4, 5].

В работе использованы материалы по геологии и географии РК, экологии и природопользованию. Рассмотрены вопросы исторического прошлого региона [6]. Ранее был проведен анализ климатических параметров региона изучения. Это связано с тем, что при проектировании и использования солнечных модулей обязательным фактором является знание климата, периода максимального и минимального значения параметров инсоляции территорий РК [7, 8].

Как мы отметили выше, пятая часть территории исследования - пустыни и полупустыни. Опустынивание напрямую влияет на работоспособность модулей, их запыленность, вероятность чрезвычайных ситуаций. Например, сильные ветра, суховей и пыль могут разрушить установленные модули [9].

Другим краеугольным вопросом является хозяйственная деятельность человека, которая часто приводит к сложным экологическим процессам [10].

Вопросы миграции и обеспечения сохранности поголовья сайгаков рассмотрены во многих работах. Их можно найти на сайтах Министерства природных ресурсов Калмыкии, заповедника Черные Земли. Поэтому мы можем представить работу наших сотрудников, проведенную осенью 2019 года на территории заповедника Черные Земли [11]. Текущий 2020 год с высокими температурами, сильными ветрами, достигавшими до 20 км/с и более, привёл к критическому состоянию пастбищ. Почти шесть месяцев на территории республики не было дождей. Особенностью работы является вопрос адаптации животных в современных условиях. Их нельзя оградить оградой, забором. Сайгаки много мигрируют как по территории заповедника (основного ареала обитания), так и за его пределами. Они доходят до степей Казахстана. Но в последние 5-10 лет количе-

ство животных сократилось с численности 1 млн голов (60-70 годы прошлого века) до 6-8 тыс. голов.

2 Цель исследования

Основной задачей, поставленной перед нами, является исследование возможности использования солнечных модулей в пустынных и полупустынных зонах. Второй задачей – исследование уже используемых солнечных модулей на особо охраняемых заповедных зонах.

Нами были проведены исследования заповедника Черные Земли, расположенного в РК, территориально относящегося к Юстинскому, Яшкульскому и Черноземельскому району. Получен акт внедрения, см. Приложение.

Основным вопросом является надежность конструкций, на которых будут монтироваться солнечные модули. Это может быть вариант наземного расположения, или вариант использования поверхности крыш зданий. Часть этого вопроса была рассмотрена в работах авторов ранее [5]. На фото 1 и 2 показана эти два варианта.



Рис. 1. Вариант монтажа солнечного модуля: 1 - наземный, 2 - стена здания. Фото Битяевой Г.Е.



Рис. 2. Вариант монтажа солнечного модуля на крыше здания на кордоне заповедника Черные Земли. Фото Сангаджиева М.М.



Рис. 3. Вариант монтажа солнечного модуля на земле, вариант заповедника. Фото Дегтярева К.С.

В заповедниках мы предлагаем располагать их так, как на фото 3. В этом случае нужно строить дополнительные заградительные зоны, чтобы животные их не разрушили. Необходимо проводить профилактические работы. Это можно проводить при ежедневных плановых обходах охраняемых территорий.

Учитывая инженерно-геологические особенности района, типы зданий или сооружений, климат, процесс инсоляции и т.д., выбирается тип и мощность солнечных модулей. Например, в республике более 250 солнечных дней, но есть дни, когда нет солнца, что тогда делать? Возникает много вопросов.

3 Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведения экспедиционных маршрутов по пустынной и полупустынной юго-западной части Европы, а в частности на территории РК нами за последние годы был получен огромный материал факторного характера (фото и видео наблюдения, записи, регистрация с использованием GPS навигаторов). На основании этих материалов были изданы работы студентов и сотрудников университета, многие из которых были выставлены на республиканские, федеральные и международные совещания и конференции, фото 4.



Рис. 4. Государственный природный биосферный заповедник Черные Земли. Фото Сангаджиева М.М.

Трудность исследования закрытых территорий заключается в том, что нужно использовать навигаторы, специальную и дорогостоящую фото- и видеотехнику. Это также относится к вопросам изучения геологии и географии региона, рельефа в динамике. Аппаратура в этом случае очень дорогостоящая. Использование дронов и вертолетов может повлиять на миграцию сайгаков, особенно в период гона, вынашивания малышей и их роста.

Использование малогабаритных солнечных модулей для видео- и фоторегистраторов позволит увеличить срок их работоспособности.

Надо уделить особое внимание территориям, по которым часто мигрируют стада сайгаков. Для этого надо учесть расположение зданий, которые должны быть удалены дальше от троп миграции животных.

На данное время на кордоне фото 4, полученная энергия используется как для освещения верхнего света, приготовления пищи и отопления. В совокупности с работой ветрогенераторов малой мощности можно иметь энергию круглогодично.

4 Заключение

Полученные данные позволят оценить современное состояние использования солнечных панелей, модулей и их составляющих в природоохранной деятельности особо охраняемых заповедных территорий, где не рекомендуется по действующим нормативам использовать агрегаты и другие устройства, увеличивающие шум, магнитные поля и т.д. Изучение динамики изменения выше названных характеристик требует дополнительных финансовых вливаний.

По результатам исследования нами предлагается:

Увеличение финансирования кордонов, с вводом строки затрат в бюджете республики;

Покупка современной аппаратуры, транспортной техники

Использование малогабаритных солнечных модулей для видео- и фоторегистраторов.

Дополнительно предусмотреть использование ветрогенераторов малой мощности (они работают почти без шума).

Все это позволит на кордонах и наблюдательных пунктах круглогодично иметь запас энергии для наблюдения за животными.

Литература

1. Иванова, Н.С. Использование солнечных модулей на чабанских стоянках в Республике Калмыкия / Н.С. Иванова // Возобновляемые источники энергии: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XI научной молодежной школы: 3-6 декабря 2018 года, Москва. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 584 с. С. 48-55. ISBN 978-5-317-05989-7, ISBN 2312-3354.

2. Панченко, В.А., Дегтярев, К.С., Сангаджиев, М.М., Манджиева Т.В. Использование солнечных модулей при чрезвычайных ситуациях. // Безопасность в условиях глобализации мира, Национальная науч. конф. (2019; Элиста). Национальная научная конференция «Безопасность в условиях глобализации мира», 19-20 декабря 2019 г. [Текст]: [посвящ. 75-летию со дня рождения первого президента КалмГУ, проф. Г.М. Борликова: материалы] / редкол.: Б.К. Салаев, В.А. Эвиев [и др.]. – Элиста: Изд-во Калм ун-та, 2019. – 330 с.: ил. – ISBN 978-5-91458-333-7. С. 176-180.
3. Дегтярев, К.С., Сангаджиев, М.М., Манджиева, Т.В. Энергетика на возобновляемых источниках в Республике Калмыкия: потенциал, опыт и перспективы. / Монография [Текст]. К.С. Дегтярев, М.М. Сангаджиев, Т.В. Манджиева. – Элиста: Изд-во Калм. ун-та, 2020. 140 с.: ил.
4. Эрдниева, Г.Е., Дегтярев, К.С., Сангаджиев, М.М., Панченко В.А. Обоснование использования солнечных модулей для подъема воды из скважин и колодцев на животноводческих стоянках в Калмыкии. // Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал, 2017. № 4 (25). С. 117 – 122.
5. Панченко, В.А., Эрдниева, Г.Е., Сангаджиев, М.М. Перспективы использования кровельных и фасадных солнечных модулей при строительстве современной школы на 1000 мест в г.Элиста. // «Недра Калмыкии», VIII регион. студ. науч.-практ. конф. (2018; Элиста). VIII региональная студенческая научно-практическая конференция «Недра Калмыкии», 29 марта 2018 г. [Текст]: материалы / редкол.: С.С. Кумеев, В.А. Эвиев [и др.]. – Элиста: Изд-во Калм. ун-та, 2018. – 96 с.: ил. С. 76-80. – ISBN 978-5-91458-264-4.
6. Сангаджиев, М.М., Хараева, Э.Я. Геологическое прошлое Каспия, Прикаспия и Калмыкии //Материалы Международного форума «Каспий-море дружбы и надежд», посвящ. 85-летию Дагестанского государственного университета (г. Махачкала, 11-15 октября 2016 г.) – Махачкала: Типография ИП, РД, 2016. С.77-80.
7. Сангаджиев, М.М., Эрдниева, Г.Е., Эрдниев, О.В., Лиджиева, Н.С., Манджиева, А.И. Анализ климатических особенностей в Республике Калмыкия, Россия. // Open science 2.0: collection of scientific articles. Vol.3. Raleigh, North Carolina, USA: Open Science Publishing, 2017. pp. 98-106.
8. Дегтярев, К.С., Сангаджиев, М.М., Лиджиева, Н.С., Эрдниева, Г.Е., Панченко, В.А. Особенности процессов инсоляции в период облачности в осеннее время года в Калмыкии. // Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал, 2018. № 2 (27). С. 213-218.
9. Сангаджиев, М.М., Хохлова, Л.И., Сератирова, В.В., Онкаев, В.А. Край миражей: очаги опустынивания в Яшкульском районе Республика Калмыкия (статья). // Глобальный научный потенциал. Научно-практический журнал № 6 (39) 2014. С. 67-72.
10. Сангаджиев, М.М. Геоэкологические последствия хозяйственной деятельности человека (на примере Республика Калмыкия) // Zbiór raportów naukowych. “Współczesna nauka. Nowe perspektywy”. (30.01.2014-31.01.2014) – Warszawa: Wydawca: Sp.z o.o “Diamond trading tour”, 2014. Str. 61-67.
11. Сангаджиев, М.М., Гермашева, Ю.С., Цатхлангова, Э.А. Адаптация сайгаков в современных условиях на просторах Калмыкии. // Безопасность в условиях глобализации мира, Национальная науч. конф. (2019; Элиста). Национальная научная конференция «Безопасность в условиях глобализации мира», 19-20 декабря 2019 г. [Текст]: [посвящ. 75-летию со дня рождения первого президента КалмГУ, проф. Г.М. Борликова: материалы] / редкол.: Б.К. Салаев, В.А. Эвиев [и др.]. – Элиста: Изд-во Калм ун-та, 2019. – 330 с.: ил. – ISBN 978-5-91458-333-7. С. 191-199

References

1. Ivanova, N.S. Use of solar modules at sheep stations in Republic of Kalmykia // Renewable energy sources: Materials of the all-Russian scientific conference with international participation and XI youth scientific school: December 3-6 2018, Moscow. – Moscow: MAKS Press, 2018. – 584 p. Pp.48-55 ISBN 978-5-317-05989-7, ISBN 2312-3354.
2. Panchenko V.A., Degtyarev K.S., Sangadzhiev M.M., Mandzhieva T.V. Use of solar modules in emergency fields // Security in the conditions of world globalization. National scientific conference (2019, Elista). December 19-20, 2019 [devoted to 75-anniversary of the first KalmSU president prof. G.M. Borlikov, materials] / Editorial board: B.K. Salaev, V.A. Eviev [et al.]. – Elista: edition of Kalm. University, 2019 – 330 p. – ISBN 978-5-91458-333-7. P. 176-180.
3. Degtyarev K.S., Sangadzhiev M.M., Mandzhieva T.V. Renewable Energy Sources in Republic of Kalmykia: potential, experience, and prospects. / Monograph – Elista: edition of Kalm. University, 2020. 140 p.
4. Erdnieva G.E., Degtyarev K.S., Sangadzhiev M.M., Panchenko V.A. Study of solar modules use for obtaining water from wells at herd stations in Kalmykia // Innovations in agriculture. Theoretical and scientific-practical magazine, 2017. № 4 (25). P. 117 – 122.
5. Panchenko V.A., Erdnieva G.E., Sangadzhiev M.M. Prospects of use of roof and frontal solar modules for a modern 1000-pupils school building in the town of Elista // “Interiors of Kalmykia”, VIII regional student scientific-practical conference, March 29, 2018 / edition board: S.S. Kumeev, V.A. Eviev [et al.]. – Elista: edition of Kalm. University, 2018. – 96 p. P. 76-80. – ISBN 978-5-91458-264-4.
6. Sangadzhiev M.M., Haraeva E.Ya. Geological Past of Caspian, near-Caspian, and Kalmykia // Materials of the International forum “Caspian is a Sea of Friendship and Hopes”, devoted to 85-anniversary of Dagestan State University (city of Makhachkala, October 11-15, 2016) – Makhachkala: Printing-office IP, RD, 2016. P.77-80.
7. Sangadzhiev M.M., Erdnieva G.E., Erdniev O.V., Lidzhieva N.S., Mandzhieva A.I. Analysis of the climate features in Republic of Kalmykia, Russia. // Open science 2.0: collection of scientific articles. Vol.3. Raleigh, North Carolina, USA: Open Science Publishing, 2017. pp. 98-106.
8. Degtyarev K.S., Sangadzhiev M.M., Lidzhieva N.S., Erdnieva G.E., Panchenko V.A. Peculiarities of insolation in the cloudy period in autumn in Kalmykia // // Innovations in agriculture. Theoretical and scientific-practical magazine, 2018. № 2 (27). P. 213-218.
9. Sangadzhiev M.M., Hohlova L.I., Seratirova V.V., Onkaev V.A. Land of mirages: sources of desertification in Yashkul county of Republic of Kalmykia // Global scientific potential. Scientific-practical magazine № 6 (39) 2014. P. 67-72.
10. Sangadzhiev M.M. Geo-environmental consequences of human economic activities (on the example of Republic of Kalmykia) // Zbior raportow naukowych. “Wspolczesna nauka. Nove perspektywy”. (30.01.2014-31.01.2014) – Warszawa: Wydawca: Sp.z o.o “Diamond trading tour”, 2014. Str. 61-67.
11. Sangadzhiev M.M., Germasheva Yu.S., Tsathlangova E.A. Adaptation of saiga in the modern conditions on the expanses of Kalmykia // Security in the conditions of world globalization. National scientific conference (2019, Elista). December 19-20, 2019 [devoted to 75-anniversary of the first KalmSU president prof. G.M. Borlikov, materials] / Editorial board: B.K. Salaev, V.A. Eviev [et al.]. – Elista: edition of Kalm. University, 2019 – 330 p. – ISBN 978-5-91458-333-7. P. 191-199.

Use of Solar Modules in Reserve Zones of Kalmykia

Bityaeva Galina^{1,2}, Sangadzhiev Mergen³

¹FGBOU VO "Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov", Elista

²Email: erdnieva.galina1@mail.ru

³Email: smm54724@yandex.ru

Abstract. The Republic of Kalmykia is rich in solar energy, where the sun shines for more than three-quarters of a year. In addition to solar energy, wind energy can be used in the region. Since agriculture is the major branch of the economy in the Republic, waste from it can be used as biogas. This paper discusses the use of renewable energy sources in protected areas where additional noise devices and aggregates cannot be used. Also, the use of high-voltage power lines can lead to fires, and they occupy part of the useful area of nature reserves, so additional maintenance is required. To solve this problem, we analyzed the current state of the reserve for the protection of saiga lands in Kalmykia. The questions of insolation depending on the seasons and day-night characteristics are also investigated. The materials were the results of expedition routes conducted in recent years in the Black Lands reserve, data from cordons. The obtained materials will make it possible to use non-traditional types of energy for lighting cordons, hunting and tourist areas, in particular, the use of solar modules of different designs. To promote specially protected areas and the use of solar energy.

Keywords: nature reserve; Kalmykia; deserts; solar modules; biogas; wind; Black Lands.

УДК 620.91

Формирование российской энергетической научно-технической школы в начале XX века

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

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

E-mail: ets@nextmail.ru

Аннотация. Основы российской энергетики были заложены при разработке в 1920 г. плана электрификации страны. Коллектив из 256 человек, в т.ч. ученых – энергетиков и инженеров мирового уровня с использованием многолетнего опыта российской энергетической научно-технической школы за несколько месяцев разработал план восстановления и развития России. Описано становление в XIX веке отечественной энергетической науки, вклад в ее развитие М.В. Ломоносова, И.А. Вышнеградского, Ф.Ф. Петрушевского. Отмечена важная роль создания в 1880 г. Электрического отдела Императорского Русского технического общества, издание им журнала «Электричество», проведение национальных съездов и выставок. Описаны высшие учебные заведения, в которых готовились энергетики в начале XX века, их участие в деятельности зарубежных организаций. Указаны достижения их выпускников, результаты деятельности комиссии по изучению производительных сил (КЕСП) Санкт-Петербургской академии наук, на основании которых был разработан план ГОЭЛРО и впоследствии созданы ведущими научно-исследовательские институты СССР. Отмечена социализация лидеров энергетической элиты в начале XX века.

Ключевые слова: энергетика, электрификация, электростанции, энергетическая научно-техническая школа, Российское техническое общество (РТО), Санкт-Петербургская Академия наук, подготовка энергетиков, социализация энергетической элиты.

1 Введение

В 2020 г. исполняется 100 лет созданию плана электрификации России ГОЭЛРО. Под руководством В.И. Ленина и при техническом лидерстве будущего академика СССР Г.М. Кржижановского в течение нескольких месяцев коллектив учёных и инженеров разработал документ, на столетие вперёд определивший развитие нашей страны.

В 1920 г. после многолетних разрушительных мировой и гражданской войн российская энергетика имела установленную мощность районных электростанций всего 250 МВт, а производство электроэнергии составляла 500 млн. кВтч (www.wikipedea.org). Основное энергетическое оборудование было импортным, а инженерно-технический персонал в основном состоял из иностранцев. В этих условиях несомненный интерес представляют личности и профессиональный опыт разработчиков ГОЭЛРО, научный прогноз которых позволил России за 10 лет не только восстановить энергетику, но и обеспечить развитие страны на годы вперед. Уже в 1930 г. установленная мощность электростанций России составляла 1400 МВт (рост почти в 6 раз), а выработка электроэнергии – 8400 млн. кВтч (рост почти в 7 раз).

2 План ГОЭЛРО

Старт разработке плана ГОЭЛРО был дан В.И. Лениным в феврале 1920 г. На первом этапе коллектив разработчиков состоял из 18 человек (рис. 1), в том числе таких ученых-электротехников мирового уровня как профессор М.А. Шателен, несколько лет, руководившим Электротехническим отделом Российского технического общества (РТО); профессора Императорского Московского технического училища: Б.И. Угрюмов, К.А. Круг; автор нескольких проектов, построенных в России и в Европе гидроэлектростанций профессор Г.О. Графтио. Руководил разработкой ГОЭЛРО выпускник Петербургского технологического университета (с отличием), коммерческий директор строительства Богородской торфяной электростанции в Подмосковье, активный функционер коммунистической партии России и личный друг В.И. Ленина – Г.М. Кржижановский. Уже через три месяца коллектив разработчиков ГОЭЛРО увеличился до 256 человек. О результатах работы Кржижановский ежедневно докладывал В.И. Ленину по телефону и два раза в неделю лично. К концу 1920 г. на экспертизу профессионального сообщества – VIII Всероссийскому электротехническому съезду РТО был представлен 600 страничный план ГОЭЛРО, состоявший из шести глав (план государственного хозяйства, топливоснабжение, водная энергия, сельское хозяйство, транспорт, промышленность), а также восемь томов многостраничных записок по электрификации отдельных регионов России. По существу это был план восстановления и развития экономики всей страны. Стоимость энергетического строительства в общих затратах не превышало 25%, а основные вложения (до 40%) предусматривались в развитии инфраструктуры государства, в первую очередь транспорта. После бурного обсуждения на очередном партийном съезде 21 декабря 1920 г. план ГОЭЛРО был утвержден постановлением правительства.



Рис. 1. Коллектив разработчиков (источник фото, здесь и далее: <https://yandex.ru/images/>)

У авторов плана ГОЭЛРО был более 150 летний отечественный опыт развития энергетических идей, реализованные достижения инженеров и адаптированный зарубежный опыт.

3 Энергетическая научно-техническая школа в XIX веке

Формирование российской энергетической научно-технической школы было начато в XVIII веке Михаилом Васильевичем Ломоносовым (1711-1765) (рис. 2), который в 1744 г. в работе «Размышление о причине теплоты и холода» заложил основы отечественной теплоэнергетики, а его опыты с атмосферным электричеством положили начало нашей электротехники. В 1763 г. Иваном Ивановичем Ползуновым (1728-1766) на Алтае был создан первый в мире двухцилиндровый паровой двигатель мощностью 1,3 кВт. Его опыт в те годы не получил продолжения. Для отопления зданий тогда в основном применялись печи. В 1799 г. теоретиком русской архитектуры академиком Николаем Александровичем Львовым (1751-1803) была издана книга «Русская пиростатика или употребление испытанных уже воздушных печей и каминов» [2]. Результаты работы Петербургского горного института, в том числе и по строительству Храма Спасителя в Москве были в 1867 г. отражены в книге профессора Ивана Ивановича Свиязева (1797-1875) «Теоретические основания печного искусства», переизданной, в том числе и во Франции. С 1875 г. на протяжении 25 лет в России лидировала отопительная научно-техническая школа Петербургского института гражданских инженеров, под руководством профессора Сильвеуса Болеславовича Лукашевича (1850-1912), который в 1885 г. организовал Товарищество по отоплению и вентиляции, обустроившему своими приборами за 20 лет более 200 крупных зданий.



Рис. 2. Ломоносов М.В.

Дальнейшее развитие российской энергетики в XIX веке было связано с работами выдающихся теоретиков-физиков и математиков. Академик Михаил Васильевич Остроградский (1801-1861) в Михайловской артиллерийской академии в Петербурге создал математическую школу мирового уровня. Он, первым в мире предложил дифференциальные уравнения теплообмена в жидкости. Разносторонней личностью был и академик Иван Алексеевич Вышнеградский (1831-1895) (рис. 3): директором Петербургского технологического института, профессор Михайловской артиллерийской академии, автор многих артиллерийских изобретений, министр финансов Российской империи. Иван Алексеевич, в том числе разработал теорию автоматического регулирования котлов и двигателей. Исследования электромагнетизма в Петербургском университете в те годы занимался профессор Федор Фомич Петрушевский (1828-1904). С 1891 г. он главный редактор Энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона по точным и естественным наукам.



Рис. 3. Вышнеградский А.И.

Важнейшим этапом в формировании российской энергетической элиты было создание в 1880 г. при Императорском Российском техническом обществе (РТО) Электротехнического отдела [3]. Из всех российских НТО в области энергетики оно было самым большим и было организовано в 1866 г. [4]. Общественное с участием государства, с числом членов около 1000 человек, оно имело филиалы во всех губерниях. В его состав были включены руководители многих государственных ведомств. В смете 1913 г. на его содержание государственные субсидии составляли около 30%, личные взносы императорской семьи около 10%. РТО вела также большую просветительскую работу. В Петербурге она имела 63 школы с 6880 учениками, в Москве 44 класса технического рисования и черчения. Его техническая библиотека была самой большой и представительной в России. Электротехнический отдел РТО стал центром формирования российской энергетической школы с разработкой своей идеологии (издание журнала), популяризацией достижений (выставки), общественным влиянием (всероссийские съезды). Из числа инициаторов его создания выделялись профессора Чиколев В.Н., Лачинов Д.А., инженеры Лодыгин А.Н., Яблочков П.Н. Владимир Николаевич Чиколев (1845-1898) (рис. 4) выпускник Московского университета, профессор Императорского технического московского училища (ИМТУ). В 1876 г. он переехал в Петербург, и работал в Главном Артиллерийском управлении. В центре его научных интересов была в основном светотехника. Он впервые обосновал применение прожекторов в военном деле, проектировал освещение пороховых заводов и Литейного моста в Петербурге. Он был также первым редактором журнала «Электричество», издаваемого Электрическим отделом РТО с 1880 г. Из числа основателей этого отдела своей образованностью выделялся Дмитрий Александрович Лачинов (1842-1902), выпускник Петербургского, Тюбингенского, Гейдельбергского университетов. Два инженера-светотехника практика Лодыгин А.Н. и Яблочков П.Н. по образованию были военными инженерами. Александр Николаевич Лодыгин (1827-1923) изобрел лампу накаливания (1876 г.), а Павел Николаевич Яблочков – дуговую лампу (1875 г.). 31 января 1880 г. состоялось оргсобрание Электротехнического отдела РТО. В его работе участвовало 56 человек. Председателем отдела был избран и руководил им несколько лет генерал от инфантерии, один из руководителей генерального штаба России Филадельф Кириллович Величко, в центре научных интересов которого были метрология и электротехника. Уже через несколько месяцев после организации в 1880 г. отдел успешно провел первую в России электротехническую выставку, которую за месяц посетило 6187 человек. Там были представлены действующие локомобили, генераторы, осветительные свечи Яблочкова. На вырученные от проведения выставки деньги в июле 1880 г. отделом был издан первый номер журнала «Электричество», издаваемый до настоящего времени. Принципиально важно, было его издание только из средств подписчиков и выставок, что исключало влияние владельцев иностранных частных электротехнических фирм, господствовавших на российском рынке. В следующем 1881 г. отдел организовал участие России в Парижской международной электротехнической выставке и в работе конгресса. Общественная научно-техническая жизнь Российской империи отличалась небыва-

лой активностью и высоким профессиональным уровнем. По данным д.т.н. Н.Г. Филиппова [5] в стране было около 47 научно-технических организаций. Русское физико-химическое общество в эти годы объединяло в основном ученых Петербурга и Москвы. Успешно работали электротехнические общества в Петербурге и Москве, Киеве. Московское политехническое общество, общество надзора за котлами, Кружок технологов Московского региона (1254 человек в четырех центральных губерниях) – это неполный перечень научно-технических организаций энергетического профиля. Российские научно-технические общества (НТО) оказывали на развитие страны существенно большее влияние, чем академическая наука [6]. Правительство заказывало Электротехническому отделу РТО разработку нормативных документов по устройству и эксплуатации энергоустановок, учету электрической энергии, направляло на экспертизу проекты развития инфраструктуры и промышленности. РТО в инициативном порядке разрабатывало проекты электрификации железных дорог, сооружения метрополитенов. Они имели тесные связи с иностранными научными обществами и ассоциациями, организовывали взаимные посещения съездов и выставок. Они имели тесные связи с иностранными научными обществами и ассоциациями, организовывали взаимные посещения съездов и выставок. Не все русские энергетики смогли самореализоваться в России. Создатель техники трехфазного электрического тока Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862-1919) (рис. 5) после окончания Рижского политехнического института и Дармштадской высшей технической школы (Германия) все свои изобретения сделал и реализовал в Германии, пройдя путь от конструктора до директора известной электротехнической фирмы AEG. В 1888 г. им на Франкфуртской выставке был представлен трехфазный генератор мощностью 2,2 кВт, трансформатор, пусковые реостаты, измерительные приборы, а в 1891 г. там же – первая в мире линия электропередачи переменного трехфазного тока протяженностью 170 км.



Рис. 4. Чиколев В.Н.



Рис.5. Доливо-Добровольский М.О.

4 Энергетическая научно-техническая школа в начале XX века

Начало XX века в России было связано с реализацией таких масштабных общенациональных проектов как строительство железнодорожной сети, развитие промышленности и энергетики. В этот период дальнейшее развитие получило и техническое образование. Система высшего образования Российской империи того времени объединяла 124 учебных заведений, в том числе около половины коммерческих с общим числом студентов 120 тыс. человек и 4,5 тыс. преподавателей и профессоров. Научные знания и инженерное образование приобретались в 11 университетах и в 19 институтах империи. По данным 1914 г. в России в университетах, высших технических, военно-инженерных и коммерческих институтах обучалось на европейском уровне 40-45 тыс. специалистов. В Германии, самой научно-технической передовой стране мира той эпохи в аналогичных учебных заведениях обучалось 25 тыс. специалистов. Из 11 российских университетов наибольший вклад в развитие энергетики внесли выпускники и профессора Санкт-Петербургского, Московского, Харьковского, Новороссийского в Одессе, Университета Святого Владимира в Киеве. Энергетическое образование и научные исследования обеспечивали следующие высшие инженерные учебные заведения: Технологические институты в Санкт-Петербурге, Харькове, Томске, Политехнические институты в Риге, Киеве, Варшаве., (переведен в 1917 г. в г. Нижний Новгород), Петербургский имени Петра Великого, Донской в Новочеркасске; Институты инженеров путей сообщения в Петербурге и в Москве; Горные институты в Санкт-Петербурге и в Екатеринбурге; Институты гражданских инженеров в Петербурге и в Москве; Электротехнический институт в Петербурге; Михайловская артиллерийская академия в Петербурге; Николаевская инженерная академия в Петербурге.

Характерен состав инженеров, участников первого Всероссийского электротехнического съезда 1900 г.[3] по учебным заведениям: технологический институт – 36%, военные инженеры - 26%, электротехнический институт – 20%, инженеры-механики институтов гражданских инженеров, горного института - 10%, институт путей сообщения – 10%. Технологический институт в Петербурге с отличием закончил в 1894 г. главный энергетик СССР - академик Г.М. Кржижановский (рис. 6), руководитель строительства нескольких российских электростанций Роберт Эдуардович Классон (1868-1926) (рис.7). В 1862-1865 преподавал, а в 1875-1878 был директором технологического института, почетный академик инженер – генерал-лейтенант Николай Павлович Петров (1836-1920) (рис. 8). В Русском техническом обществе он был председателем с 1896 по 1905 г.г. Политехнический институт в Петербурге окончили, а затем там преподавали будущий главный академик–теплоэнергетик СССР Михаил Викторович Кирпичев (1879-1955), основатель российской фотоэнергетики Абрам Федорович Иоффе (1880-1960); более 50 лет преподавал великий русский электротехник - теоретик Михаил Андреевич Шателен (1866-1957) (рис. 9). Этот же институт в 1901 г. окончил Александр Васильевич Винтер (1878-1955), буду-

ший строитель ДнепроГЭСа. Петербургский институт инженеров путей сообщения закончил профессор Генрих Осипович Графтио (1869-1949 г.г.) -главный гидроэнергетик дореволюционной России. Окончил и 14 лет там преподавал специалист по проектированию городов Григорий Дмитриевич Дубилер (1874-1942). Электротехнический институт в 1898 г. окончил инициатор развития теплофикации в России, строитель первого мусоросжигательного завода в Петербурге Владимир Владимирович Дмитриев (1873-1946) (рис. 10). В этом институте первым в России профессором по электротехнике в 1897-1908 г.г. был М.А. Шателен. Уникален вклад Императорского Московского технического училища (ИМТУ) и в развитии энергетической науки в воспитании русских энергетиков. При высочайшем уровне преподавания (теоретическую механику например читал профессор Н.Е.Жуковский), студенты этого института также обучались основам ремесел. Основателем московской электротехнической школы в 1905 г. был Карл Адольфович Круг (1873-1952) (рис. 11), который в 1898 г. окончил ИМТУ, затем стажировался в Дармштадской, Берлинской Шарлоттенбургской высших технических школах. Третьим ученым-электротехником ИМТУ мирового уровня был профессор Борис Иванович Угримов (1872-1941) (рис. 12), который после МГУ в 1897 г. окончил также ИМТУ, а затем высшие технические училища в Карлсруэ и в Берлине. Теоретик создания прямоточных энергетических котлов Леонид Константинович Рамзин (1887-1943) (рис. 13) закончил ИМТУ и с 1914 г. руководил кафедрами топлива, топков и котельных агрегатов. Выпускник ИМТУ 1876 г. Владимир Григорьевич Шухов (1853-1939) в 1880 г. изобрёл паровую форсунку, а в 1896 г. самый популярный российский паровой котел (произведено 4 тыс. шт.).

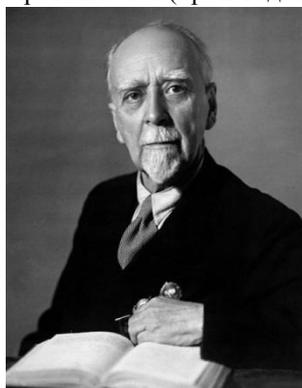


Рис.6
Кржижановский В.Г



Рис. 7
Классон Р.Э.

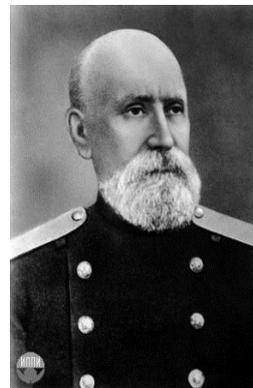
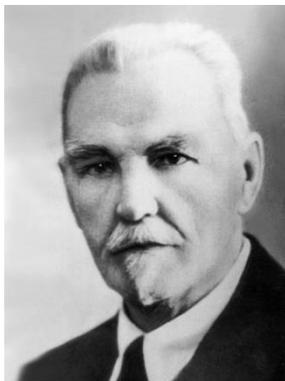
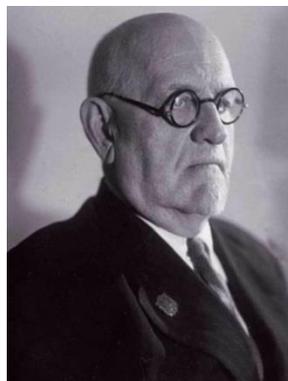


Рис. 8
Петров Н.П.

**Рис.9.** Шателен М.А.**Рис.10.** Дмитриев В.В.**Рис.11.** Круг К.А.

Русские энергетики получали образование в ведущих европейских ВУЗах той эпохи: Сорбонский университет в Париже (профессор М.В. Остроградский), Электротехническая высшая школа при Сорбонском университете в Париже (профессор М.А. Шателен, инженер П.Г. Смилович). Высшая техническая школа в Карлсруэ в Германии (профессор Б.И. Угримов). Техническое училище Дармштадта и Шарлоттенбургское высшее техническое училище Берлина (профессор К.Л. Круг).

**Рис. 12.** Угримов Б.И.**Рис. 13.** Рамзин Л.К.

Важнейшим этапом в формировании энергетической элиты было проведение в 1900 г. Первого Всероссийского электротехнического съезда в Петербурге. В нем приняли участие 563 человека, из них с инженерным образованием 260 человек [3]. Из состава участников около 40% были служащие иностранных электротехнических фирм, контролирующих российский рынок. На съезде было сделано 80 докладов. Такие съезды в последующем до 1913 г проводились каждые два года. Их отличительной чертой было избрание постоянных комитетов, секретариатов для работы по проблемам, отмеченных на съездах.

Императорская Санкт-Петербургская академия наук системно развитием энергетики начала заниматься только с 1915 г. когда была создана Комиссия по изучению естественных производительных сил страны (КЕПС) под председательством академика В.И.Вернадского. В 1917 г. в составе КЕСП было 139 человек из 10 НТО и 5 министров. В следующем 1918 г. в составе Комиссии было уже 20 отделов, из каждого из которых впоследствии были организованы научно-исследовательские институты. Материалы энергетического отдела КЕПС, созданного в 1916 г., были использованы при разработке плана ГОЭЛРО, а в 1930 г. на его основе был организован Энергетический институт АН СССР. С 1919 г. КЕПС издавал сборник «Естественные производительные силы России», в том числе том I «Ветер как двигательная сила» (1919 г.), том II «Белый уголь» (Гидроэнергетика, 1921-1923 г.г.)

В начале XX века следует отметить социализацию энергетической элиты. При учебе в Технологическом институте революционной работой занимались Г.М.Кржижановский и Р.Э.Классон, социал-демократических воззрений придерживался студент Винтер А.В. Из Харьковского политехнического института, будущего наркома торговли СССР – Красина Л.Б. отчислили за революционную деятельность. Р.Э.Классон после окончания технологического института при Франкфуртской электротехнической выставке в Германии несколько лет занимается испытанием новинок оборудования и совмещая эту работу с выполнением партийных заданий. Важным этапом в его формировании как специалиста было строительство и эксплуатация электростанций в Баку, перевод приводов насосов нефтепромыслов с паровых на электрические. В эти годы он в Баку работал и дружил с бывшим студентом Красиным Л.Б. В 1912-1916 г.г. судьба их снова свела на строительстве торфяной электростанции в Богородском уезде Московской губернии (Ногинский район). Инициатором строительства был Р.Э.Классон, который купил земельный участок с торфяными болотами и создал акционерное общество «Электропередача». Заместителем Р.Э.Классона был Александр Васильевич Винтер, непосредственно руководившим строительством. Коммерческим директором электростанции был Г.М.Кржижановский. Война 1914 г. создала проблемы по поставкам оборудования, которое по чертежам Классона изготавливалось в Германии и в Швейцарии. Кржижановскому пришлось решать массу вопросов по прокладке ЛЭП протяженностью 70 км в Москву по частным земельным участкам. На этой же станции работал и ведущий российский специалист по торфу Иван Иванович Радченко.

5 Выводы

С учетом изложенного следует, что в основе формирования российской энергетической научно-технической школы в XIX и начале XX веков – общественная самоорганизация ученых и инженеров в рамках Электротехнического отдела Российского технического общества, деятельность которого отличалась высоким научным уровнем, участием выдающихся инженеров и практиков, сотрудничеством с зарубежными научными обществами, широкой популяризацией

энергетической тематики. Ученые и инженеры - электрики этой эпохи не ограничивались только профессиональными интересами. Среди них было много ярких личностей, активно участвовавших в политической жизни государства. Это в том числе объясняет масштабность решений по развитию энергетики, основным трендом которых является плановый характер на основе централизации развития. Именно эти качества позволили разработчикам плана ГОЭЛРО создать уникальный в мировой практике документ развития энергетической стратегии государства.

Литература

1. Гвоздецкий В.Л. План ГОЭЛРО – стратегическая программа социально-экономического и научно-технического развития советского государства (К 80-летию со дня принятия плана ГОЭЛРО) // [Электр. текст]. Режим доступа: pravoslovo.ru. Дата обращения: 03.06.2020.
2. 100 лет теплофикации и центрального теплоснабжения в России. Сборник статей.// Под ред. В.Г.Семенова.- М.: Изд-во «Новости теплоснабжения». 2003. 246с.
3. Шателен М.А. Русские электротехники второй половины XIX века. М.: Рипон Классик. 2013. 436с.
4. Русское техническое общество. [Электр. текст]. Википедия. Режим доступа:ru. Wikipedia.org. Дата обращения. 10.07.2020.
5. Филиппов Н.Г. Научно-техническое общество России (1866-1917 г.г.). учебное пособие / Отв. ред. А.А. Кузин-М.: МГИЛИ. 1976. 214с.
6. Очерки истории науки в Ленинграде. 1703-1977 г.г./ А.В. Кольцов, Ю.Х. Копелевич, Б.Д. Лейбин и др.; под ред. Б.Д. Лейбина – Ленинград. Наука. 1980. 314с.

Reference

1. Gvozdeckii V.L. Plan GOELRO – strategicheskaya programma socialno_ekonomicheskogo i nauchno_tehnicheskogo razvitiya sovetskogo gosudarstva _K 80_letiyu so dnya prinyatiya plana GOELRO, // [Elektr. tekst]. Rejim dostupa_ pravoslovo.ru. Data obrascheniya_ 03.06.2020.
2. 100 let teplofikacii i centralnogo teplosnabjeniya v Rossii. Sbornik statei.// Pod red. V.G.Semenova._ M._ Izd_vo «Novosti teplosnabjeniya». 2003. 246s.
3. Shatelen M.A. Russkie elektrotehniki vtoroi polovini XIX veka. M._ Rapon Klassik. 2013. 436s.
4. Russkoe tehicheskoe obschestvo. [Elektr. tekst]. Vikipediya. Rejim dostupa_ru. Wikipedia.org. Data obrascheniya. 10.07.2020.
5. Filippov N.G. Nauchno_ tehicheskoe obschestvo Rossii _1866_1917 g.g.,. uchebnoe posobie / Otv. red. A.A. Kuzin_M._ MGILI. 1976. 214s.
6. Ocherki istorii nauki v Leningrade. 1703_1977 g.g./ A.V. Kolcov_ Yu.H. Kopelevich_ B.D. Leibin i dr.; pod red. B.D. Leibina – Leningrad. Nauka. 1980. 314s.

Formation of the Russian energy scientific and technical school at the beginning of the 20th century

Butuzov Vitaly

Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia.

E-mail: ets@nextmail.ru

Abstract. The foundations of the Russian energy industry were laid when the plan for the electrification of the country was developed in 1920. A team of 256 people, incl. world-class energy scientists and engineers, using the many years of experience of the Russian energy scientific and technical school, in a few months, he developed a plan for the recovery and development of Russia. The formation in the XIX century of the domestic energy science, the contribution to its development by M.V. Lomonosov, I.A. Vyshnegradsky, F.F. Petrushevsky. The important role of the establishment in 1880 of the Electrical Department of the Imperial Russian Technical Society, the publication of the magazine "Electricity" by it, the holding of national congresses and exhibitions was noted. Describes the higher educational institutions in which power engineers were trained at the beginning of the XX century, their participation in the activities of foreign organizations. The achievements of their graduates, the results of the activities of the Commission for the Study of the Productive Forces (CSPF) of the St. Petersburg Academy of Sciences, on the basis of which the GOELRO plan was developed and subsequently created by the leading scientific research institutes of the USSR, are indicated. The socialization of the leaders of the energy elite at the beginning of the 20th century is noted.

Keywords: Power engineering, electrification, power plants, energy scientific and technical school, Russian Technical Society (RTS), St. Petersburg Academy of Sciences, training of power engineers, socialization of the energy elite.

Анализ и прогноз цикличности социо - природных явлений первой половины 21-го века

Бушуев Виталий Васильевич¹ [0000-0001-9288-4699], Клепач Андрей Николаевич² [0000-0002-4175-4701], Соловьев Дмитрий Александрович¹ [0000-0001-5591-3067], Сокотушенко Наталья Владимировна¹ [0000-0003-4971-9019]

¹Объединённый институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)

²Институт исследований и экспертизы ВЭБ.РФ

vital@guies.ru, klepach.an@gmail.com, solovev@guies.ru,
sokotushenko.nat@mail.ru

Аннотация. На основе собранной из разных источников статистики аномальных социоприродных, политических и экономических явлений рассматривают все кризисные события как проявление определенной цикличности, во многом обусловленной периодическими процессами солнечной активности. В данной статье авторы не только анализируют ритмику этих событий в прошлом, но и с использованием специально разработанной нейронной модели прогнозируют их цикличное проявление на предстоящий период - до 2030 - 2050гг.

Ключевые слова: нейросетевое прогнозирование, спектральный анализ, циклы, кризис

1 Введение

Начало 21-го века ознаменовалось рядом крупных природных, климатических, техногенных, социальных, финансовых, экономических и вирусологических катастроф. Достаточно вспомнить ускорившийся с наступлением миллениума рост глобальной температуры в северном полушарии, взрыв вулкана в Исландии, ураган «Катрина», авария на АЭС «Фукусима», наводнения и лесные пожары на юге Европы и в Сибири, цветные революции в арабском мире, экономические кризисы 1998-99 и 2009 гг. И наконец, глобальный мировой кризис 2020г., триггером которого явилась коронавирусная пандемия [1]. Для случайностей - слишком много совпадений, в том числе и по их концентрации во времени. Частота этих событий приходится на начало нулевых годов нового века, на рубеж первого и второго десятилетий и на начало сегодняшнего дня [2].

Для детального анализа спектральных характеристик различных кривых социоприродной и экономической динамики был применён метод вейвлет-преобразований, позволяющий выявить основные частоты колебаний этих явлений на протяжении последнего времени (нескольких десятилетий) и их сравнение с соответствующими параметрами динамики солнечной активности (СА) – см. Табл. 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика доминирующих частот (периодов) колебаний исследуемых рядов данных (лет).*

| Наименование | Частота (период), лет | | |
|---------------------------|--------------------------|-----|-----|
| | I | II | III |
| СА(ЧВ) | 11 | 4,6 | - |
| ЧС в мире | 11 | 3 | - |
| Пострадавших от ЧС в мире | 11 | 3 | - |
| Аномалии Тел | 10 | 7 | 3 |
| СКС США | 9,8 | 2,3 | - |
| СКС РФ | 8,3 | 5 | 2,8 |
| ВВП США | 8,3 | 3,5 | - |
| ВВП Китая | 8,3 | 2,9 | - |
| Инфляция США | 11 | 3,3 | - |
| Безработица США | 11 | 5,5 | - |
| Цена нефти Brent | 11 | 6,6 | 3,3 |

*Примечание: СА (ЧВ) – солнечная активность (по числам Вольфа), ЧС – число чрезвычайных ситуаций, СКС – стандартизованный коэффициент смертности (число умерших на тыс. жителей), Тсп – температурные аномалии Северного полушария Земли (отклонение от среднего значения).

Этот сравнительный анализ показал, что спектр колебаний всех кривых имеет две доминирующие составляющие, одна из которых соответствует периоду СА = 10-12 лет, а другая - периоду 3-4 года (третьей гармонике основной частоты). В некоторых случаях становятся заметными промежуточные колебания с гармоникой 5-6 лет (вторая гармоника). Появление гармонических составляющих определяется особенностями поведения динамических кривых на отдельных участках общей ретроспективы, тогда как основная частота, соответствующая периодичности солнечной активности, проявляется на всем диапазоне изменения всех социоприродных и экономических характеристик. Этот результат достаточно достоверно позволяет утверждать, что именно энергетический фактор космических (солнечных) воздействий является ответственным за проявления аномальных явлений в социо-природной среде в виде динамики числа ЧС., числа пострадавших при этом, а также в виде климатических аномалий (отклонений от среднего за период значения температуры воздуха в Северном полушарии -Тсп) и стандартизованного (по числу смер-

тей на 1000 жителей) коэффициента СКС от различного вида пневмоний для США и РФ.

2 Социоприродные процессы

График природных аномалий (ПА), включающих общее число чрезвычайных природных ситуаций (ЧС), в том числе ураганов и землетрясений, наводнений и тайфунов, приведен на рис.1, сформированном по данным EMDAT (2020): OFDA/CRED International Disaster Database (www.emdat.be). Там же приведена и оценка общего экономического ущерба от ЧС, составляющая несколько трлн. долл. США. К сожалению, визуальное представление графика таких событий из-за большой разницы в абсолютных величинах числа ЧС не даёт наглядного представления о взаимосвязи цикличности природных аномалий и колебаний солнечной активности на протяжении нескольких предшествующих десятилетий. Но, как показал спектральный анализ, основная частота колебаний обоих параметров близка к периоду 10-12 лет. А более быстрые колебания (табл.1) тоже имеют близкую периодичность (3-4 года). Начиная с 1970 и по 2000 г. на очередной длинной волне ряда циклов все возрастающей солнечной активности особенно заметен и всплеск числа ПА, который особенно очевиден к началу нынешнего века. С этого времени солнечная активность пошла на убыль, и вплоть до 2020 года число ПА (ЧС) стабилизировалось и даже в среднем по году снизилось. В то же время в этот период значительно возросло число пострадавших от природных чрезвычайных ситуаций. Причем динамика роста числа пострадавших сохраняется и в настоящее время. Особенно существенным образом увеличился экономический ущерб. Если в конце XX века среднегодовой экономический ущерб за пятилетие составлял 75 млрд, долларов США, то в начале XXI –го века в течение 3 лет (2004, 2005 и 2008 гг.) отмечался ежегодный ущерб свыше 130 млрд, долларов США и он продолжает удваиваться каждые 10 лет. Таким образом, несмотря на общее снижение числа природных чрезвычайных ситуаций в начале XXI века их тяжесть и последствия продолжают возрастать. Особенно это касается экономического ущерба. Если в XX веке экономически от природных чрезвычайных ситуаций в большей степени страдали высокоразвитые страны, то в начале XXI века экономика развивающихся и слаборазвитых стран также подвергается воздействию стихийных бедствий все в большей мере. Наибольший ущерб вызывают наводнения, тропические циклоны, а также землетрясения и цунами.

Факт обнаружения корреляции спектральных характеристик кривых СА и ПА (ЧС) позволяет не просто искать объяснения прошлых событий, но и прогнозировать их на будущее. Для этих целей на основе идей интеллектуального прогнозирования была модернизирована программа нейронного моделирования динамических процессов с использованием фактора «подмешивания» различных коррелируемых факторов для совместного прогнозирования этих кривых на определенный период времени [3].

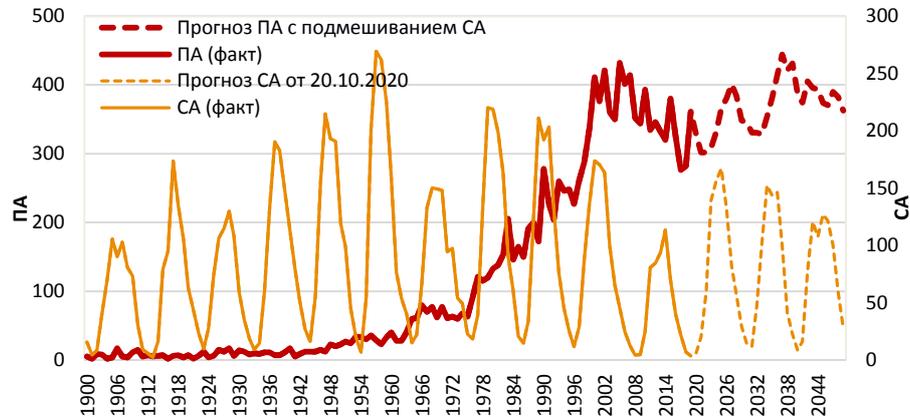


Рис. 1. Ретроспектива и прогноз природных аномалий (ЧС) за 150 лет в увязке с динамикой солнечной активности (СА).

По сути дела, речь идет о качественно новом подходе к многомерному прогнозированию динамических явлений. На вход такой программы задается многомерная матрица исследуемых параметров, характеризующих различные социоприродные явления, в процессе адаптивного прогнозного моделирования программа автоматически «смешивает» эти данные и выдает на выходе каждую из кривых, в которой уже отражено их взаимное влияние. Программа позволяет подмешивать до 7 различных параметров, хотя на данной стадии осуществлялось лишь попарное подмешивание различных факторов с целью определения степени их взаимного влияния (влияния подмешиваемого параметра на прогнозируемую динамику одной из кривых). . Так, на рис.1. приведена прогнозная динамическая кривая ПА (ЧС) с подмешиванием прогнозируемого на этой же модели графика СА. Заметно, что начало нескольких последовательно возрастающих волн СА приводит к новому подъему числа природных аномалий, хотя и не столь резкому, как в канун нового тысячелетия. И все же корреляция двух социоприродных явлений – солнечной активности и природных аномалий налицо [4]. Земля как природный конденсатор заряжается энергией солнца, и по мере наступления критической величины этого заряда происходит пробой конденсатора и выплеск запасенной энергии в виде природных аномалий с разрушительными последствиями в геосфере, атмосфере и гидросфере земли.

Энергетический эффект социо-природных аномалий от колебаний солнечной активности проявляется не только в виде природных (и техногенных) катастроф, но и в виде более долговременных процессов изменения климата на планете, в том числе и температурных аномалий в атмосфере. Так, спектральный анализ динамической кривой температурных аномалий (отклонения температуры северного полушария от среднего многолетнего значения) в таб.1 показывает, что и эта кривая содержит в себе ряд колебаний с периодичностью 11 лет и более короткие циклы, в т.ч. длительностью порядка 3 лет. В результате корреляционного анализа была установлена связь этих показателей с колебаниями

СА. Поэтому анализ и прогноз показателя $T_{сп}$ проводился на нейронной модели с подмешиванием СА.

На рис.2 приведены обе кривые с ретроспективными данными с 1980 по 2020 г и с полученными прогнозными значениями до 2050 г.

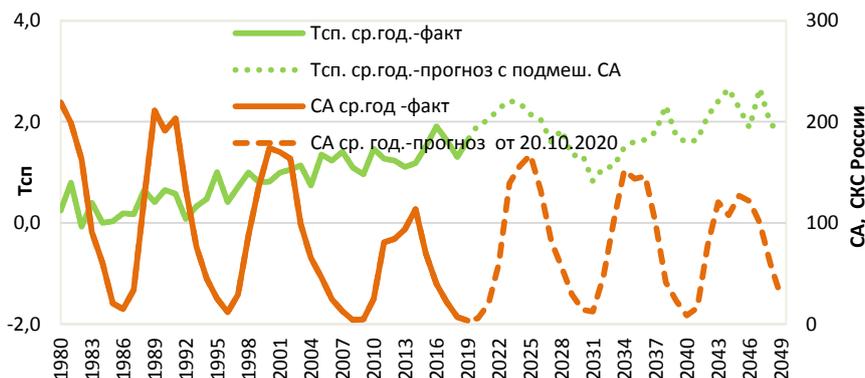


Рис. 2. Анализ и прогноз СА и аномалий среднегодовых значений температуры в Северном полушарии.

Наблюдается некая аналогия с колебаниями природных аномалий (ПЧС) в ретроспективе в сопоставлении с СА. И там и здесь в период с 1980 по 2004 г. при спадающих пиках СА температура растет (как и росло число ПЧС). Возможно, имеет место значимая корреляция $T_{сп}$ и ПЧС, тогда как корреляция СА и $T_{сп}$ в ретроспективе не столь очевидна. Но начиная с нового цикла СА (с 2020 г) прирост температуры следует синхронно за графиком СА, но сам прирост на прогнозируемый период заметно флуктуирует, хотя и без существенного изменения в среднем за предстоящий период.

Кроме того, в работе была выявлена корреляция между показателями колебаний аномалии температуры $T_{сп}$ и показателем смертности населения (на примере России) от пневмонии (по стандартизованному коэффициенту смертности СКС – число погибших на 100 тыс. населения в год). На рис.3.представлены эти два фактора (с взаимным подмешиванием кривых). Четко прослеживается синхронный рост этих показателей в ретроспективе (особенно с 1990 по 2007 гг), тогда как после пандемии 2020 г. ожидается стабилизация показателей смертности на уровне минимума 1992 г. Естественно, что снижение абсолютного показателя СКС в будущем связано не только со стабилизацией температурных аномалий атмосферы, но и с тем, что текущий опыт борьбы с пандемией благотворно скажется на будущей системе здравоохранения. Разумеется, этот единичный прогноз не может служить убедительным доказательством отсутствия в будущем новых всплесков пандемии, но даже он показывает, что необходим более обстоятельный прогноз взаимного влияния этих климатических и биологических факторов.

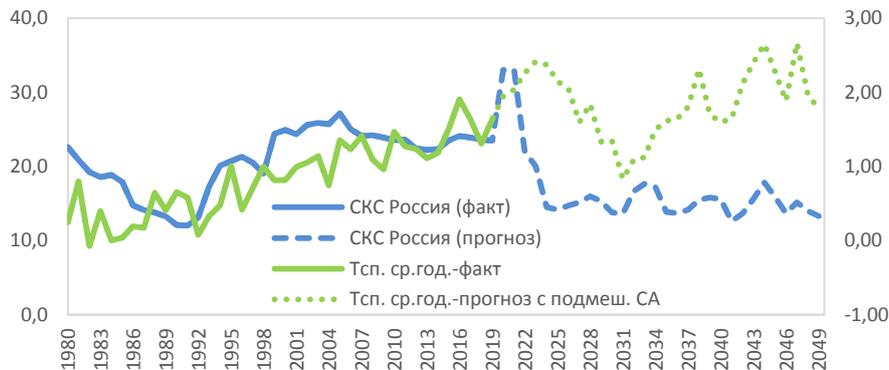


Рис. 3. Ретроспективный анализ и прогноз взаимного влияния роста глобальной температуры Тсп и смертности от пневмонии (на примере России).

3 Социоприродные процессы и экономическая динамика.

Проведенный корреляционный анализ показал, что изменение температуры северного полушария коррелирует с графиком экономической динамики США и России. Поэтому в работе был сделан прогноз экономической динамики этих стран с подмешиванием Тсп. На рис. 4. показано, что кривая ВВП имеет достаточно высокую волатильность с четко выраженными кризисами в 2009, 2020 гг. и прогнозируемыми экономическими спадами в 2030 и 2041гг. Межкризисный период, составляющий 10 – 12 лет, совпадает с периодами СА, правда, кризисы на этом временном этапе приходятся на минимум СА. Тогда как на более ранних этапах (до 2006 г) они совпадали с пиками СА. Этот факт, к сожалению, пока не получил должного объяснения.

Подмешивание показателя Тсп дополнительно несколько снижает эту волатильность, делая менее выраженными провальными пики экономических кризисов. В целом же результаты сравнительного прогноза СА, температурных аномалий и экономики США и РФ позволяют отметить, что с 2020 и по 2050 гг. ожидается более спокойная обстановка и в экономической динамике и в динамике климатических изменений. Изменение Тсп будет коррелировано с динамикой солнечной активности, испытывая подъемы на предстоящих пиках СА и стагнацию во время ее периодического спада. Из сравнения кривых прогнозируемой динамики ВВП видно, что экономика США (синяя кривая, более коррелированная с зеленой кривой температуры) оказывает более существенное влияние на климатические параметры – поэтому, говоря о глобальном потеплении, следует признать, что США в большей степени (в силу более высокого уровня экономики и техногенного влияния) ответственны за рост температуры в Северном полушарии планеты.

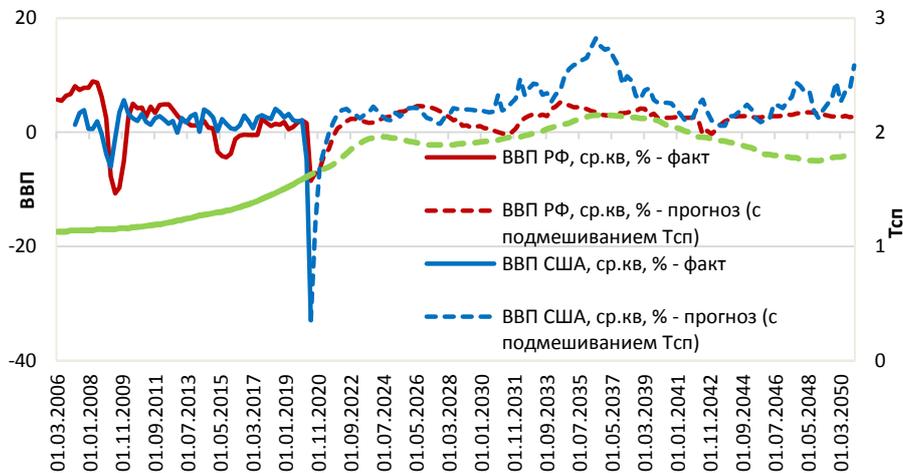


Рис. 4. ВВП США и России с подмешиванием температурной кривой Тсп

Представленная прогнозная динамика ВВП России и США не учитывает факторы, которые формируют сам тренд, через накопление человеческого и физического капитала и изменение их производительности. Поэтому тренд российской экономики, как и американской может быть иным, чем представлено на графике. В тоже время важно, что экономическая динамика подчиняется не только этим базовым факторам, но и изменению солнечной активности и температуры, которые создают своеобразный энергетический цикл. Правда, сам энергетический цикл задается не только природными факторами, но и самой человеческой деятельностью по добыче и переработке энергии, т.е. энергетической работой человечества.

4 Обсуждение результатов и выводы

Полученные результаты кросс-вейвлет анализа и нейронного прогнозирования позволяют сделать вывод о том, что имеется циклическое воздействие солнечной активности в той или иной степени на все рассматриваемые показатели природных, социальных и экономических циклических процессов. Общие оценочные периоды этого воздействия лежат в пределах интервала 10 - 12 лет, характерного для цикличности СА. В частности, отмечено, что начиная с 2019 года четко прослеживается тенденция связи между показателем развития экономики США (ВВП) и повышением глобальной температуры Северного полушария Земли. Существуют исследования, которые показывают, что рост Тсп может приводить к долгосрочному негативному воздействию на экономический рост. В целом на рассматриваемом периоде времени уровень когерентности этих рядов достаточно высок. Это позволяет сделать вывод, что для нейросетевого прогнозирования ВВП США целесообразно использовать данные колебаний аномалий глобальной

температуры в качестве фактора «подмешивания», выбирая соответствующие интервалы дат на основе использования результатов кросс-вейвлет анализа.

Таким образом, есть основания предполагать, что экономические, социальные и экологические кризисы тесно связаны с циклами солнечной активности, причем продолжительность тех и других в среднем составляет 11-12 лет с фазой обострения продолжительностью в 2-3 года. Сейчас мы находимся в конце стагнационного 24-го цикла, на смену которому в 2020 г. приходит новый 25-ый цикл СА с ожидаемым преобладанием нового политического цикла развития мировой цивилизации.

Наряду с 25-летними реальны 36-ти, 72 и 144-х летние циклы, но они в большей степени связаны не с экономическими, а социокультурными факторами.

При всей значимости деятельности самого человечества, его ноосферная природа предполагает, что не только человеческая деятельность преобразует природу, но и сама природа Земли и Космос определяют жизнь экономики и общества. Это проявляется в том числе и в формировании циклов экономической и социальной жизни. Новые мировые вызовы связаны не только с ростом природной энергетической активности Земли, с геополитическим противостоянием, «пузырями» виртуальной экономики, трансформацией структуры мировой энергетики, но и с ростом природной энергетической активности Земли, а также воздействием Космоса, для которого Земля - разумная песчинка на волнах космического океана. Наложение друг на друга и обострение всех этих факторов говорят о грядущем изменении Мир-системы в среднесрочной перспективе. В какой мере человеческий разум, воплощенный в машинах, социальных связях, книгах, а теперь и в цифровых информационных системах, способен адаптироваться к этим природным и космическим изменениям? Создадим ли мы новую, обновленную ноосферную и космическую Мир-систему, или современная цивилизация пойдет по пути нарастания разрыва со своими природными космическими корнями? Поиск ответа на эти вопросы – важнейшая задача современного человечества и залог его будущего.

Новые мировые вызовы связаны с ростом природной энергетической активности Земли, геополитическим противостоянием, «пузырями» виртуальной экономики, трансформацией структуры мировой энергетики. Наложение друг на друга и обострение всех этих факторов говорят о грядущем изменении Мир-системы в среднесрочной перспективе.

Литература

1. Клепач А.Н. РОССИЙСКАЯ ЭКОНОМИКА: ШОК ОТ КОРОНАВИРУСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. № 2(222).
2. Бушуев В.В., Клепач А.Н., Первухин В.В. Циклы российской (восточно-евразийской) цивилизации. Москва: ИД «Энергия», 2020. 102 с.

3. Бушуев В.В., Сокотущенко В.Н. Интеллектуальное прогнозирование в энергетике // ИННОВАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА – 21. Москва: Энергия, 2016.
4. Бушуев В.В., Сокотущенко Н.В., Сокотущенко В.Н. Влияние солнечной активности на социально-политические события XX-XXI веков. Москва: ИД “Энергия,” 2013. 245 с.

References

1. Klepach A.N. RUSSIAN ECONOMY: SHOCK FROM CORONAVIRUS AND PROSPECTS FOR RECOVERY // Scientific works of the Free Economic Society of Russia. 2020. No. 2 (222).
2. Bushuev V.V., Klepach A.N., Pervukhin V.V. Cycles of Russian (East Eurasian) civilization. Moscow: Publishing House Energia, 2020.102 p.
3. Bushuev V.V., Sokotushchenko V.N. Intelligent Forecasting in Energy // INNOVATIVE ELECTRIC POWER - 21. Moscow: Energy, 2016.
4. Bushuev V.V., Sokotushchenko N.V., Sokotushchenko V.N. Influence of solar activity on socio-political events of the XX-XXI centuries. Moscow: Publishing House “Energia,” 2013. 245 p.

The analysis and forecast of the cyclical nature of socio-natural phenomena in the first half of the 21st century

Bushuev Vitaly¹, Klepach Andrey², Soloviev Dmitry¹, Sokotushchenko Natalia¹

¹ Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIT RAS)

² Institute of Research and Expertise of VEB.RF (Vnesheconombank Institute)

vital@guies.ru, klepach.an@gmail.com, solovev@guies.ru,
sokotushenko.nat@mail.ru

Annotation. On the basis of statistics of anomalous socio-natural, political and economic phenomena collected from various sources, all crisis events are considered as a manifestation of a certain cyclicity, largely due to periodic processes of solar activity. In this article, the authors not only analyze the rhythm of these events in the past, but also using a specially developed neural model predict their cyclical manifestation for the coming period - until 2030 - 2050.

Keywords: neural network forecasting, spectral analysis, cycles, crisis

УДК 620.9 6219

Энергоинформационное общество и человек: размышления и вопросы

Громов Алексей Игоревич ^[0000-0002-9055-1767]

Фонд «Институт энергетики и финансов», Москва, Россия

E-mail: a_gromov@fief.ru

Аннотация. Вспышка пандемии COVID-19 в 2020 году оказала серьезное влияние на все сферы социально-экономической жизни общества, спровоцировав не только сильнейший мировой социально-экономический кризис со времен окончания Второй мировой войны, но и став своего рода триггером ускорения процессов глубинной энергоинформационной трансформации Общества и Человека.

Ключевые слова: коронавирус, пандемия, кризис, человек и общество.

1 Введение

Мы сегодня очень много говорим об экономических и социальных последствиях пандемии в их традиционном понимании (сокращение бизнес-активности из-за последствий временной «карантинизации» большей части мировой экономики, рост безработицы, беспрецедентный кризис на мировых рынках углеводородов и пр.), однако не уделяем достаточно внимания тому, как ускорение процессов энергоинформационной трансформации всего привычного нам уклада жизни во всем его многообразии, вызванное пандемией, влияет на Человека, на модели его поведения и осознание им его места в формирующемся новом энергоинформационном обществе или в новой энергоинформационной цивилизации.

А между тем, дискуссия о новой роли Человека в формирующемся энергоинформационном обществе необходима, поскольку развитие цифровых, энергетических, телекоммуникационных и бионических технологий сегодня значительно опережает процессы осознания Человеком тех изменений, которые они уже привнесли в привычный всем нам уклад жизни [1,2].

А без осознания происходящих изменений и поиска оптимальных путей адаптации Человека к ним, мы не сможем построить полноценную и гармонич-

ную энергоинформационную цивилизацию, в которой Человек будет чувствовать себя уверенно и комфортно.

Обозначу несколько направлений дискуссии о роли и месте Человека в новом энергоинформационном обществе, которые, на мой взгляд, требуют серьезного переосмысления.

2 Человек и многомерная реальность

Развитие информационных и телекоммуникационных технологий привело к многомерности пространства или реальности, в которой живет современный Человек. Если раньше нашей повседневной реальностью было наше социальное окружение, взаимодействие с которым осуществлялось посредством, главным образом, физического общения, то сегодня технологии позволяют практически уйти от такого формата человеческого взаимодействия.

И пандемия COVID-19 наглядно это доказала, поскольку в условиях массовой карантинизации экономики и самоизоляции людей в своих квартирах и домах, общение и решение бизнес-вопросов перешло в плоскость телеконференций и вебинаров, общения в соцсетях и электронной переписки.

Да, все это развивалось и раньше, но служило своего рода удобным дополнением к нашим паттернам повседневного общения. Однако во время пандемии оказалось, что именно такой формат виртуального общения может оказаться основным...

Более того, оказалось, что вполне эффективны и форматы удаленной работы, дистанционного обучения и телемедицины.

В этой связи, представляется, что пандемия действительно оказала глубинное воздействие на нашу повседневность, по сути, ускорив формирование основ энергоинформационного общества, основанного на многомерности окружающей нас реальности, растущем и ускоряющемся информационном потоке, всепроникающем искусственном интеллекте и бионических технологиях.

Сегодня Человек имеет возможность жить в нескольких реальностях одновременно. С одной стороны, это традиционное социальное окружение «за окном». С другой – это реальность социальных сетей, которая позволяет Человеку быть не таким, каким он есть на самом деле, а формировать свой социальный образ, который он хочет представить обществу. И, наконец, виртуальная реальность, которая позволяет Человеку полностью уходить в воображаемые реальности, создавать их и даже жить в них, представляя себя драконом, эльфом или персонажем компьютерных игр.

При этом очень важно понимать, что, по мере развития соответствующих телекоммуникационных технологий и технологий дополненной реальности, многомерность окружающей нас реальности будет лишь усиливаться, а объективное понимание безусловной доминанты реальности «за окном» будет снижаться в пользу различных дополненных реальностей.

Можно даже предположить, что в перспективе Человек сможет выбирать ту реальность, в которой он предпочитает вести социальную жизнь. А это может

привести к появлению растущей категории т.н. «виртуальных людей», которые могут потерять связь с окружающей объективной реальностью и выпасть из классических рамок человеческого общества, или сформировать новые паттерны в его развитии.

3 Человек и информация

Традиционно информация была для Человека одним из важнейших источников знания, своего рода энергией его духовно-интеллектуального развития и получения конкурентных преимуществ. При этом долгое время главным для Человека был поиск нужной информации, которая, как правило, уже носила структурированный характер, что помогало превращать ее в знание.

Однако развитие телекоммуникационных и интернет-технологий при практически полном отсутствии какого-либо фильтра или контроля над размещением информации в глобальной Сети привело к тому, что информационные потоки резко возросли и стали общедоступными. Более того, сегодня каждый человек может выкладывать свою информацию в Сеть. Однако при беспрецедентном росте информационного потока и его общедоступности резко снизилась степень структурированности получаемой информации, а также степень ее достоверности.

В результате, Человек оказывается под постоянным воздействием нарастающего информационного потока или «шума», который он должен правильным образом структурировать внутри себя, чтобы информация превращалась в новое знание.

Другими словами, во взаимодействии Человека и информации произошел переход от простого поиска информации к задаче ее правильной структуризации и объективизации в условиях постоянно нарастающего информационного «шума», появления фейковых новостей и технологий управления большими информационными массивами.

В этой связи возникает сразу несколько вопросов для дискуссии по данному направлению.

Как помочь Человеку выстроить правильные ориентиры для структурирования постоянно растущего информационного потока с тем, чтобы в этом потоке не происходила подмена понятий, искажение объективной реальности, но при этом сохранялись все права на свободу слова и самовыражения?

Существуют ли биологические пределы человеческого мозга для восприятия и структурирования информационных потоков? И не получится ли, что дальнейшее развитие т.н. «клипового» мышления (восприятия информации как «картинки» или «образа») как наиболее популярного способа обработки растущих и постоянно ускоряющихся информационных потоков снизит аналитические способности Человека, поскольку он будет просто не успевать структурировать поступающую в его мозг информацию?

4 Человек и искусственный интеллект

И тут мы сразу переходим к еще одному крайне непростому вопросу - вопросу дальнейшего сосуществования или соразвития Человека и искусственного интеллекта.

Как уже говорилось выше, Человек всегда стремился к структурированию получаемой информации и активно развивал соответствующие технологии ее обработки, обобщения и структуризации. Так появились компьютеры, а сегодня активно развиваются технологии цифровизации «всего и вся», а также обработки т.н. «больших данных» (Big Data)[3].

Однако принципиально новым шагом для Человека стала разработка технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, которые позволяют не только обрабатывать и анализировать получаемую информацию по заданным Человеком правилам, но и самим совершенствовать эти правила. Другими словами, компьютеры, изначально созданные в качестве помощников Человеку для обработки и структурирования получаемой информации, сегодня имеют возможность для саморазвития, правда, пока лишь в пределах заложенных Человеком алгоритмов. Но только пока!

Проникновение искусственного интеллекта в нашу повседневность происходит очень быстро. Искусственный интеллект, подключенный к соцсетям или крупным интернет-ресурсам, собирает огромные массивы информации о наших привычках, склонностях и увлечениях, а потом подбирает нам соответствующую контекстную рекламу, подсказывает, какие продукты или одежду нам стоит купить, какие мероприятия посетить и т.д.

Сегодня алгоритмы искусственного интеллекта, фактически, заменили собой биржевых аналитиков, которые просто не имеют физической возможности конкурировать с алгоритмами в скорости принятия решений по купле-продаже активов на торговых площадках, поскольку они не способны так же быстро анализировать гигантские объемы поступающей информации, как это делают машины.

В ближайшей перспективе мы ожидаем масштабного появления беспилотного транспорта, управление которым также будет возложено на алгоритмы искусственного интеллекта. В будущем, это может привести к многоуровневой интеграции систем искусственного интеллекта в единые городские транспортные системы и т.д.

Аналогичный путь развития систем искусственного интеллекта видится и в других отраслях экономики, а также и в нашей повседневности.

Другими словами, искусственный интеллект очень быстро развивается и, созданный изначально как помощник Человека в обработке, структурировании и систематизации растущих и ускоряющихся информационных потоков, он, по сути, превращается в Партнера Человека. А статус партнерства предполагает, что очень скоро искусственный интеллект перестанет быть подчиненным Человеку и станет, в какой-то степени, равноправным участником нашей жизни...

И вот тут уже возникает целый ряд острых вопросов для обсуждения.

Хочет ли Человек такого развития искусственного интеллекта и превращения машин в своих равноправных партнеров? Может ли Человек ограничить пределы развития искусственного интеллекта с тем, чтобы развитие последнего не вытеснило самого Человека не просто из экономики, а из самого процесса жизни, который определяется возможностью именно Человека принимать решения и осуществлять Выбор.

Сегодня много говорят о проблеме «лишних» людей в формирующемся энергоинформационном обществе, но подразумевают под этим, зачастую, лишь потерю традиционных рабочих мест в тех секторах, где Человека легко могут заменить машины (водители такси, биржевые аналитики, продавцы, страховые агенты, банковские работники и пр.). Но проблема гораздо шире! И эта проблема связана с тем, что искусственный интеллект, по мере своего развития, вероятно, превзойдет Человека в большинстве его функций, связанных с анализом и структурированием поступающей информации, и вытекающего из такого анализа принятия соответствующих решений.

И если не задуматься над этим вопросом сегодня, то можно легко представить картину будущего, когда основные процессы человеческой жизнедеятельности будут не только управляться, но и контролироваться искусственным интеллектом. Другими словами, уже Человек может совсем скоро перестать быть равноправным партнером искусственного интеллекта и попасть в подчиненное положение последнему...

Хочет ли этого Человек? Не думаю.

5 Человек и бионические технологии

Еще одной непростой темой является проблема совершенствования природных способностей Человека с помощью т.н. бионических технологий, которые уже сегодня позволяют не только заменять Человеку недостающие конечности и отдельные внутренние органы, но и качественно улучшать его природные характеристики. Например, применение т.н. «экзоскелетов» позволяет Человеку принципиально улучшить свои природные характеристики в части физической выносливости и силы.

Ведутся активные исследования человеческого генома, которые в перспективе могут позволить модифицировать уникальный человеческий геном и убирать из него гены, ответственные за риск развития тех или иных опасных заболеваний и формирование внешних недостатков.

Таким образом, бионические технологии и геновая инженерия в будущем, по-видимому, будут способны «улучшать» физическую природу Человека. Более того, не исключено, что уже в скором будущем будут найдены способы улучшения аналитических возможностей Человека путем соединения ресурсов человеческого мозга и компьютерных систем.

Другими словами, стремясь к адаптации к стремительно меняющейся реальности и пытаясь соперничать в т.ч. с технологиями искусственного интеллекта,

Человек будет способен менять свои природные характеристики. Но можно ли его после этого будет считать Человеком?

Как нам этически относиться к таким изменениям? Готовы ли мы к ним?

6 Заключение

Становится очевидным, что модификации человеческой природы требуют огромных затрат, что, по-видимому, может привести к тому, что усовершенствование человеческой природы будет доступно только наиболее обеспеченным слоям человеческого общества. А это может привести к совершенно новому уровню общественного неравенства, которое будет определяться уже не уровнем доходов, но принципиально разными природными способностями обычных и «усовершенствованных» людей...

Представляется, что если человечество пойдет по такому пути, то оно рискует столкнуться с беспрецедентным ростом социальной напряженности и конфликтов, а также с появлением новых классов людей, которые будут определяться не их экономическим положением и статусом, но их природными характеристиками...

Хотим ли мы этого? И если нет, то какие рамки в развитии технологий и какие этические основы формирующегося энергоинформационного общества должны быть созданы человечеством для того, чтобы избежать реализации наихудшего сценария развития событий в будущем?

Необходимо достойно ответить на все вопросы и нигде не «споткнуться». И время поиска ответов - дело самого ближайшего нашего будущего.

Литература

1. Бушуев В.В., Голубев В.С. Человек и время в эволюционирующем мире. Москва: ЛЕНАНД, 2014. 192 с.
2. Бушуев В.В. Энергетизм как основа жизнедеятельности природы, общества и человека // Журнал «Энергия экономика, техника, экология», изд-во «Наука» РАН. 2017. № 12. С. 42–52.
3. Кешелава А.В., Буданов В.Г., Румянцев В.Ю. Введение в «Цифровую» экономику (На пороге «цифрового будущего». Книга 1). Москва: ВНИИГеосистем, 2017. 28 с.

References

1. Bushuev V.V., Golubev V.S. Mankind and time in the evolving world. Moscow: Lenand, 2014. 192 p.
2. Bushuev V.V. Energetism as the base of nature, society, and human lifecycles // Energy, Economy, Technics, Ecology magazine. Nauka RAS ed. 2017. № 12. p. 42–52.
3. Keshelava A.V., Budanov V.G., Roumyantsev V.Yu. Introduction into «Digital» economy (On the threshold of «digital future». Book 1). Moscow: VNIIGeosystems, 2017. 28 p.

Energy Information Society and Man: Reflections and Questions

Gromov Alexey

Institute of Energy and Finance Foundation, Moscow, Russia

E-mail: a_gromov@fief.ru

Abstract. The outbreak of the COVID-19 pandemic in 2020 had a serious impact on all spheres of the socio-economic life of society, provoking not only the strongest global socio-economic crisis since the end of World War II, but also becoming a kind of trigger for accelerating the processes of deep energy-informational transformation of Society and the Human.

Key words: coronavirus, pandemic, crisis, people and society

УДК 551.55:620.9

Возможности макромасштабной и мезомасштабной моделей для моделирования работы ветропарка на примере Адыгейской ВЭС

Иванов Александр Владимирович^{[0000-0002-2052-3912] 1,2,3}Стрижак Сергей Владимирович^{[0000-0001-5525-5180] 1,4}¹ Институт системного программирования РАН, Москва, Россия² Институт прикладной математики РАН, Москва, Россия³ E-mail: av.ivanov@ispras.ru,⁴ E-mail: s.strijhak@ispras.ru

Аннотация. Работа посвящена применению мезомасштабной и макромасштабной моделей для исследования работы ветропарка. Используются данные GFS модели и вычислительный пакет WRF-ARW для расчета метеоусловий в районе расположения ветропарка Республики Адыгея и прогноза вырабатываемой мощности ветропарка. Представлен прогноз распределения скорости ветра, а также прогноз потерь вырабатываемой мощности ветропарка. Проведена оценка вихревого следа, образованного ветротурбинами.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветропарк, прогнозирование метеоусловий, численная модель, сетка, скорость, мощность, WRF, след

1 Введение

Возобновляемая энергетика в России является активно развивающейся отраслью. Отдельное внимание в том числе уделяется ветроэнергетике, как одному из перспективных направлений в развитии возобновляемых источников энергии. Так список регионов, использующих ветряные электростанции (ВЭС), пополнился Ульяновской областью, Республикой Саха, Ставропольским краем, Ростовской и Мурманской областями. В том числе в марте 2020 года проведен запуск ветропарка в Республике Адыгея, суммарная мощность которого 150 МВт. На данный момент Адыгейская ВЭС является крупнейшей в России.

Как и любая другая развивающаяся область, ветроэнергетика порождает ряд задач, решение которых необходимо для дальнейшего становления этой отрасли. В том числе речь идёт о построении численных моделей ветропарков, а возможно и полноценных цифровых двойников, с целью мониторинга и исследования ветропарков в России, оптимизации параметров их работы, изучения влияния вихревого следа ветротурбин на микроклимат окружающей местности, прогноза выработки мощности и метеоусловий в районе ВЭС, изучения аэрофизических процессов, протекающих в ветропарке и др.

Обширный обзор современных статей и исследований на тему построения моделей ветропарка приводится в работе [1].

В данной работе описывается уже распространённый подход применения иерархии моделей для исследования ветропарка. Его основная идея заключается в выборе характерного масштаба для отдельных физических процессов, а также в построении иерархической структуры взаимосвязи моделей. Так, например, на рис. 1 приведен пример исследования работы ветропарка на трёх различных масштабах: макромасштаб – уровень разрешения 100 км – как правило включает в себя глобальные модели для построения прогноза климатических условий, является источником данных начальных и граничных условия для расчёта по мезомасштабной модели, которая позволяет производить исследование и мониторинг климатических процессов, происходящих в ветропарке (разрешение – 1 км). Следующим этапом является моделирование на микромасштабе, которое подразумевает разрешение отдельных частей ветроэлектрической установки (ВЭУ) и процессов, связанных с ними.

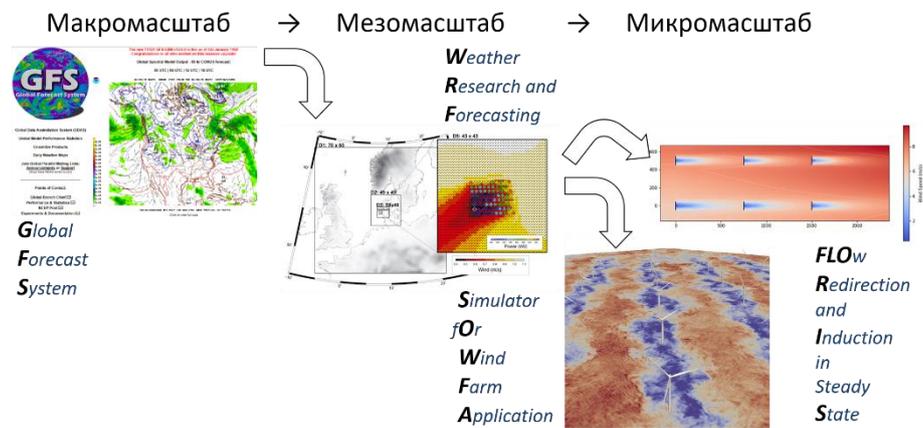


Рис. 1. Моделирование работы ветропарка на различных масштабах

2 Математическая модель

Выбор физико-математических моделей для различных масштабов зависит от конкретной задачи и совместимости этих самых моделей. Распространенным примером является иерархия моделей “макромасштаб-мезомасштаб-микромасштаб”: GFS – WRF – SOWFA/FLORIS, рис. 1, см. например, [1].

Global Forecast System (GFS) – это глобальная система численного прогноза погоды, содержащая глобальную компьютерную модель и модели вариационного анализа, разрабатываемая Национальной метеорологической службой США (NWS).

Модель GFS – это спектральная модель с приблизительным горизонтальным разрешением 13 км в течение первых 10 дней и 27 км с 10 до 16 дней. По вертикали модель разделена на 64 слоя и по времени выдает прогнозируемый результат каждый час в течение первых 120 часов. Математическая модель запускается четыре раза в день и выдает прогноз на срок до 16 дней, но с уменьшенным пространственным разрешением может выдавать результат до 10 дней. Точность прогноза, как правило, уменьшается со временем (как и в любой численной модели прогноза погоды), а для более долгосрочных прогнозов значительную точность сохраняют только более крупные масштабы. Это одна из преобладающих моделей средней дальности синоптического масштаба общего назначения.

Результаты данных GFS модели доступны с сайта (<https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>). Файлы с данными GFS на текущий момент предоставляются в открытом доступе по FTP (<ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/gfs/prod>). Поля анализа GFS, а также прогностические поля этой модели могут быть использованы в качестве начальных данных для мезомасштабных моделей океана и атмосферы. ФГБУ «Гидрометцентр России» использует систему прогноза ветрового волнения в Черном море с учетом данных GFS для шельфовых зон (Керченский пролив, Цемесская бухта, район Сочи) в качестве вспомогательного метода.

Результаты расчётов по модели GFS являются источниками начальных и граничных условий для построения прогноза региональной модели WRF-ARW. Пакет WRF-ARW разрабатывается в Национальном центре атмосферных исследований (NCAR, США) с середины 1990-х годов. Схема работы WRF-ARW изображена на рис. 2. Вычислительный пакет представляет собой 3 модуля, взаимодействующих посредством обмена данными. Основой программы является вычислительное ядро WRF-ARW, которое базируется на уравнениях для сжимаемой жидкости с негидростатической моделью, записанных в декартовых координатах по горизонтали и с использованием орографической координаты по вертикали.

Инициализация модели происходит в модуле препроцессинга (WPS) и представляет собой извлечение данных из файлов расчёта по глобальной модели (`ungrib.exe`), подготовке сетки по заданным параметрам (`geogrid.exe`) и интерпо-

лящую величин на новую сетку (metgrid.exe), рис. 2. При этом параметры области описываются в файле namelist.wps.

Результаты расчётов по модели WRF затем обрабатываются в модуле пост-процессинга и далее могут быть изменены, обработаны, либо визуализированы с применением различных программ, рис. 2.

Расчетная область модели WRF-ARW рассматривается в декартовой системе координат и представляет собой параллелепипед, стороны которого ориентированы вдоль меридианов и параллелей, а основание касается сферической Земли [2]. Для увеличения точности расчетов, вычисления проводятся на вложенных сетках, однако вложения выполняются только в горизонтальной плоскости, поэтому по вертикали область расчетов неизменна на всех сетках. Вложенные сетки ориентированы точно так же, как и основная (материнская) сетка и, наконец, шаг каждой дочерней сетки должен быть в целое число раз меньше, чем шаг родительской сетки. Имеется также возможность решения задачи на подвижной сетке.

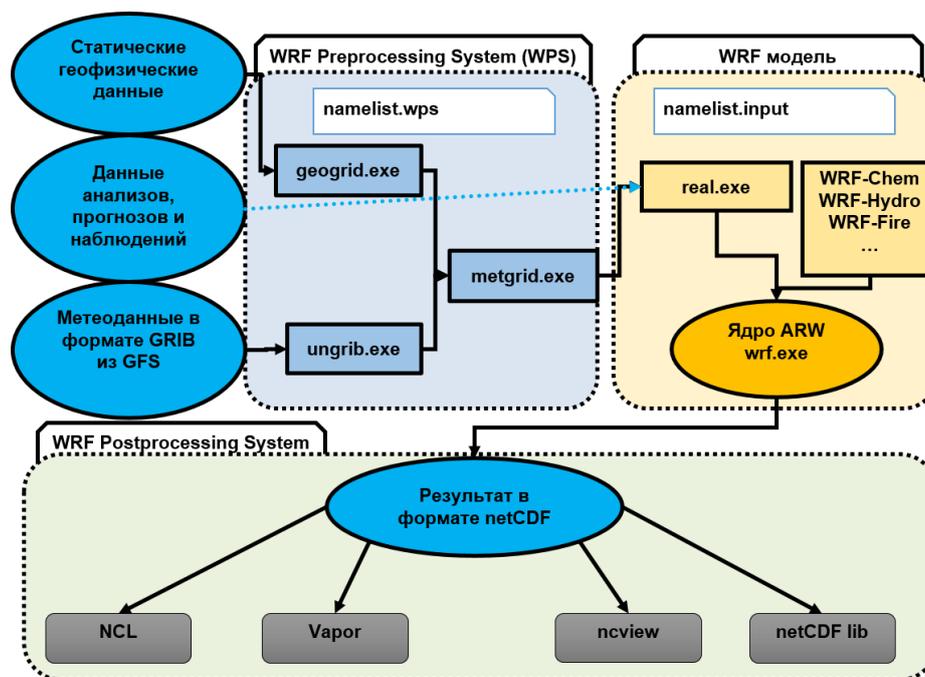


Рис. 2. Схема работы WRF-ARW

Одна из первых работ, посвященных тематике моделирования ВЭС с использованием WRF-ARW, была связана с исследованием потерь мощности ВЭУ ветропарка Horns Rev (Дания), располагающегося на морском побережье [3]. Исследование основано на наблюдениях и численном моделировании с применением кода WRF-ARW, [4]. В результате было показано, что мезомасштабные

модели, такие как WRF-ARW, способны качественно воспроизводить метеоусловия, связанные с влиянием морских ветряных электростанций. Также в работе [3] были исследованы причины потери выработки энергии на исследуемой ВЭС. Более подробное исследование, рассматривающее тот же ветропарк, описано в статье [1]. В работе приводится детальное обсуждение вопросов совмещения и связи мезо- и микромасштабных моделей для моделирования ветропарков, а также обзор имеющихся исследований в этом направлении. В работе [5] рассматривается новая модель VWiS для моделирования ветропарков, которая использует данные мезомасштабной модели WRF в качестве начальных и граничных условий. В работе [6] выполняется моделирование физических параметров в атмосферном пограничном слое с помощью вихререшающего моделирования в сравнении с данными, полученными с 200-метровой метеовышки Cabauw в Нидерландах, с применением программы WRF.

Начиная с исследования, опубликованного в [7] в WRF-ARW появляется возможность параметризации ветропарка, задавая кривую мощности (C_P) и коэффициента тяги C_T , предоставляемую производителями ветротурбин. ВЭУ при этом представлялась как имеющий форму сплошного диска, располагающегося на высоте башни ветротурбины преобразователь кинетической энергии в электрическую и турбулентную, величину которой определяет к-т C_{TKE} :

$$C_{TKE} = C_T - C_P. \quad (1)$$

Сила сопротивления, создаваемая ветротурбиной на набегающий поток, может быть выражена уравнением:

$$F_{drag} = \frac{1}{2} C_T \rho |V|VA. \quad (2)$$

При этом уравнение изменения импульса для ячейки (i, j, k) имеет вид

$$\frac{\partial |V|_{ijk}}{\partial t} = - \frac{0.5 N_t^{ij} C_T (|V|_{ijk}) |V|_{ijk}^2 A_{ijk}}{(z_{k+1} - z_k)}. \quad (3)$$

Уравнение для мощности, вырабатываемой турбинами, имеет вид

$$\frac{\partial P_{ijk}}{\partial t} = \frac{\frac{1}{2} N_t^{ij} C_P (|V|_{ijk}) |V|_{ijk}^3 A_{ijk}}{(z_{k+1} - z_k)}. \quad (4)$$

Тогда, используя (1) можно найти оставшуюся энергию, которая переходит в турбулентную:

$$\frac{\partial TKE_{ijk}}{\partial t} = \frac{\frac{1}{2} N_t^{ij} C_{TKE} (|V|_{ijk}) |V|_{ijk}^3 A_{ijk}}{(z_{k+1} - z_k)}. \quad (6)$$

Здесь $C_{ТКЕ}$ – доля турбулентной кинетической энергии, F_{drag} – сила трения, $A = \pi D^2/2$ – площадь ветроколеса, а $V = (u, v)$ – горизонтальная скорость ветра.

3 Постановка задачи

Объектом исследования в данной работе является ветропарк, расположенный возле хутора Келеметов, на территории Шовгеновского и Гиагинского районов Республики Адыгея ($45^\circ 56' 52''N 40^\circ 6' 30''E$), рис. 3.

Исследуемая ВЭС насчитывает 60 ветротурбин, мощность каждой ВЭУ равна 2.5 МВт, соответственно суммарная мощность ветропарка 150 МВт. Высота башни ВЭУ 99 м, диаметр ротора 100 м. Ветроустановки расположены в 6 рядов, расстояние между рядами порядка 300–350 м, а расстояние между рядами варьируется от 500 до 1800 м.

Вблизи Адыгейской ВЭС располагается несколько крупных населенных пунктов, таких, например, как Белореченск (расстояние до ВЭС порядка 24 км) или Курганинск (расстояние до ВЭС порядка 37 км), рис. 1. Кроме того, рядом находятся ещё несколько небольших населенных пунктов. Самый крупный из ближайших – станция Гиагинская.

Согласно усредненным данным с метеостанций по направлению ветра в Гиагинской, ветропарк находится под воздействием преимущественно северо-восточного ветра, с переменами в сторону восточного, северо-западного и северного направления. При этом ВЭС располагается в районе, в котором преобладает в основном ровная местность, без массивных лесных насаждений. Таким образом, потенциальный вихревой след, генерируемый ветропарком, может распространяться на большие расстояния, вплоть до 15 км, как, например, в случае ветропарка Horns Rev, [3]. Прогнозирование направления и размеров вихревого следа, а также изменение ветровой обстановки вблизи ветропарка, а в особенности вблизи населенных пунктов – важная задача, которая может быть решена посредством математического моделирования. Кроме того, знание направления и распределения скорости ветра, а также снижения ветровой нагрузки для каждого из рядов ВЭУ поможет, как спрогнозировать потенциальную вырабатываемую мощность ВЭС, так и оптимизировать параметры управления ветропарком, такие, например, как угол рыскания, скорость вращения ветроколеса, а также угол наклона лопасти.

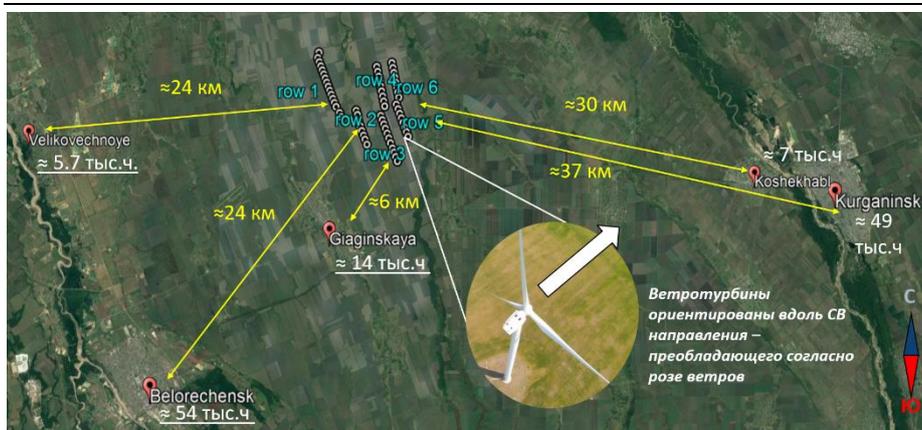


Рис. 3. Схема расположения ВЭУ в ветропарке Республики Адыгея

4 РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследуемого ветропарка была создана тестовая конфигурация, состоящая из четырёх вложенных областей, параметры которых приведены в табл. 1. В области с наибольшим разрешением (d04) располагается 60 ветротурбин, размещённых согласно координатам, взятым из спутниковых снимков открытой программы Google Earth, рис. 3. Поскольку для ВЭУ, смонтированных в данном ветропарке, не удалось найти в открытом доступе зависимость кривой мощности и коэффициента тяги от скорости, для параметризации ветротурбин в WRF были использованы данные ветроустановок, схожих по параметрам.

Таблица 1. Параметры сеток расчётной области.

| Область | Размеры сетки | Шаг сетки | WFP |
|------------|---------------|-----------|------|
| d01 (main) | 64 × 55 | 13.5 км | - |
| d02 | 49 × 49 | 4.5 км | - |
| d03 | 49 × 49 | 1.5 км | - |
| d04 | 49 × 49 | 500 м | Есть |
| d05 | 49 × 49 | 500 м | - |

Разбиение по вертикали составляло 41 уровень, с нижней точкой – 10 м над поверхностью земли. Для моделирования использовался адаптивный шаг по времени. Параметризация ветропарка (Wind Farm Parameterization – WFP) включалась только в самой маленькой области – d04.

Расчет был произведен на период 01.04.2020 00:00 – 01.05.2020 00:00 UTC. На рис. 4 представлено распределение ветра на высоте гондолы ВЭУ на дату 3 апреля 2020 года, 16:00 UTC. Можно заметить, что след от ветропарка направлен с ветром и простирается до границы расчетной области, что составляет

около 15 км. На рис. 4б видно, что для второго ряда ВЭУ дефицит скорости ветра достигает 2 м/с. Примерный дефицит скорости ветра второго ряда ВЭУ достигает 2 м/с. Также была рассчитана прогнозируемая мощность ВЭС с учетом параметризации ветропарка, а также потери выработки электроэнергии, исходя из разности суммарной мощности ВЭС (рассчитанной просто по кривой мощности) и прогнозируемой мощности ПЭС (рассчитанной просто по расчету). Показано, что падение мощности может достигать 1 МВт из-за падения скорости ветра во втором и четвертом ряду ВЭУ.

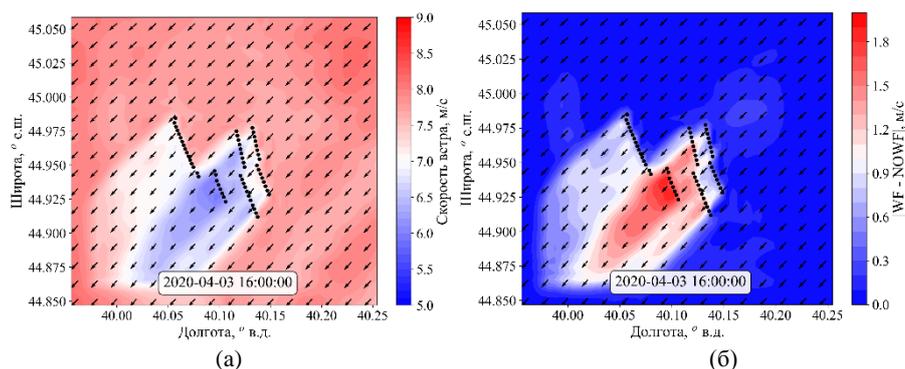


Рис. 4. Расчет для 3 апреля 2020 года, 16:00 UTC: (а) распределение скорости ветра на высоте 99 м для расчета WF; (б) модуль разности скорости ветра на высоте 99 м (высота башни) для расчёта без параметризации ветропарка и расчета с параметризацией ветропарка.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В совокупности описанные модели позволяют строить прогноз для выбранной местности с ветропарком.

Данные модели GFS, региональной модели прогноза погоды WRF-ARW и библиотеки SOWFA могут быть использованы для разработки цифровой модели Адыгейского ветропарка.

С применением модели WRF-ARW был получен прогноз метеоусловий в районе расположения ветропарка Республики Адыгея с включенной и отключенной параметризацией ветропарка. Показано, что потенциальный вихревой след может достигать размеров вплоть до 15 км. В перспективе возможно углубленное исследование данного ветропарка, а именно интерполяция полученных значений на более подробную сетку для расчета в библиотеке SOWFA пакета OpenFOAM в качестве начальных и граничных условий, т.е. в дальнейшем потребуются создание сетки и моделей ветротурбин в библиотеке SOWFA и объединение мезомасштабных данных с этой моделью.

Целесообразно проводить расчет для полного календарного года, как это сделано в работе [8] с использованием данных модели GFS и расчетного пакета WRF-ARW для ветропарка в Галисии, Испания.

Разрабатываемый программный комплекс на базе свободного программного обеспечения может быть использован российскими энергетическими компаниями для проектирования и мониторинга ВЭС на территории РФ.

Литература

1. Rodrigo J. S. et al. Mesoscale to microscale wind farm flow modeling and evaluation // WIREs Energy Environ. 2016. Vol. 6. No. 2. P. e214.
2. Вельтищев Н. Ф., Жупанов В. Д. Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM. 80 лет Гидрометцентру России. 1939 - 2010. 2010. С. 94-135.
3. Jiménez P. A., Navarro J., Palomares A. M. and Dudhia J. Mesoscale modeling of offshore wind turbine wakes at the wind farm resolving scale: a composite-based analysis with the Weather Research and Forecasting model over Horns Rev // Wind Energ. 2014. Vol. 18. No. 3. P. 559–566.
4. Skamarock W. C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. UCAR/NCAR. 2019.
5. Yang X., Sotiropoulos F., Conzemius R. J., Wachtler J. N. and Strong M. B. Large-eddy simulation of turbulent flow past wind turbines/farms: the Virtual Wind Simulator (VWiS) // Wind Energ. 2014. Vol. 18. No. 12. P. 2025–2045.
6. Rodrigo J. S. et al. Results of the GABLS3 diurnal-cycle benchmark for wind energy applications // J. Phys.: Conf. Ser. 2017. Vol. 854. P. 012037.
7. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. UCAR/NCAR - Research Data Archive. 2000.
8. Miguel A. P. et al. Wind power forecasting for a real onshore wind farm on complex terrain using WRF high resolution simulations // Renewable Energy. 2019. Vol. 135. P. 674–686.

References

1. Rodrigo J. S. et al. Mesoscale to microscale wind farm flow modeling and evaluation // WIREs Energy Environ. 2016. Vol. 6. No. 2. P. e214.
2. Vel'tishchev N. F., Zhupanov V. D. Chislennyye prognozy pogody po negidrostaticheskim modelyam obshchego pol'zovaniya WRF-ARW i WRF-NMM (Numerical weather forecasts by non-hydrostatic open-source models WRF-ARW and WRF-NMM) // In: 80 let Gidromettsentru Rossii (80 years to the Hydrometeorological Center of Russia). 2010. P. 94-135.
3. Jiménez P. A., Navarro J., Palomares A. M. and Dudhia J. Mesoscale modeling of offshore wind turbine wakes at the wind farm resolving scale: a composite-based analysis with the Weather Research and Forecasting model over Horns Rev // Wind Energ. 2014. Vol. 18. No. 3. P. 559–566.
4. Skamarock W. C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. UCAR/NCAR. 2019.

5. Yang X., Sotiropoulos F., Conzemius R. J., Wachtler J. N. and Strong M. B. Large-eddy simulation of turbulent flow past wind turbines/farms: the Virtual Wind Simulator (VWiS) // *Wind Energ.* 2014. Vol. 18. No. 12. P. 2025–2045.
6. Rodrigo J. S. et al. Results of the GABLS3 diurnal-cycle benchmark for wind energy applications // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2017. Vol. 854. P. 012037.
7. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. UCAR/NCAR - Research Data Archive. 2000.
8. Miguel A. P. et al. Wind power forecasting for a real onshore wind farm on complex terrain using WRF high resolution simulations // *Renewable Energy.* 2019. Vol. 135. P. 674-686.

Possibilities of Macroscale and Mesoscale Models for Modeling the Operation of a Wind Farm on the Example of the Adygeya wind farm

Ivanov Alexander^{1,2,3}, Strijhak Sergey^{1,4}

¹ Ivannikov Institute for System Programming RAS, Moscow, Russia

² Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia

³E-mail: av.ivanov@ispras.ru,

⁴E-mail: s.strijhak@ispras.ru

Abstract. The paper presents an example of using the mesoscale and macroscale modeling for the wind farm investigation. GFS data and WRF-ARW code were used for the calculation of the meteorological conditions and generated power in the area of the Republic of Adygea wind farm. The wind speed distribution forecast, as well as the forecast of losses of the wind farm generated power, are presented. An assessment of the wake formed by wind turbines is carried out.

Keywords: wind energy, wind farm, simulation, grid, velocity, power, WRF

УДК 620.97

Повышение уровня метрологического обеспечения лопастей ВЭУ больших размеров (от 60м) на этапах производства

Синица Мария Олеговна^[0000-0003-2579-2350]

Московский Государственный Технический университет им. Н.Э. Баумана.

E-mail: sinmaria@yandex.ru

Аннотация. Развитие в области возобновляемых источников энергии сегодня происходит быстрыми темпами, особенно в области ветроэнергетики. Быстрое внедрение новых производственных систем, увеличение доли автономии промышленных предприятий требует внедрения новых современных подходов в области энергетики, энергоэффективности и энергосбережения. На этом фоне резко возрастает потребность в инновационных решениях в области метрологического обеспечения и измерительных технологий в энергетике. В статье представлен комплекс для проведения контрольно-измерительных процедур, который позволит повысить качество метрологического обеспечения производственного процесса в России. Кроме того, были рассчитаны метрологические и экономические параметры описываемого стенда.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, ветроэнергетика, ветроустановка, метрологическое обеспечение, лопасть.

1 Введение

По данным сайта «Статистический Ежегодник мировой энергетики» в 2019 г. доля ветровой и солнечной энергии в мировом энергетическом балансе выросла (+12 % для ветровой и +24 % для солнечной энергии), тогда как выработка электрической энергии из тепловой - снизилась.

На долю ВИЭ сегодня приходится 35 % энергетического баланса в ЕС, 27 % в Китае, 21 % в Индии и около 18 % в США, России и Японии. [1]

В России в 2019 году была принята государственная программа «Развитие энергетики», срок реализации планируется до 2024 года.

Целью программы является два аспекта:

1. Максимальное содействие социально-экономическому развитию страны, что занимает значимую роль в формировании доходов бюджета РФ.

2. Укрепление и сохранение позиций Российской Федерации в мировой энергетике.

Для достижения поставленной цели требуется ускоренный переход к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике. [2] Чтобы добиться наилучших результатов необходимо внедрение в производство новых современных технологий.

Уже сегодня современные технологии управления в области энергетики внедряются ведущими компаниями мира. Следует отметить, что современный уровень автоматизации достиг таких масштабов, что невозможно управлять технологическими процессами без внедрения систем измерения, контроля и управления. Сегодня контрольно-измерительная аппаратура представляет собой не просто набор датчиков, а измерительные комплексы в сочетании с современными методами измерений и контроля, а также продвинутыми методиками выполнения измерений. [3]

Исследования последних десятилетий в значительной мере посвящены вопросам повышения надежности и диагностике промышленных объектов. Эксплуатационная надежность электрогенерирующих мощностей, распределенных по всей территории России на тысячи километров, должна гарантироваться средствами контроля их технического состояния. [15]

Сегодня в преддверии инновационных технологий в сфере ВИЭ, в особенности в ветроэнергетике РФ, особое место занимает метрологическое обеспечение всей конструкции ветроустановки. Так как производить свои ветроагрегаты в России стали сравнительно недавно, то проблемы контроля занимают важные позиции в жизненном цикле ветротурбин.

Проведение контрольно-измерительных операций крупногабаритных изделий находят широкое применение во всем мире сегодня. Так, в работе «Сопряженная система 3D лазерного сканирования и корреляции цифровых изображений для получения геометрии и мониторинга деформаций железнодорожного тоннеля» приведены результаты исследования и измерения с помощью 3D-сканирования участка железнодорожного скального туннеля в Бразилии. [4]

В исследовании авторов «Мониторинг центровки вала ветрогенератора в режиме реального времени с помощью лазерного измерения» приведен пример использования лазерных измерений для определения и контроля фиксации позиционных изменений ветроустановок в процессе эксплуатации и выравнивания приводных линий валопровода в ветроустановках. Измерительная система представляет собой комплекс лазеров установки, по результатам контроля происходит определение средней и периодической амплитуды по ансамблю усредненного сигнала. [5]

Таким образом, проблема измерительного контроля крупногабаритных объектов, включая лопасти, представляет важное значение, а многие современные решения основываются на применении бесконтактных систем измерений, включая сканирование и лазеры. По данным сайта «Статистический Ежегодник мировой энергетики» в 2019 г. доля ветровой и солнечной энергии в мировом

энергетическом балансе выросла (+12 % для ветровой и +24 % для солнечной энергии), тогда как выработка электрической энергии из тепловой - снизилась.

На долю ВИЭ сегодня приходится 35 % энергетического баланса в ЕС, 27 % в Китае, 21 % в Индии и около 18 % в США, России и Японии. [1]

В России в 2019 году была принята государственная программа «Развитие энергетики», срок реализации планируется до 2024 года.

Целью программы является два аспекта:

1. максимальное содействие социально-экономическому развитию страны, что занимает значимую роль в формировании доходов бюджета РФ.
2. укрепление и сохранение позиций Российской Федерации в мировой энергетике.

Для достижения поставленной цели требуется ускоренный переход к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике. [2] Чтобы добиться наилучших результатов необходимо внедрение в производство новых современных технологий.

Уже сегодня современные технологии управления в области энергетики внедряются ведущими компаниями мира. Следует отметить, что современный уровень автоматизации достиг таких масштабов, что невозможно управлять технологическими процессами без внедрения систем измерения, контроля и управления. Сегодня контрольно-измерительная аппаратура представляет собой не просто набор датчиков, а измерительные комплексы в сочетании с современными методами измерений и контроля, а также продвинутыми методиками выполнения измерений. [3]

Исследования последних десятилетий в значительной мере посвящены вопросам повышения надежности и диагностике промышленных объектов. Эксплуатационная надежность электрогенерирующих мощностей, распределенных по всей территории России на тысячи километров, должна гарантироваться средствами контроля их технического состояния. [15]

Сегодня в преддверии инновационных технологий в сфере ВИЭ, в особенности в ветроэнергетике РФ, особое место занимает метрологическое обеспечение всей конструкции ветроустановки. Так как производить свои ветроагрегаты в России стали сравнительно недавно, то проблемы контроля занимают важные позиции в жизненном цикле ветротурбин.

Проведение контрольно-измерительных операций крупногабаритных изделий находят широкое применение во всем мире сегодня. Так, в работе «Сопряженная система 3D лазерного сканирования и корреляции цифровых изображений для получения геометрии и мониторинга деформаций железнодорожного тоннеля» приведены результаты исследования и измерение с помощью 3D-сканирования участка железнодорожного скального туннеля в Бразилии. [4]

В исследовании авторов «Мониторинг центровки вала ветрогенератора в режиме реального времени с помощью лазерного измерения» приведен пример использования лазерных измерений для определения и контроля фиксации позиционных изменений ветроустановок в процессе эксплуатации и выравнивания приводных линий валопровода в ветроустановках. Измерительная система представляет собой комплекс лазеров установки, по результатам контроля про-

исходит определение средней и периодической амплитуды по ансамблю усредненного сигнала. [5]

Таким образом, проблема измерительного контроля крупногабаритных объектов, включая лопасти, представляет важное значение, а многие современные решения основываются на применении бесконтактных систем измерений, включая сканирование и лазеры.

2 Типы аварий в ветроэнергетике

Н Проанализировав документ со статистикой аварий [23], случившихся на ВЭУ, с 1980 – 2013 г. можно все аварии разделить на категории:

1) Аварии, случившиеся из-за несоблюдения техники безопасности при обслуживании ветрогенератора.

За 2019 год от инцидентов в ветровой энергетике погиб 21 человек. При строительстве, монтаже и эксплуатации ветровых турбин умерло за последний год 195 человек. Во многом причины эти связаны с точностью изготовления элементов башни и присоединительных размеров, болтов и отверстий монтажных размеров. Поэтому одним из элементов повышения безопасности является усовершенствование технологического процесса в части изготовления, измерения и контроля в процессе производства.

2) Аварии, связанные с природными явлениями.

- Такие аварии могут быть вызваны природными катаклизмами: молнии,
- тайфуны (если рассматривать оффшорные ВУ),
- ураганы,
- эрозия и т.п

Не досмотр опять же владельца башни привело к поломке ветроустановки (ВУ). Необходимость соблюдения определенных правил при эксплуатации важно при использовании столь дорогостоящего и сложного механизма. Проверка защитного антикоррозийного слоя покрытия лопастей и всей башни в целом – одна из основных обязанностей владельца башен. В 1992 в Америке в одном из ветропарков произошла поломка ВУ из-за ускоренной антропогенной эрозии, вызванная дождевым стоком с служебных дорог и площадок ветряных турбин на перевале Tehachapi Pass, CA. В настоящее время этот участок принадлежит компании Flor-ida Power & Light, и с тех пор турбины Dargieus были демонтированы, а также введено несколько методов борьбы с эрозией. В то время как эти методы уменьшили эрозию в показанных оврагах, новые овраги образовались в других местах вдоль хребта, следовательно, эрозия продолжается.

3) Аварии, возникшие из-за плохого контроля и монтажа на производстве. Аварии, связанные с конструкцией, сегодня являются самыми актуальными. Сильный порыв ветра, в следствие чего лопасть может оторвать от турбины, возгорание ротора, также из-за сильного ветра и т.д. Проверка также защитного антикоррозийного слоя, своевременное покрытие лопастей и всей башни в целом, особенно это касается офшорных башен. Не соблюдение установленных

требований при изготовлении и эксплуатации приводит к поломке и остановке всей установки.

Для дальнейшей работы наиболее интересными для исследования авариями являются аварии, связанные напрямую с самими производством, так как с метрологической и технической точки зрения в таких случаях можно разобраться с возникновением и сокращением таких аварий на практике.

В таблице 1 также приведены аварии, связанные с поломкой лопастей за период 2009-2013

Таблица 1. Аварии на ВЭУ за период с 2009-2013, связанные с поломкой лопастей.

| Дата | Место | Детали Аварии |
|------------|--------------------------------|--|
| 10/10/2009 | Шеффилд, Йоркшир, Англия | "Ветряная турбина в Шеффилде сорвана сильным порывом ветра во второй раз». Производители турбины высотой 57,91 м., принадлежащих Шеффилдскому университету, расследовали повреждения на участке рядом с городской Парковой дорогой к шоссе М1. Лопасть на той же турбине была сорвана 15 месяцев назад, и жители, живущие рядом с участком в Кэтклиффе, недалеко от Ротерхэма, выразили свои опасения |
| 01/11/2009 | Нерейсунне, Норвегия | Оторвался кусок от лопасти весом 10 тонн и длиной 45 метров. Местный житель сообщил: "посреди ночи мы услышали сильный грохот. Мы живем в 650 метрах от парка и серьезно обеспокоены. В последний раз, когда произошел несчастный случай с лопастью (20 января 2006 года), детали лопасти были выброшены на расстояние 1,3 км" |
| 03/11/2009 | Фалькенберг, Швеция | "Две ветряные турбины сломались за одну неделю" лопасти ветряных турбин оторвались рядом с Эсбьерг, Юго-Западная Швеция. Неисправность на ветряной турбине Vestas в городе Фалькенберг на юго-западном побережье Швеции мог привести к трагедии, так как одна из больших лопастей конструкции отлетела и приземлилась на дорожку, используемую туристами |
| 19/03/2010 | Иглшемская пустошь в Шотландии | "Лопастей оторвалась от ветряной турбины" на крупнейшей в Европе береговой ветроэлектростанции в Восточном Ренфрюшире ведется расследование после того, как 150-футовая лопасть оторвалась от турбины. Инцидент, произошедший около 02:00 по Гринвичу в пятницу 19 марта, привел к тому, что все 140 турбин на ветроэлектростанции Уайтли, расположенной недалеко от Иглшема, были временно отключены. |
| 08/04/2013 | Адэр, Айова | Полная лопасть, выброшенная из турбины на ветряной электростанции Eclipse в Айове. Никто не пострадал. |

Проанализировав документ с 2010 по 2013, были сделаны следующие выводы:

- Аварий с летальным исходом стало в несколько раз меньше, за период с 2000-2013 год таких случаев насчитывается 303, сюда входят также случаи халатного отношения самого рабочего к своей работе (обслужи-

вание станций без страховки, невнимательность при обслуживании ветряка и т.д.);

- Аварии, связанные с природными явлениями (обледенение, молнии, землетрясения, тайфуны, ураганы) таких всего 22 случая;
- Аварии из-за возгорания турбины, поломки лопастей, разрушения основания ветряка, т.е. башни – таких большинство. Всего насчитывается 675 аварий за 13 лет эксплуатации.

3 Лопаста. Конструктивные особенности

И Для конструктивное проектирование лопастей ветряных турбин необходимо сначала найти компромисс между аэродинамической и конструктивной эффективностью. Выбор материалов и производственного процесса также будет влиять на то, насколько тонким (аэродинамически идеальным) может быть изготовлена лопасть и ценовая категория. Следовательно, процесс проектирования конструкций играет решающую роль в объединении всех дисциплин проектирования и производства и создании оптимального решения с точки зрения производительности и стоимости.

При изготовлении лопасти необходимо учитывать следующие критерии:

1. Лопасть должна быть прочной у основания. Это необходимо для создания достаточной подъемной силы с учетом более низкой скорости ветра вблизи ступицы. К сожалению, толщина, необходимая для обеспечения жесткости и прочности лопасти, больше, чем требуется для обеспечения аэродинамической эффективности, поэтому необходимо найти компромисс между весом конструкции и потерей аэродинамической эффективности.
2. К концу всей детали, лопасть должна быть сужена. Зауженная часть лопасти необходима на вершине, где сопротивление наиболее критично, также для регулирования мощности при сильном ветре, тонкая часть более легко срывается, поэтому полезна на конце.

Таким образом, форма самой лопасти, ее толщина влияет напрямую на эффективность ветроустановки. Если лопасть сделать тоньше, ее аэродинамические характеристики улучшатся, но потребуются сделать более прочные лонжероны, что увеличит стоимость лопасти. Оптимальная геометрия достигается итеративно с учетом конструкции турбины, нагрузок, конструктивного исполнения и производственных затрат. Как говорилось ранее, разная толщина изделия необходима для создания подъемной силы на лопасти, которая в свою очередь, приводит в движение турбину и распределяется вдоль лопасти приблизительно пропорционально локальному радиусу, то есть у вершины имеется больше подъемной силы, чем у ступицы. Подъемная сила воздействует на лопасть, изгибая ее. Данный эффект называется изгибающим моментом. У основания изгибающий момент имеет наибольшее значение, но на острие изгибающий момент падает до нуля. [6]

Сегодня для подтверждения требуемых профилей нагрузки и проверки конструкции лопастей проводят определенный цикл испытаний, подвергая лопасти 150% их номинальной мощности нагрузки. Для испытания лопастей на отказ требуется ударопрочное испытательное оборудование, с помощью которого можно выявить дефекты объекта, тем самым повысить точность и надежность исследуемого изделия. Проверка профиля сечения лопасти, ее формообразующая, играет не последнюю роль в качестве и эффективности работы ветроагрегата. Необходимы инновационные технические решения, построенные на научной и современной технологической базе. [7]-[14]

4 Контрольно- измерительные операции лопастей ветротурбин с использованием испытательного стенда

На сегодняшний день при автоматизации производственного процесса, при оснащении его современными прогрессивными технологиями производство совершенствуется, а значит роль метрологии возрастает. Актуальным становится проводить измерения в динамике при существенном влиянии внешних факторов. С внедрением новых технологий в производственный процесс измерения, сегодня, чаще проводят на всех этапах жизненного цикла продукта, при этом доля измерительных процедур нередко превышает долю производственных.

Поэтому перспективным направлением в контрольно-измерительных операциях в метрологии считается проведение таких измерений с использованием методов бесконтактных измерительных процедур на основе применения современных лазерных и оптических измерительных систем.

Так как большая часть вырабатываемой электроэнергии от ветроагрегата зависит от качества изготавливаемой лопасти, то повышение таких параметров как надежность, точность изготовления формы, а именно соответствие заданным аэродинамическим показателям, во многом зависит от качества выполняемого контроля.

4.1 Испытательный стенд

В России активно строятся ветропарки, 1.05.2020 года введена в строй Каменская ВЭС установленной мощностью 100 МВт. До конца первого полугодия, планируется запустить ещё одну ВЭС, Гуковскую мощностью 100 МВт. Также до конца 2023 года планируется построить ВЭС, на 1,8 ГВт мощности. И что примечательно, постройками ветропарков занимаются Российские компании. Но, к сожалению, сами ветроустановки изготавливаются не на основе российских разработок, а на основе совместных предприятий с иностранными фирмами. «Роснано» и «Росатом» активно локализируют производство от башен, до гондол, также в мае этого года начались поставки лопастей ветряков в Данию. Быстрый темп развития ветроэнергетики в России ведет к тому, что в ближайшем будущем возникнет необходимость в производстве собственных ветро-

установок, по проектам российских разработчиков. Это не только экономически выгодная стратегия, но также это позволит создать ветропарки в зависимости от наших климатических и ландшафтных условий.

Именно поэтому, при производстве собственных ветроагрегатов представляемый испытательный стенд будет являться решением многих проблем в измерении и контроле лопастей.

Испытательный стенд представляет собой не сложную конструкцию, оснащенную электроприводом для автоматического передвижения средства контроля. Таким образом, пример конструкции изображен на рис. 1. Стенд состоит из:

- 1) базы, которая также используется для покраски лопасти;
- 2) механизма, оснащенного электроприводом, для передвижения каретки со сканирующим устройством;
- 3) Каретка, на которую установлено средство измерения;
- 4) Средство измерения – 3-D сканер;
- 5) Компьютер для принятия и обработки полученной информации.

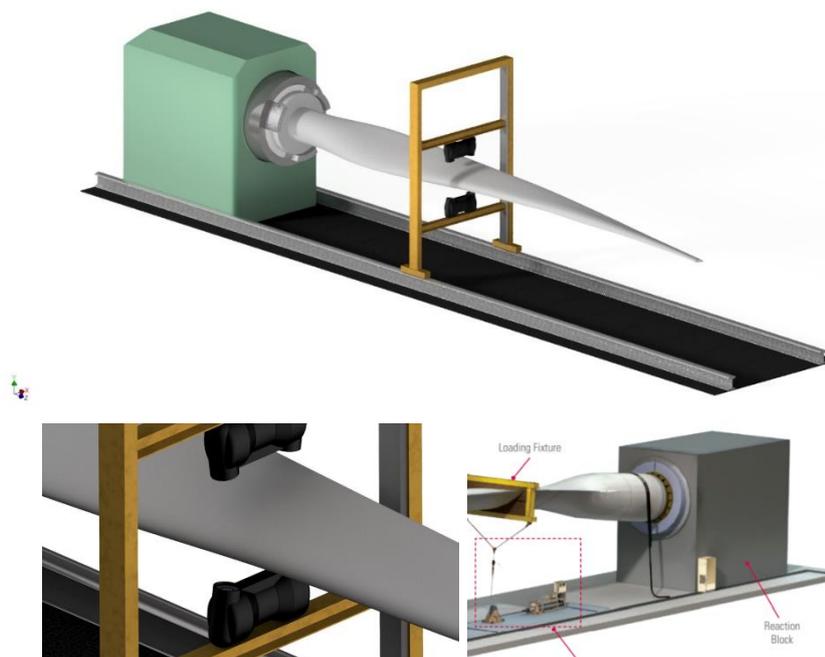


Рис.1 Конструкция испытательного стенда.

Передвижение устройства осуществляется по рейкам. Рейка служит для регулировки положения прибора, закреплённого на кронштейне.

Средство измерения выбирают с учетом конструктивных особенностей, формы и размеров измеряемой детали, требуемой точности измерений, метрологических характеристик прибора, производительности контроля и т.д.

4.2 Средство измерение, используемое при контроле

Разрабатываемое устройство в процессе сканирования объекта должно выполнять различные измерения на поверхности объекта. Затем эти измерения должны быть переведены на микроконтроллер для обработки и подготовки данных в требуемом формате. Следовательно, основным требованием к лазерному измерителю является наличие интерфейса данных, с помощью которого можно получить и сохранить информацию о каждом измерении. Этот интерфейс должен поддерживаться контроллером.

Вторым важным требованием к измерительному устройству является возможность управления работой через интерфейс данных. Эта функция позволит передавать данные в виде команды с контроллера на лазерное устройство и тем самым полностью контролировать процесс сканирования объекта. Микропроцессор должен по крайней мере быть в состоянии отправить команду на одно измерение. Поэтому лазер должен поддерживать команду “measure”, передаваемую ему через определенный интерфейс данных.

Для целей нашей работы подходит сканер 3D-сканер Creaform HandySCAN 307.

Сканирование лопасти будет проходить в двух сечениях одновременно, т.е. для сканирования верхней и нижней части лопасти будут использоваться два сканера, которые в дальнейшем будут выполнять процесс измерения синхронно.

4.3 Анализ результатов контроля

После проведения контрольно-измерительных процедур, обработки компьютером массива полученных данных, полученные результаты преобразуются в 3-мерную модель, с которой в дальнейшем можно работать. Полученная модель позволяет метрологу выявить несоответствия изготовленной детали. Также при дальнейшем анализе будет происходить сравнение полученной модели с «эталонной», таким образом, метролог получит полную картину состояния объекта, лопасти. Измеряемый параметр, выбранной на данном этапе работы, это измерение отклонения формы лопасти, что напрямую влияет на аэродинамические свойства всей ветроустановки.

5 Метрологические и экономические характеристики испытательного стенда

5.1 Погрешность стенда

Для правильной обработки результатов измерений, проведенных на стенде, необходимо учитывать погрешность, создаваемую самой установкой. Без учета данной погрешности, полученные данные следует считать фиктивными.

Для расчета общей погрешности воспользуемся формулой 1, получаемой стендом, просуммируем погрешности, влияющие на результат измерения.

$$\Delta_{\text{общ}} = \Delta_{\text{инстр}} + \Delta_{\text{мет}} + \Delta_{\text{случ}} + \Delta_{\text{суб}} + \Delta_{\text{уст}} + \Delta_{\text{окр.ср}} + \Delta_{\text{констр}} \quad (1)$$

Из формулы видно, что погрешность состоит из следующих компонентов:

1) $\Delta_{\text{инстр}}$ – инструментальная погрешность. В нашем случае, при использовании 3D-сканера Creafom HandySCAN 307

2) $\Delta_{\text{мет}}$ – методическая погрешность.

Методическая погрешность возникает из-за отклонения Δt_1 и колебания температуры Δt_2 . Она обусловлена разницей коэффициентов линейного расширения материалов и детали.

$$\Delta_t = d \cdot \theta \cdot 11,6 \cdot 10^{-6}, \text{ мм}, \quad (2)$$

где θ – температурный режим, определяемый по формуле 3.

$$\theta = \sqrt{\left[\frac{\Delta t_1 \cdot (\alpha_{\text{ст}} - \alpha_{\text{д}})_{\text{max}}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right]^2 + \left[\frac{\Delta t_2 \cdot \alpha_{\text{max}}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right]^2}, \quad (3)$$

3) $\Delta_{\text{случ}}$ – Случайная погрешность - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях данной величины. Вычисляется следующим образом:

$$\Delta_{\text{случ}} = tS \quad (4)$$

Где S – среднее квадратическое отклонение среднего арифметического измерений; t – коэффициент Стьюдента, зависящий от принятой доверительной вероятности P и числа наблюдений n .

4) $\Delta_{\text{суб}}$ – субъективная погрешность в данной конструкции из-за использования автоматизированного прибора бесконтактного метода измерения ничтожно малы, поэтому ее мы не учитываем.

5) $\Delta_{\text{окр.ср}}$ – погрешность, связанная с внешними факторами. Внешняя погрешность возникает из-за несоблюдения нормальных условий при измерении в помещении ГОСТ 15150-69. В помещении, где будет проходить эксперимент необходимо чтобы комната соответствовала требованиям, прописанных в ГОСТ (температуре, влажности, чистоте воздуха, освещенности, звуко- и виброизоляции, защите от излучений, снабжению электроэнергией, водой, воздухом, теплом, хладагентом и т. д.).

6) $\Delta_{\text{уст}}$ – погрешность заготовки. Отклонения от геометрической формы и размеров, возникающие в процессе обработки заготовки, должны находиться в

пределах допусков, определяющих максимально допустимые значения погрешностей размеров и формы детали. При механической обработке обеспечение заданной точности зависит от выбора технологических баз и схемы установки заготовок.

Погрешность заготовки можно записать в следующем виде:

$$\Delta_{\text{уст}} = \sqrt{\Delta_{\text{баз}}^2 + \Delta_{\text{заг}}^2} \quad (5)$$

$\Delta_{\text{баз}}$ – погрешность базирования. Погрешность базирования- это отклонение фактически достигнутого положения заготовки при базировании от заданного, или требуемого.

$\Delta_{\text{заг}}$ - погрешность закрепления, от установления детали на базы напрямую зависит достоверность результата. Погрешность закрепления образуется из погрешностей, возникающих до приложения силы зажатия и при зажатии.

7) $\Delta_{\text{констр}}$ – погрешность конструкции. Данная погрешность напрямую влияет на результаты измерения. Погрешность перемещения каретки. Важная составляющая конструкции испытательного стенда – каретка, с помощью нее происходит передвижение сканирующего устройства. Данную погрешность нужно учитывать, так как имеет непосредственное влияние на точность результата измерения;

Погрешность конструкции вычисляется по формуле (6).

$$\Delta_{\text{констр}} = \Delta_{\text{перемещ.карет}} + \Delta_{\text{лин.перемещение по высоте}} \quad (6)$$

Таким образом, при более подробных расчетах погрешность, которая может возникнуть при использовании испытательного стенда в зависимости от условий внешних факторов составляет не более 100 мкм, что имеет сравнительно малое значение при масштабном производственном процессе. [16-20]

5.2 Экономическая выгода

Общепромышленные экономические требования исходят из условий конкурентоспособности и экономической целесообразности в промышленном производстве. Основным показателем, определяющим экономическую целесообразность затрат на создание и внедрение испытательного стенда является годовой экономический эффект.

При расчете технико-экономических показателей получены следующие результаты:

- себестоимость 2939322 руб.;
- индекс доходности равен 2 (больше 1) при данной ставке дисконта $E_n=10\%$.
- Срок окупаемости проекта – 1,5 год.

В результате расчетов, расчет погрешности и экономических показателей, следует, что предлагаемое решение контроля лопастей больше 60 метров с использованием испытательного стенда не только экономически выгодно, но также эффективно применение в процессе изготовления самой лопасти. [20-19]

6 Заключение

Рассмотрены проблемы метрологического обеспечения при контрольно-измерительной процедуре лопастей ветрогенератора. Проведен анализ систем контроля с использованием бесконтактных измерительных систем.

Представлен разработанный стенд для контроля лопастей. Стенд представляет собой автоматизированный комплекс измерений, включающий 3D-сканер Creaform HandySCAN 307 и автоматизированную систему сбора измерительной информации.

Рассчитана суммарная погрешность, влияющая на процесс контроля, при использовании испытательного стенда. Таким образом, при более подробных расчетах погрешность, которая может возникнуть при использовании испытательного стенда в зависимости от условий внешних факторов составляет не более 100 мкм, что имеет сравнительно малое значение при масштабном производственном процессе.

При расчете технико-экономических показателей получены следующие результаты:

- себестоимость 2939322 руб.;
- индекс доходности равен 2 (больше 1) при данной ставке дисконта $E_n=10\%$.
- Срок окупаемости проекта – 1,5 год.

В результате проведенных расчетов, расчет погрешности и экономических показателей, следует, что предлагаемое решение контроля лопастей больше 60 метров с использованием испытательного стенда не только экономически выгодно, но также эффективно применение в процессе изготовления самой лопасти.

Полученные результаты можно использовать на предприятие в режиме онлайн. Испытательный стенд и программа по обработке результатов способны в реальном времени анализировать состояние объекта, измерять и проводить контроль необходимых геометрических параметров.

Благодарность. Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных – докторов наук МД-1209.2020.8. Отдельные результаты поддержаны в рамках государственного задания №0705-2020-0046 в сфере научной деятельности.

Литература

1. Статистический Ежегодник мировой энергетики 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/>, (13.09.2020);
2. Государственная программа Российской Федерации «Развитие Энергетики» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru>, (13.09.2020);
3. World energy issues monitor 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worldenergy.org/>, (13.09.2020);

4. Farahani, B. V., Barros, F., Sousa, P. J., Cacciari, P. P., Tavares, P. J., Futai, M. M., & Moreira, P. (2019). A coupled 3D laser scanning and digital image correlation system for geometry acquisition and deformation monitoring of a railway tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 91, 102995.
5. Mankowski, O., & Wang, Q. (2013). Real-time monitoring of wind turbine generator shaft alignment using laser measurement. *Procedia CIRP*, 11, 291-295.
6. Wind Turbine Blade Structural Engineering. WE Handbook- 3- Structural Design, 1-16
7. Boldasov, D. D., Komshin, A. S., & Syritskii, A. B. (2019, September). Method of Lathe Tool Condition Monitoring Based on the Phasechronometric Approach. In *International Russian Automation Conference* (pp. 753-762). Springer, Cham.
8. Kiselev, M. I., Pronyakin, V. I., & Tulekbaeva, A. K. (2018, February). Technical diagnostics functioning machines and mechanisms. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 312, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
9. Komshin, A. S., & Orlova, S. R. (2016). Control of Degradation of Construction Materials in the Course of Use for the Case of String Elements. *Measurement Techniques*, 59(6), 589-594.
10. Kolesnikov, A. G., Cherepanov, D. S., Chekulaev, A. V., & Mironova, M. O. (2018). Analysis of Drive Mechanisms for the Working Stand in Periodic Cold-Rolled Pipe Mills. *Metallurgist*, 61(11-12), 1102-1107.
11. Galushkin, M. G., Yakunin, V. P., Grigoriantz, A. G., Dyachkov, R. G., Funtikov, V. A., & Tretiakov, R. S. (2016). Creation and experimental study of a planar solid-state laser based on a YAG: Yb 3+ crystal with diode edge pumping. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 80(4), 440-443.
12. Boldasov, D. D., Potapov, K. G., & Syritskii, A. B. (2016). Phase-chronometric diagnostics of metal-cutting lathes. *Russian Engineering Research*, 36(8), 668-672.
13. Kolyada, Y. B., Korolev, Y. S., Krushnyak, N. T., Razgulin, V. G., & Yanushkin, V. N. (2010). Prospects and problems of automation, improving response speed, accuracy, and reliability of devices for measuring linear and angular quantities. *Measurement Techniques*, 53(8), 858.
14. Kolyada, Y. B., Korolev, Y. S., Krushnyak, N. T., Razgulin, V. G., & Yanushkin, V. N. (2008). Efficiency gained with the use of scanning in precision photoelectric systems for measurement of displacement. *Measurement Techniques*, 51(3), 242-244.
15. А.С. Комшин, К.Г.Потапов, А.Б.Сырицкий, А.Е.Фомин (2020). Система мониторинга оборудования гидро и ветроэнергетики на основе интеллектуальных измерительных комплексов и нейродиагностики. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*
16. Голубев Э. А., Исаев Л. К. Измерения, контроль, качество. ГОСТ Р ИСО 5725: Основные положения. Вопросы освоения и внедрения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005. 136 с.
17. ФЗ РФ «Об основах охраны труда в Российской Федерации» № 181-ФЗ от 17.07.1999 г.;
18. ФЗ РФ «О техническом регулировании» № 184 от 27.12.2002 г.;
19. С. Н. Степанов, А. Н. Табенкин, С. Б. Тарасов. Метрологическое обеспечение производства. Нормирование параметров и способы измерения текстуры поверхности / - Спб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. - 147с.;
20. Федеральный закон от 25.02.1999 N 39-ФЗ (ред. от 25.12.2018) "Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений";

21. "Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования" (утв. Госстроем РФ, Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госкомпромом России 31.03.1994 N 7-12/47
22. Патричный В. А. Методы оценки экономической эффективности метрологического обеспечения производства в отраслях промышленности // Измерительная техника, 1985. № 8. С. 55-57.
23. WIND TURBINE ACCIDENT COMPILATION [Электронный ресурс]. Электронный ресурс]. –Режим доступа:- <https://fliphtml5.com/dqsm/kcam/basic>, (25.10.2020);

Reference

1. Statistical Yearbook of world energy 2020 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://yearbook.enerdata.ru/>, (13.09.2020);
2. State program of the Russian Federation "Energy Development" [Electronic resource]. – Mode of access: <https://minenergo.gov.ru>, (13.09.2020);
3. World energy issues monitor 2020 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.worldenergy.org/>, (13.09.2020);
4. Farahani, B. V., Barros, F., Sousa, P. J., Cacciari, P. P., Tavares, P. J., Futai, M. M., & Moreira, P. (2019). A coupled 3D laser scanning and digital image correlation system for geometry acquisition and deformation monitoring of a railway tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 91, 102995.
5. Mankowski, O., & Wang, Q. (2013). Real-time monitoring of wind turbine generator shaft alignment using laser measurement. *Procedia CIRP*, 11, 291-295.
6. Wind Turbine Blade Structural Engineering. WE Handbook- 3- Structural Design,1-16
7. Boldasov, D. D., Komshin, A. S., & Syrinskii, A. B. (2019, September). Method of Lathe Tool Condition Monitoring Based on the Phasechronometric Approach. In *International Russian Automation Conference* (pp. 753-762). Springer, Cham.
8. Kiselev, M. I., Pronyakin, V. I., & Tulekbaeva, A. K. (2018, February). Technical diagnostics functioning machines and mechanisms. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 312, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
9. Komshin, A. S., & Orlova, S. R. (2016). Control of Degradation of Construction Materials in the Course of Use for the Case of String Elements. *Measurement Techniques*, 59(6), 589-594.
10. Kolesnikov, A. G., Cherepanov, D. S., Chekulaev, A. V., & Mironova, M. O. (2018). Analysis of Drive Mechanisms for the Working Stand in Periodic Cold-Rolled Pipe Mills. *Metallurgist*, 61(11-12), 1102-1107.
11. Galushkin, M. G., Yakunin, V. P., Grigoriantz, A. G., Dyachkov, R. G., Funtikov, V. A., & Tretiakov, R. S. (2016). Creation and experimental study of a planar solid-state laser based on a YAG: Yb 3+ crystal with diode edge pumping. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 80(4), 440-443.
12. Boldasov, D. D., Potapov, K. G., & Syrinskii, A. B. (2016). Phase–chronometric diagnostics of metal-cutting lathes. *Russian Engineering Research*, 36(8), 668-672.
13. Kolyada, Y. B., Korolev, Y. S., Krushnyak, N. T., Razgulin, V. G., & Yanushkin, V. N. (2010). Prospects and problems of automation, improving response speed, accuracy, and reliability of devices for measuring linear and angular quantities. *Measurement Techniques*, 53(8), 858.

14. Kolyada, Y. B., Korolev, Y. S., Krushnyak, N. T., Razgulin, V. G., & Yanushkin, V. N. (2008). Efficiency gained with the use of scanning in precision photoelectric systems for measurement of displacement. *Measurement Techniques*, 51(3), 242-244.
15. A. S. Komshin, K. G. Potapov, A. B. Syritsky, A. E. Fomin (2020). A system for monitoring hydro and wind power equipment based on intelligent measurement systems and neurodiagnostics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*
16. Golubev E. A., Isaev L. K. Measurements, control, quality. GOST R ISO 5725: Basic provisions. The issues of development and implementation / M: FSUE "STANDARTINFORM", 2005. 136 p.
17. Federal law "On fundamentals of labor protection in the Russian Federation" No. 181-FZ of 17.07.1999 city;
18. Federal law "On technical regulation" No. 184 of 27.12.2002;
19. S. N. Stepanov, A. N. Tabenkin, S. B. Tarasov. Metrological support of production. Normalization of parameters and methods for measuring surface texture / - SPb.: Publishing house of the Polytechnic University, 2012. - 147с.;
20. Federal law of 25.02.1999 N 39-FZ (ed. of 25.12.2018) "on investment activities in the Russian Federation, carried out in the form of capital investments";
21. "Guidelines for evaluating the effectiveness of investment projects and their selection for financing" (approved by Gosstroy of the Russian Federation, the Ministry of economy of the Russian Federation, the Ministry of Finance of the Russian Federation, Goskomprom of Russia 31.03.1994 N 7-12 / 47
22. Patrigny V. A. Methods for evaluating the economic efficiency of metrological support of production in industries // *Measuring equipment*, 1985. no. 8. Pp. 55-57.
23. WIND TURBINE ACCIDENT COMPILATION [Electronic resource]. Electronic resource]. –Access mode:- <https://fliphtml5.com/dqsm/kcam/basic>, (25.10.2020);

Increasing the level of metrological support for large wind turbine blades (from 60m) at the production stages

Sinitsa Maria^{1,2}

¹Bauman Moscow State Technical University

²E-mail: sinmaria@yandex.ru

Abstract. Development in the field of renewable energy is happening rapidly today, especially in the field of wind energy. The rapid introduction of new production systems, an increase in the share of autonomy of industrial enterprises requires the introduction of new modern approaches in the field of energy, energy efficiency and energy conservation. Against this background, the need for innovative solutions in the field of metrological support and measurement technologies in the energy sector is sharply increasing. The paper presents a complex for carrying out control and measuring procedures, which will improve the quality of metrological support in the production process in Russia.

In addition, the metrological and economic parameters of the described stand have been calculated.

Keywords: renewable energy, wind energy, wind turbine, metrological support, blade.

Acknowledgement. This work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists-doctors of science MD-1209.2020.8. Some results were supported in the framework of state task No. 0705-2020-0046 in the field of scientific activity.