

REENCON-XXI



# REENCON-2015

Международный Конгресс «Возобновляемая энергетика XXI век:  
энергетическая и экономическая эффективность»  
27—28 октября 2015, Москва



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



РОССИЙСКИЙ ФОНД  
ФИНАНСИРОВАНИЯ  
ИССЛЕДОВАНИЙ





**ПРИ ПОДДЕРЖКЕ / SUPPORTED BY**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
The Ministry of Education and Science of the Russian Federation

Российский фонд фундаментальных исследований  
Russian Foundation for Basic Research

Материалы Международного Конгресса  
«Возобновляемая энергетика XXI век:  
энергетическая и экономическая эффективность»  
27—28 октября 2015, Москва

Proceedings of the International Renewable Energy  
Congress – XXI: Energy & Economic Efficiency  
October 27-29 2015, Moscow

**REENCON-XXI**

**ПАРТНЕРЫ / PARTNERS**



**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ / MEDIA & PRESS PARTNERS**



УДК 620.92 (075.8)  
ББК 31.я73

При поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации  
контракт № 14.598.11.0066  
и Российского Фонда Фундаментальных Исследований  
грант 15-08-20915 Г

*Печатается по решению Организационного и Программного комитетов  
Международного Конгресса «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и  
экономическая эффективность»  
REENCON-2015*

Редакционно-издательский совет:

Чл.-корр. РАН Филиппов С.П., д.т.н. Попель О.С., к.э.н. Митрова Т.А.,  
д.э.н. Медведева Е.А., к.т.н. Ермоленко Г.В., к.ф.-м.н. Дуников Д.О., Ряпин И.Ю.

Рецензенты:

чл.-корр. РАН Филиппов С.П. - директор Института энергетики НИУ Высшая  
школа экономики  
д.т.н. Попель О.С. - заместитель директора по научной работе Объединенного  
института высоких температур РАН  
к.ф.-м.н. Дуников Д.О. - старший научный сотрудник лаборатории Водородных  
энергетических технологий Объединенного института высоких температур РАН

«Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность»  
REENCON-2015 // Материалы Международного конгресса «Возобновляемая энергетика  
XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность» REENCON-2015. 27-28  
октября 2015 г./ Под ред. к.ф.-м.н Д.О. Дуникова, д.т.н. О.С. Попеля и чл.-корр. РАН  
Филиппова С.П. - Москва: ОИВТ РАН-ВШЭ. 2015. - 368 с.

В материалах Международного конгресса «Возобновляемая энергетика XXI век:  
Энергетическая и экономическая эффективность» REENCON-2015 опубликованы  
тезисы участников Конгресса по различным аспектам разработки и практического  
использования возобновляемых источников энергии.

Для научных работников, аспирантов, студентов энергетических специальностей и  
широкого круга специалистов, занимающихся проблемами использования  
возобновляемых источников энергии.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук  
© Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования Национальный  
исследовательский университет «Высшая школа экономики»

© Коллектив авторов

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

Фортов Владимир Евгеньевич	Председатель Программного Комитета, Президент РАН, директор Объединенного института высоких температур РАН, академик
Гохберг Леонид Маркович	Со-Председатель Программного комитета, Первый проректор, директор Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, д.э.н., профессор
Попель Олег Сергеевич	Заместитель Председателя Программного Комитета, Председатель Научного совета РАН по нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, Заместитель директора по науке ОИВТ РАН, д.т.н., проф.
Салихов Сергей Владимирович	Директор департамента науки и технологий Минобрнауки России
Гринкевич Егор Борисович	Заместитель директора Департамента развития электроэнергетики Минэнерго РФ
Посысаев Юрий Юрьевич	Исполнительный директор АНО «Международный центр устойчивого энергетического развития» под эгидой ЮНЕСКО
Клименко Александр Викторович	Председатель Экспертного совета Российского Научного Фонда, Член-корреспондент РАН
Патрик Виллемс	Руководитель программы по возобновляемой энергетике в России, Международная финансовая корпорация (IFC, группа Всемирного банка)
Кожуховский Игорь Степанович	Председатель координационного совета ТП «Малая распределенная энергетика», заместитель руководителя ФГУП РЭА
Конев Алексей Викторович	Директор по инновациям ФГБУ «РЭА», ТП «Интеллектуальная энергетическая система России»
Реутов Борис Федорович	Координатор ТП «Биоэнергетика», Генеральный директор ОАО «Всероссийский теплотехнический институт», к.т.н.
Сороковик Данил Вячеславович	Координатор ТП «Перспективные технологии возобновляемой энергетике»
Рокецкий Леонид Юлианович	Президент Национального союза энергосбережения
Елистратов Виктор Васильевич	Директор НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» СПГПУ, д.т.н., проф.
Медведева Елена Алексеевна	заместитель директора Института энергетики НИУ ВШЭ, д.э.н.
Лихачев Владимир Львович	Заместитель директора Института энергетики НИУ ВШЭ, к.т.н.
Тарасова Наталья Анатольевна	Директор по GR General Electric Russia
Ермоленко Георгий Викторович	Заведующий Центром ВИЭ Института энергетики НИУ ВШЭ, к.т.н.
Ряпин Игорь Юрьевич	Ответственный секретарь Программного Комитета, Ведущий эксперт Института энергетики НИУ ВШЭ



---

**PROGRAM COMMITTEE**

Fortov Vladimir	Chairman of the Congress Program Committee, President of the Russian Academy of Sciences, Director of Joint Institute for High Temperatures, Academician
Gokhberg Leonid	Co-chairman of the Congress Program Committee, First Vice-Rector, Director of the Institute of Statistical Studies and Economics of Knowledge Higher School of Economics, Doctor of Economics, Professor
Popel Oleg	Deputy Chairman of the Congress Program Committee, the Chairman of the Scientific Council for renewable energy sources, Deputy Director for Science, Joint Institute for High Temperatures RAS, PhD.
Sergey Salikhov	Director of the Department of Science and Technology, Ministry of Education and Science of Russia
Grinkevich Egor	Deputy Director of the Department of Electricity Ministry of Energy of Russia
Posysaev Yuri	Executive Director of the NGO "International Sustainable Energy Development Center" under the auspices of UNESCO
Klimenko Alexander	Chairman of the Expert Council of the Russian Science Foundation, RAS Corresponding Member
Patrick Willems	Program Manager for Renewable Energy in Russia, the International Finance Corporation (IFC, the World Bank Group)
Kozhukhovskiy Igor	Chairman of the Coordinating Council of the TP "Small distributed power supply," Deputy head of the REA
Konev Aleksey	Director of Innovation of the REA, TP "Smart Energy System of Russia"
Reutov Boris	TP Coordinator "Bioenergy", General Director of JSC "Russian Thermal Engineering Institute", PhD
Sorokovik Danil	TP Coordinator "Perspective renewable energy technologies"
Roketskiy Leonid	President of the National Union for Energy - Saving
Yelistratov Viktor	Director of SEC "RES", SPb Politechnical University., Prof.
Medvedeva Elena	Deputy Director of the Institute of Energy HSE, Ph.D.
Likhachev Vladimir	Deputy Director of the Institute of Energy HSE, Ph.D.
Tarasova Natalia	Director GR, General Electric, Russia
Ermolenko Georgy	Head of the Center for RES development, Institute of Energy HSE, PhD
Ryapin Igor	Executive Secretary of the Program Committee, leading expert of the Institute of Energy of the HSE

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

Медведева Елена Алексеевна	Руководитель Организационного комитета, заместитель директора Института энергетики НИУ ВШЭ, д.э.н.
Ермоленко Георгий Викторович	Заместитель руководителя Организационного комитета, Заведующий Центром ВИЭ Института энергетики НИУ ВШЭ, к.т.н.
Антропов Алексей Петрович	Заместитель Начальника департамента развития приоритетных направлений науки и технологий Минобрнауки России
Журавлева Алла Васильевна	Вице-Президент «Национального союза энергосбережения»
Кулаков Андрей Валентинович	Директор НП «Совет участников рынка ВИЭ», Руководитель направления по ВИЭ ООО «Интер РАО – Инжиниринг»
Бердин Владимир Хакимович	Заместитель Исполнительного директора Международный центр устойчивого энергетического развития под эгидой ЮНЕСКО (МЦУЭР)
Малаха Василий Николаевич	Ведущий эксперт Института энергетики НИУ ВШЭ
Цыба Владимир Евгеньевич	Заведующий Центром Института энергетики НИУ ВШЭ, к.ф.-м.н.
Реутова Анастасия Борисовна	Эксперт Института энергетики НИУ ВШЭ
Толмачева Ирина	Помощник директора Института энергетики НИУ ВШЭ, Ответственный секретарь Конгресса
Фетисова Юлия Александровна	ведущий эксперт Института Энергетики НИУ ВШЭ
Мацура Алина Артуровна	ведущий эксперт Института Энергетики НИУ ВШЭ

**ORGANIZING COMMITTEE**

Medvedeva Elena	Chairman of the Congress Organizing Committee, Deputy Director of the Institute of Energy HSE, Ph.D.
Ermolenko George V.	Deputy Chairman of the Congress Organizing Committee, Head of the Center for RES development, Institute of Energy HSE, PhD
Antropov Alexey	Deputy Head of the Department of Science and Technology Priority Avenues Development, Ministry of Education and Science of Russia
Zhuravleva Alla	Vice - President of the National Union for Energy - Saving
Kulakov Andrey	Director of NP "Council of participants of renewable energy market ", Head of RES Ltd. "Inter RAO - Engineering"
Berdin Vladimir	Deputy Executive Director of the NGO "International Sustainable Energy Development Center" under the auspices of UNESCO
Malacha Vasily	Leading expert of the Institute of Energy of the HSE
Tsyba Vladimir	Head of the Center of the Institute of Energy of the HSE, PhD
Reutova Anastasia	Expert of the Institute of Energy of HSE
Irina Tolmacheva	Executive Secretary of the Congress, Assistant Director of the Institute of Energy HSE,
Fetisova Yulia	Leading expert, Institute of Energy, NRU HSE
Matsura Alina	Leading expert, Institute of Energy, NRU HSE



**ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО  
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,  
ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА  
АКАДЕМИКА В.Е. ФОРТОВА**

Дорогие организаторы и участники Конгресса!

Международный Конгресс REENCON XXI стал развитием Международного форума REENFOR, проводившегося по инициативе Российской академии наук в 2013 и в 2014 гг. и продемонстрировавшего заинтересованность российских и зарубежных организаций и специалистов в обмене опытом и научно-техническими достижениями по использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и выработке конкретных рекомендаций по развитию этой перспективной отрасли энергетики.

Прогресс в развитии технологий и снижении стоимости преобразования возобновляемых источников энергии, достигнутый во многих странах в последнее 15 лет, свидетельствует о том, что ВИЭ уже заняли заметное место в мировой энергетике, и их дальнейшее развитие, несомненно, будет содействовать решению проблем повышения энергетической и экологической безопасности ряда стран и регионов, а также отдельных потребителей.

Сегодня суммарная мощность энергоустановок на всех видах ВИЭ достигла 1800 ГВт и стала составлять примерно 1/3 мощности всех действующих в мире электростанций, а без учета крупных ГЭС (около 1000 ГВт) – более 15%. Мощность энергоустановок на ВИЭ (без крупных ГЭС) в 2 раза превысила мощность ядерных энергетических реакторов (350 ГВт) и в 3 раза мощность всех электростанций России (230 ГВт).

Россия в отличие от многих других стран мира располагает огромными запасами традиционных энергетических ресурсов и является одним из ведущих экспортеров нефти и газа. Созданная в России Единая Электроэнергетическая Система является одной из крупнейших в мире. Данные обстоятельства оказывают сдерживающее влияние на развитие новых технологий возобновляемой энергетики в России, вклад которых в энергетический баланс страны сегодня составляет всего около 1%.

Вместе с тем расширение масштабов использования ВИЭ и в России является актуальным направлением совершенствования сложившихся систем энергоснабжения и повышения энергетической безопасности многих районов страны и потребителей, расположенных вне сетей централизованного энергоснабжения на 2/3 территории России. Актуальной задачей инновационного развития энергетики страны является гармоничное сочетание систем централизованного электро- и теплоснабжения и распределенной энергетики с разумным использованием возобновляемых источников в централизованной, автономной и индивидуальной энергетике.

В этой связи исключительно важным является тот факт, что Правительством России и Государственной Думой в последнее время принят ряд важных решений по стимулированию развития возобновляемой энергетики в нашей стране. Хотя эти решения пока еще весьма робкие и требующие практической апробации и «настройки» реальных механизмов поддержки, но тот факт, что Правительство признало

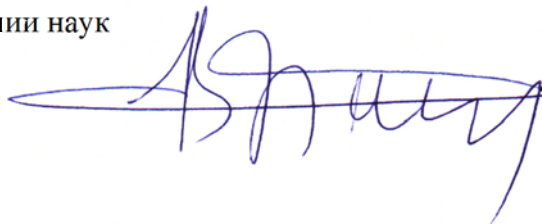


необходимость развития данного перспективного для российской энергетики направления, для всех нас крайне важно.

Судя по числу и составу участников, Конгресс вызвал большой интерес. На Конгрессе присутствует около 300 представителей науки, образования, бизнеса, региональных и федеральных государственных органов, международных организаций, посланцы более 25 зарубежных стран. Среди участников большое число молодых ученых и специалистов.

Благодарю Министерство образования и науки Российской Федерации, Российский фонд фундаментальных исследований, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» и других Партнеров Конгресса за поддержку мероприятия и желаю всем участникам и организаторам Конгресса плодотворной и приятной работы!

Президент Российской академии наук  
академик



В.Е. Фортов

## ОГЛАВЛЕНИЕ TABLE OF CONTENTS

Приветственное слово Президента Российской академии наук, Председателя программного комитета академика В.Е. Фортова	7
Оглавление Table of contents	9
Технология и применение фотоэлектрических панелей с наполнителем из силиконового геля в Арктике и Сибири <i>Poulek V., Стребков Д.С., Персиц И.С., Libra M.</i>	15
Развитие солнечной энергетики в Узбекистане <i>Авезова Н.Р., Хаитмухамедов А.Э., Вохидов А.У., Турапова Д.У.</i>	20
Развитие «темнового» способа определения теплотехнических характеристик плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя Development of the "Dark" Mode of Definition of Heattechnical Characteristics of Flat Solar Collectors for Heating of Heat-Transfer Liquid <i>Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Абдухамидов Д.У.</i>	24
Автономная сверхпроводниковая ветроэлектростанция Standalone Superconducting Wind Power Station <i>Авдиенко А.А., Гаркавенко А.Н., Кащеев А.В., Колосков С.А., Комарков Д.А., Панцырный В.И.</i>	28
Энергетический цикл на смеси воды с алифатическим спиртом <i>Алхасов А.Б., Базаев А.Р., Базаев Э.А., Карабекова Б.К.</i>	34
Комплексное освоение высокотемпературных геотермальных рассолов <i>Алхасов А.Б., Рамазанов А.Ш.</i>	40
Разработка эффективных технологий освоения петротермальной энергии для выработки электроэнергии Elaboration of Technologies for the Efficient Development of Petrothermal Energy For Power Generation <i>Алхасова Д.А.</i>	46
Ресурсы биоэнергетики регионов России Bioenergy Resources Of Russian Regions <i>Андреев Т.И., Киселева С.В., Шакун В.П.</i>	51
Проблемы опережающей подготовки и переподготовки кадров в области тонкоплочной солнечной энергетики <i>Афанасьев В.П., Гудовских А.С., Нисимов С.У., Орехов Д.Л., Теруков Е.И.</i>	58
Проектирование и строительство электростанций на основе ВИЭ Design and Construction of Renewable Energy Power Plants <i>Баделин А.С.</i>	63
Энергосберегающая технология сушки и новые возможности повышения энергетической эффективности использования биотоплив и органических отходов Energy Saving Drying Technology and New Opportunities for Increasing of Power Efficiency in Use of Biofuels <i>Батенин В.М., Ковбасюк В.И., Попель О.С.</i>	67

Прогноз развития возобновляемой энергетики мира до 2020 года Development Forecast of Renewable Energy in the World Until 2020 <i>Безруких П.П., Безруких П.П. (мл),</i>	70
О техническом регламенте для энергетики на возобновляемых источниках About the Technical Regulation for Energy from Renewable Sources <i>Безруких П.П., Мальцева А.В., Рустамов Н.А.<sup>2</sup></i>	76
Разработка дешевых солнечных элементов на основе Si с использованием плазмохимических технологий <i>Бобыль А.В., Теруков Е.И.</i>	80
Создание ассоциации биотехнологических кластеров Красноярского края и Восточной Сибири в целом, как инструмент создания сегментов зелёной экономики, в том числе «зелёной энергетики», с использованием местных возобновляемых биоресурсов <i>Бугаенко Н.И.</i>	86
Анализ факторов, влияющих на энергетическую эффективность ветродизельного комплекса распределенной энергосистемы <i>Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Чернов Д.А.</i>	91
Имитационное моделирование водоподпорных и водопроводящих элементов мобильного регулирующего сооружения рукавного типа для водо- и энергоснабжения <i>Годин М.А.</i>	97
Энергетические установки на основе топливных элементов – приоритетное направление разработки и коммерциализации Фонда «Энергия без границ» Fuel Cells Based Power Units R&D and Commercialization – the Main Stream for “Energy beyond borders” Fund <i>Голодницкий А.Э., Брусницын А.Н.</i>	101
Перспективы возобновляемой энергетики мирового океана в России <i>Горлов А.А.</i>	107
Ветро - дизельные и ветро-солнечно-дизельные комплексы гарантированного электроснабжения как основа распределенной энергетики России Wind -Dizel Complexes of Uninterrupted Power Supply as Fundamentals of the Distributed Power <i>Грибков С.В., Безруких П.П.</i>	114
Международная ассоциация водородной энергетики International Association for Hydrogen Energy: Clean and Abundant Energy for Sustainability <i>Дуников Д.О.</i>	121
Очистка биоводорода с использованием металлгидридных технологий Biohydrogen Purification Using Metal Hydride Technologies <i>Дуников Д.О., Блинов Д.В., Казаков А.Н., Устинов А.А.</i>	125
Перспективные направления развития биоэнергетики в России <i>Егоров И.Ю.</i>	130
Обоснование распределения мощности между генерирующим оборудованием ветро-дизельной электростанции <i>Елистратов В.В., Конищев М.А., Денисов Р.С.</i>	135

---

Методические основы оценки эффективности создания энергокомплексов на возобновляемых источниках энергии в условиях сурового климата <i>Елистратов В.В., Кудряшева И.Г.</i>	139
Методология создания эффективных систем энергоснабжения автономных регионов России на базе возобновляемых источников энергии <i>Елистратов В.В., Федоров М.П.</i>	144
Автономный энергетический комплекс ВЭС-ГЭС – экологически безопасная альтернатива дизельной генерации Autonomous Wind-Hydro Energy Hybrid – Environmentally Friendly Alternative of Diesel Generation <i>Елистратов В.В., Чернова А.В.</i>	149
Подходы к принятию оптимальных решений в малоэтажном энергоэффективном домостроительстве <i>Ермоленко Б.В.<sup>1</sup>, Ермоленко Г.В.<sup>2</sup>, Мацура А.А.<sup>2</sup></i>	154
Динамические характеристики вертикальных влажно-паровых микротурбин Dynamic Characteristics Vertical Wet-Steam Microturbines <i>Ефимов Н.Н., Паришуков В.И., Безуглов Р.В., Папин В.В., Горбачев В.М.</i>	162
Прототипный образец пилотной ГИС «Региональные возобновляемые источники энергии» <i>Зай Яр Лин, Тягунов М.Г.</i>	169
Утилизация древесных отходов с целью замещения ископаемого топлива <i>Зайченко В.М., Кузьмина Ю.С., Сычев Г.А.</i>	173
Термическая переработка отходов древесины с получением синтез-газа и активированного угля <i>Зайченко В.М., Косов В.Ф., Лавренов В.А.</i>	177
Теплогенерирующие системы на местных и возобновляемых топливных ресурсах <i>Зайченко В.М., Косов В.Ф., Ларина О.М.</i>	180
Аккумуляция электрической энергии в системах энергоснабжения удаленных потребителей на базе ВИЭ Electric Energy Accumulation in Power Supply Systems for Remote Consumers Based on Renewable Energy Sources <i>Зайченко В.М., Иванов М.Ф., Смыгалина А.Е., Чернявский А.А.</i>	185
Интерметаллические соединения АВ <sub>5</sub> -типа для очистки и хранения биоводорода AB <sub>5</sub> -type Intermetallic Compounds for Biohydrogen Purification and Storage <i>Казаков А.Н., Дуников Д.О., Митрохин С.В.</i>	191
Оптимизация структуры генерирующих мощностей автономных систем электроснабжения, использующих возобновляемые источники и накопители энергии <i>Карамов Д.Н., Клер А.М.</i>	196
Математическое моделирование и экспериментальные исследования нетиповых элементов мобильных деривационных мкгЭС и сооружений инженерной защиты Mathematical Modelling and Experimental Investigations of Non-Standard Elements of Mobile Micro-Hydroelectric Power Plant of Derivative Type and Facilities Engineering Protection <i>Кашарин Д.В.</i>	201



---

Проблемы оценки ресурсного потенциала солнечной энергетики <i>Киселева С.В., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Лисицкая Н.В.</i>	207
Социологический опрос «Исследование отношения населения России к вопросу размещения ветроэнергетических установок в городской среде» Survey “Researching of Russian Residents’ Opinion about Wind Turbines’s Installation in the Urban Environment” <i>Климов Е.И., Ежиков Н.И., Киричев А.В.</i>	211
Оценка ресурсного потенциала солнечной энергетики в Кыргызстане <i>Коломиец Ю.Г., Киселева С.В., Попель О.С., Обозов А.Д., Исаев Р.Э.</i>	215
Автономная ветровая опреснительная установка с импульсными накопителями электрической энергии <i>Кострица В.Н., Тарасенко А.Б., Туманов В.Л.</i>	218
Энергетическое топливо на основе торфа и древесины для сжигания в топках котлов <i>Кормилицын В.И., Белый В.В., Житков А.Н.</i>	224
Проект строительства импортоопережающих отходоперерабатывающих комплексов (мини-ТЭЦ) на основе плазменно-водородной газификации <i>Ложкин С.Г., Котляр Э.А.</i>	230
Освоение возобновляемых источников энергии в Кении: возможности участия российских компаний Renewable Energy Sources Development in Kenya: Opportunities for Russian Companies <i>Нефедова Л.В., Комарова Н.А.</i>	237
Альтернативные источники энергии на территории Владимирской области <i>Низов А.В., Тарасенко В.И.</i>	243
Научно-технические проблемы разработки автономных систем энергоснабжения <i>Николаев В.Г., Сон Э.Е., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В.</i>	247
Российский опыт производства ВЭУ мегаваттного класса и анализ предлагаемых технологий <i>Нырковский В.И.</i>	254
Гибридная система автономной энергетики (микросет) с опорным накопителем <i>Олейник С., Борботько В.</i>	259
Актуальность развития сектора солнечной энергетики большой Феодосии в свете недостатков системы энергоснабжения полуострова Крым Solar Energy Segment’s Relevance of Big Theodosia Region in the Context of Crimea’s Electricity Supply System Disadvantages <i>Панченко В.А., Киричев А.В., Климов Е.И.</i>	261
Интеллектуальные сети Smart Grid — будущее российской энергетики Smart grid - the future of the Russian power industry <i>Париуков В.И., Русакевич И.В., Рыжков А.В., Ефимов Н.Н.</i>	268
Использование солнечных фотоэлектрических панелей в экпросвещении и образовательных проектах The Use of Solar Photovoltaic Panels in Eco Raising and Educational Projects <i>Потанский В.Г., Рафикова Ю.Ю.</i>	275

---

Влияние размера и геометрии металлгидридной засыпки на PCT-диаграммы десорбции водорода <i>Пыхтина А.И., Романов И.А.</i>	280
Криогенный аккумулятор энергии <i>Романовский В.Ф.</i>	284
Геотермальная энергетика в России и мире: проблемы и перспективы Geothermal Energy in Russia and in the World: Problems and Perspectives <i>Свалова В.Б.</i>	288
Методика выбора оборудования энергокомплекса на основе ВИЭ для электроснабжения вдольтрассовых потребителей магистральных газопроводов <i>Сибгатуллин А.Р., Елистратов В.В.</i>	294
Организация производства солнечных коллекторов в России и практический опыт их эксплуатации <i>Скоробатюк А.В.</i>	301
Использование данных баз реанализа для повышения достоверности оценки ветроэнергетических ресурсов <i>Сливканич М.А., Дюльдин М.В., Елистратов В.В.</i>	304
Практика замещения мазута и газа в энергетических установках по выработке тепловой и электрической энергии <i>Солдатов В.А.</i>	310
Перспективы развития и опыт реализации пилотных образовательных и научно-технических проектов в области устойчивого развития в Пермском крае Development Perspectives and Realization Experience of Pilot Educational, Scientific and Technical Projects in Sustainable Development on the Territory of Perm Krai <i>Сурков А.А., Вайсман Я.И., Рудакова Л.В.</i>	311
Водородно-воздушная газотурбинная система аккумулирования энергии <i>Счастливец А.И.</i>	316
Демонстрационная солнечная космическая электростанция – необходимый шаг в развитии космической энергетики Space Solar Power Demonstration Station is a Necessary Step in Space Power Development <i>Сысоев В.К.</i>	322
Вызовы, проблемы и возможности массового онлайн-образования для ВИЭ <i>Тюхов И.И.</i>	327
Опыт реализации проектов возобновляемых источников энергии в Белгородской области <i>Филатов Д.В.</i>	333
Солнечные водонагреватели из полимерных композиционных материалов <i>Фрид С.Е., Арсатов А.В., Ощепков М.Ю.</i>	336
Методические подходы к оптимизации состава и типоразмера ветродизельных энергокомплексов с учетом местных ветроклиматических условий Methodical Approaches to Optimization of Composition and Size of the Wind-Diesel Power Complex Taking into Account Local Winds and Climate Conditions <i>Харченко В.В., Николаев В.В.</i>	340

---

Опыт реализации проектов строительства сетевых и автономных солнечных электростанций <i>Хафизов А.Д.</i>	345
Применение тепловых насосов в городской среде The Usage of Heat Pumps Technology in the Urban Environment <i>Цейзер Г.М.</i>	347
Влияние температуры на параметры каскадных солнечных элементов <i>Чекалин А.В., Румянцев В.Д., Малевский Д.А., Покровский П.В., Шварц М.З., Андреев В.М.</i>	351
Топливо из водорослей: кандидатные штаммы, культивирование, энергоэффективность Algae Fuels: Candidate Strains, Cultivation, Energy Efficiency <i>Чернова Н.И., Киселева С.В.</i>	357
Концепция создания демонстрационной зоны высокой энергоэффективности сельскохозяйственного производства Ленинградской области с использованием местных и возобновляемых источников энергии The Concept of Creating Energy Efficiency Demonstration Zones Agricultural Production Leningrad Region with Local and Renewable Energy <i>Эрк А.Ф., Никитин А.В., Судаченко В.Н.</i>	362
Авторский указатель List of authors	366

## ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ СИЛИКОНОВОГО ГЕЛЯ В АРКТИКЕ И СИБИРИ

**Poulek V.<sup>1</sup>, Стребков Д.С.<sup>2</sup>, Персиц И.С.<sup>2</sup>, Libra M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>TRAXLE Solar sro, Прага, <sup>2</sup>ВИЭСХ, Москва, Россия, <sup>3</sup>CULS, Прага, Чешская республика

### Введение

Сейчас большинство (более 99%) фотоэлектрических панелей ламинируются в EVA пленке с низкой температурной устойчивостью  $-30, +80^{\circ}\text{C}$  и низкой химической инертностью [1,2].

С 2008 года компания TRAXLE вместе с российскими учеными из ФГБНУ ВИЭСХ разработала промышленную технологию ламинирования солнечных фотоэлектрических панелей силиконовым гелем, которая подходит для высоких  $+115^{\circ}\text{C}$  и низких  $-60^{\circ}\text{C}$  температур [3].

Таблица 1. Сравнение EVA и герметика с силиконовым гелем

	Модуль с наполнителем EVA	Модуль с наполнителем из геля
Срок службы модуля	20-25	40-50
Температурный диапазон эксплуатации	$-40 +85^{\circ}\text{C}$	$-60 +110^{\circ}\text{C}$
Температура окружающей среды.	$-40 +50^{\circ}\text{C}$	$-60 +60^{\circ}\text{C}$
Деградация	20% - 25%	5%
Противопожарный	нет	да

### Трещины фотоэлементов

Механизм появления трещин на фотопреобразователях, как и большинство причин отказов солнечных модулей, связан со свойствами капсулирующего материала — перекисно-отверждаемой пленки на основе сополимера этилена с винилацетатом ЭВА (EVA).

Механические свойства этого материала, в частности, модуль упругости (основной показатель жесткости) очень сильно зависят от температуры. Так, при понижении температуры от комнатной до  $-40^{\circ}\text{C}$  значения модуля упругости увеличиваются на 2 порядка [4].

Модуль упругости силиконового геля является почти постоянным в диапазоне температур от  $100^{\circ}\text{C}$  до  $-60^{\circ}\text{C}$ . При температуре  $-60^{\circ}\text{C}$  модуль упругости силиконового геля примерно в 10,000 раз ниже по сравнению с ЭВА (EVA).

Чтобы подтвердить теорию, мы устроили циклический изгиб фотоэлектрических панелей при низкой температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ . Мы протестировали 2 комплекта почти идентичных по 90W моно-Si панелей, ламинированных герметиком со стандартной EVA и силиконовым гелем с низким модулем упругости. Обе панели изгибались в нагрузке 5400Pa на частоте 1 Гц. Типичная деформация (изгиб) составляет около 10 мм.



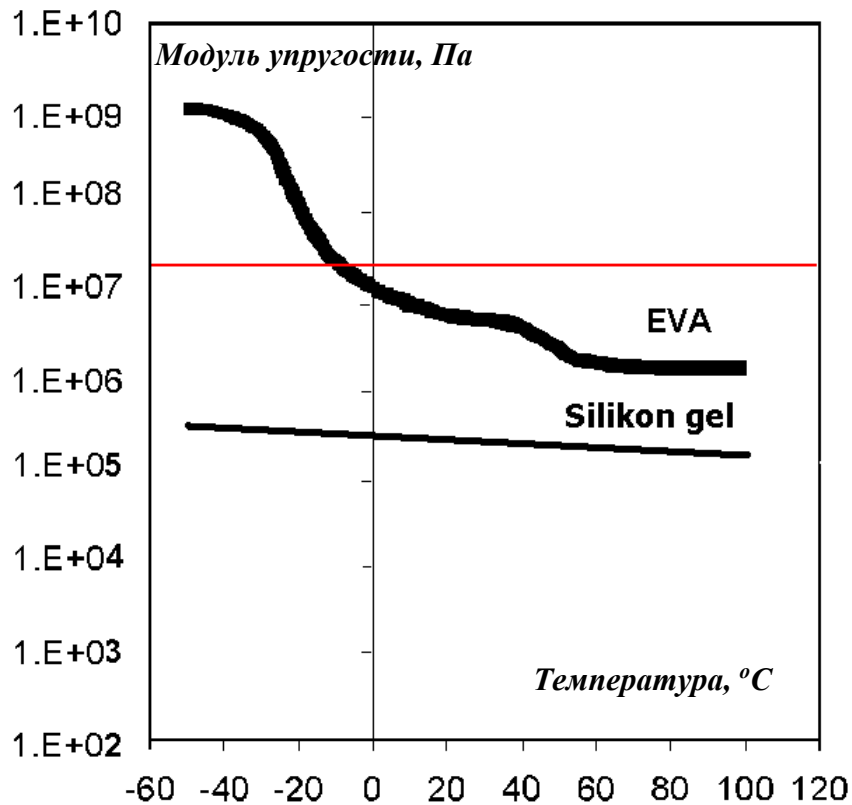


Рис. 1. Модуль упругости от температуры

Перед нагрузочным тестированием панели были исследованы методом электролюминисценции, чтобы обнаружить трещины в солнечных батареях, возникающие в процессе испытаний. Обе панели имели  $200 + 2000 + 2000 = 4200$  циклов деформации.

На показана фотография электролюминисценции EVA ламинированных панелей до тестирования циклической нагрузкой и после 4200 циклов нагружения.

Красные эллипсы соответствуют трещинам в солнечных элементах, полученных при производстве панелей, желтые эллипсы обозначают трещины, полученные при испытаниях.

В эксперименте были повреждены суммарно 17 солнечных элементов в 5 EVA ламинированных панелях после 4200 циклов изгибов, соответствующих примерно 2 годам работы в арктических условиях. С другой стороны, не было повреждений в солнечных элементах ламинированных панелей с силиконовым гелем после циклический нагрузки при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 2. Количество трещин

Количество панелей	1	2	3	4	5	Всего
Сломанные солнечные элементы в модулях ЭВА	3	4	3	2	5	17
<b>Сломанные солнечные элементы в модулях с силиконовым гелем</b>	0	0	0	0	0	0

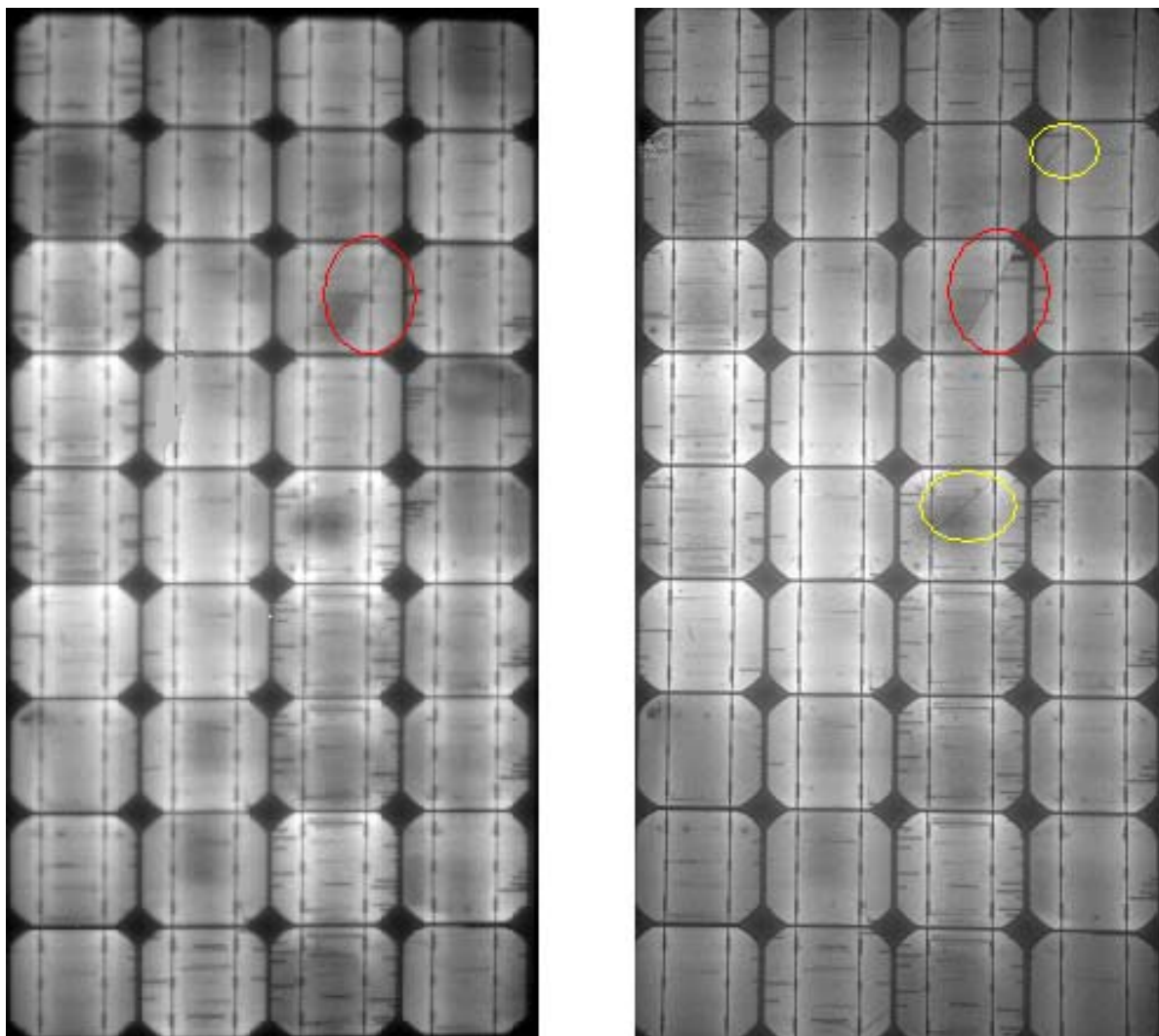


Рис. 2. Фотография электролюминисценции солнечных панелей до и после 4200 циклов деформации при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$

### **При низких температурах эффективность фотоэлектрических панелей значительно выше**

Рис. 3. показывает, что поступление солнечной энергии в Южной Сибири и Восточной Сибири сравнимо с поступлением солнечного излучения во Флориде (или на юге Испании). Эффективность использования солнечной энергии из-за холодного сухого континентального климата в Сибири выше по сравнению с жарким влажным климатом Флориды

**Пример:** при температуре панелей  $+25^{\circ}\text{C}$  фотоэлектрические панели имеют выходную мощность 100 Вт, но при  $-40^{\circ}\text{C}$  (Сибирь) дает выходную мощность 130 Вт. Таким образом, при низкой температуре выходная мощность фотоэлектрических панелей увеличилась на 30%, но если температура солнечных панелей  $+80^{\circ}\text{C}$  (Испания), выходная мощность снижается до 75 Вт. При этом предполагаются равные интенсивности солнечной радиации  $1000\text{ Вт/м}^2$  в обоих случаях.

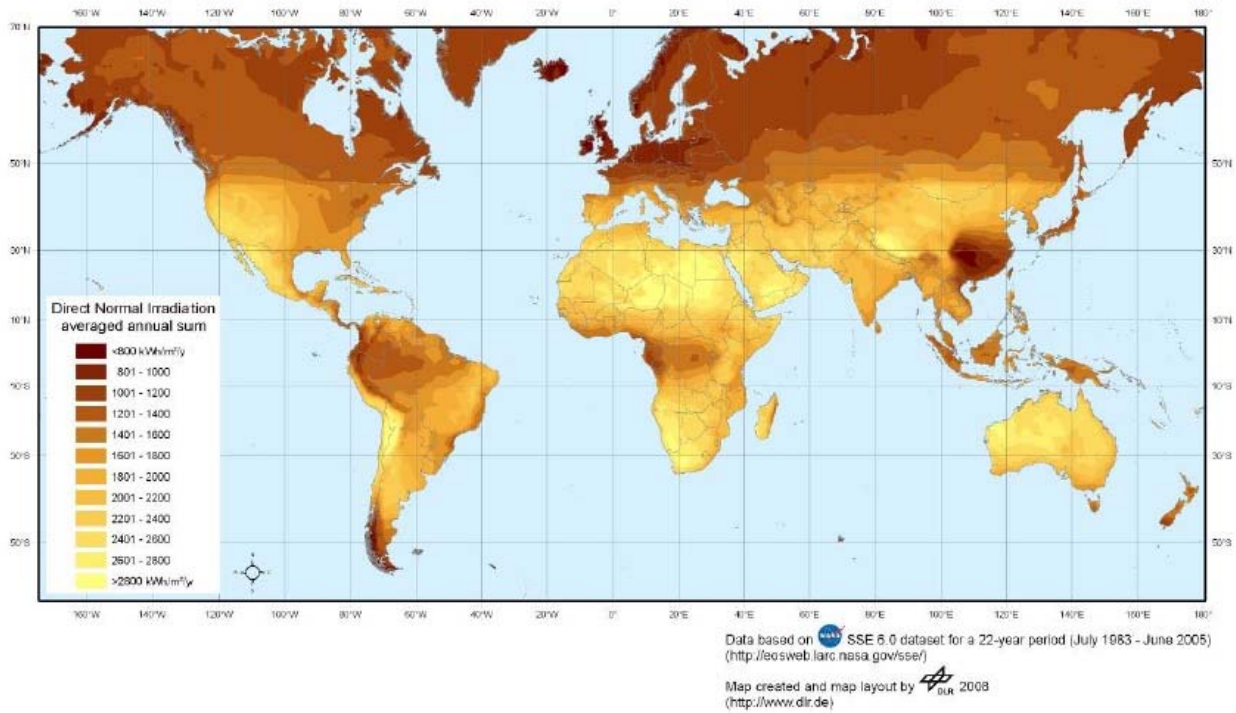


Рис. 3. Карта распределения по территории мира суммарной солнечной радиации, кВт·ч/м<sup>2</sup> год

#### Новые дизель/солнечные гибридные системы

Рис. 4. показывает, как цена фотоэлектрической энергии уменьшается при увеличении цены дизельного топлива. Так объединенные солнечные/дизельные системы становятся более экономически эффективным, именно - в Сибири и Арктике.

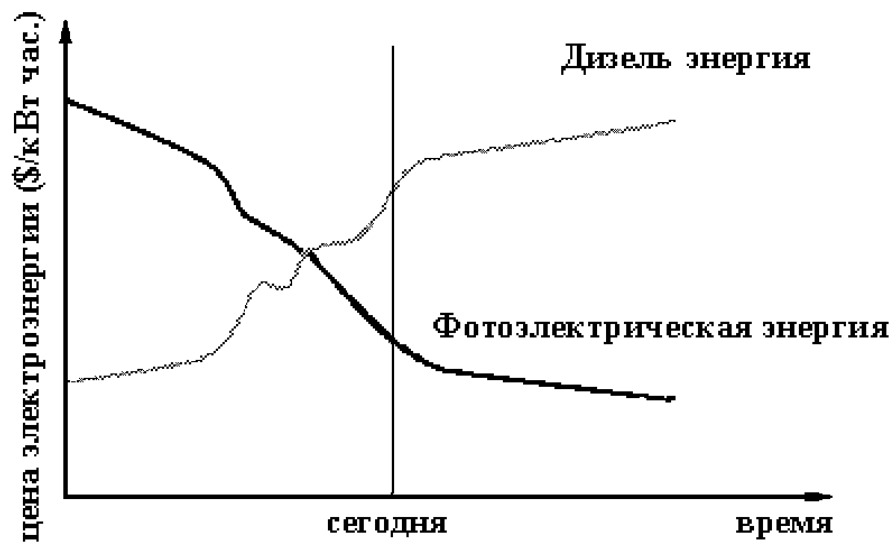


Рис. 4. цена фотоэлектрической энергии уменьшается при увеличении цены дизельного топлива

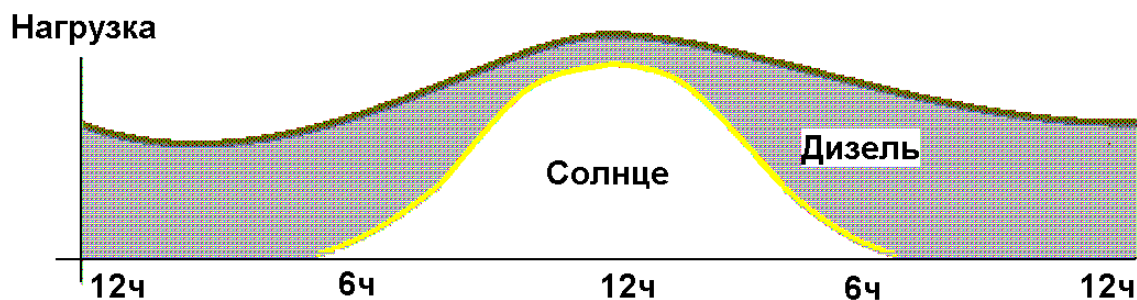


Рис. 5. Использование фотоэлектрических панелей может сэкономить 30-40% дизельного топлива

Таблица 3. Контейнер с солнечной электростанцией TRAXLE

Номер	Предмет	Спецификация
1	Контейнер (Стандарт)	4 x 6m
2	мощность фотоэлектрических панелей	100кВт/400В
3	Модули ламинированные гелем	400 x 250 Вт
4	Угол наклона панелей	80 градусов
5	Диапазон рабочих температур град:	-60°C + 110°C
6	Гарантия	1 год
7	Дизель-генератор	2 x 50 кВт

### Резюме

Панели, ламинированные в гель, могут работать в Сибири при температуре до  $-60^{\circ}\text{C}$ . При низких температурах эффективность фотоэлектрических панелей значительно выше.

Объединенные солнечные/дизельные системы более экономически эффективны, именно в Сибири и Арктике

Использование фотоэлектрических панелей может сэкономить 30-40% дизельного топлива.

### Литература

1. Paretta, A., Bombace, M., Graditi, G., Schioppo, R., *Optical degradation of long-term, field-aged c-Si photovoltaic modules*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2005, 86, pp. 349–364.
2. Wohlgemuth, J.H., *Long Term Photovoltaic Module Reliability*. NCPV and Solar Program Review Meeting, NREL/CD-520-33586, 2003.
3. Poulek, V., Strebkov, D.S., Persic, I.S., Libra, M., *Towards 50 years lifetime of PV panels laminated with silicone gel technology*. Solar Energy, 86, 2012, 10, str. 3103–3108, ISSN 0038-092X.
4. Mickiewicz, R., Li, B., Doble, D., Christian, T., Lloyd, J., Stokes, A., Voelker, C., Winter, M., Ketola, B., Norris, A., Shephard, N., *Effect of Encapsulation Modulus on the Response of PV Modules to Mechanical Stress*, Proc. 26th European PVSEC, Hamburg, Germany, 2011

## РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УЗБЕКИСТАНЕ

<sup>2</sup>Авезова Н.Р., <sup>1</sup>Хайтмухамедов А.Э., <sup>2</sup>Вохидов А.У., <sup>2</sup>Турапова Д.У.

<sup>1</sup>Международный институт солнечной энергии, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Физико-технический институт НПО «Физика–Солнце» АН РУз, Ташкент, Узбекистан

В данной работе представлен краткий обзор состояния и перспективы использования солнечной энергии в Узбекистане, а также роль Международного института солнечной энергии в развитии солнечной энергетики в Республике.

В последние десятилетия отмечается существенный рост использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), прежде всего ветровой и солнечной энергии. Несмотря на высокую стоимость оборудования, которое производит электрическую энергию из ВИЭ, в национальных энергетических программах развитых стран мира на длительную перспективу предусмотрено существенное расширение применения солнечной и ветровой энергии. Среди многочисленных причин этого – повышение безопасности, независимость от поставщиков органического топлива, повышение устойчивости энергетики, улучшение экологии, предотвращение глобальных экологических и климатических последствий из-за расширенного использования ископаемого топлива.

Энергоемкость валового внутреннего продукта Узбекистана с 2000 года снизилась с 0,98 до 0,48 т.н.э./тыс.долл. при среднемировом уровне в 0,2 т.н.э, что 2-3 раз больше, чем в развитых странах мира [1]. Поэтому, одной из главной целевой установкой реформирования экономики республики и проведения структурных преобразований является повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

В республике более 30% всего объема потребляемого органического топлива (из которых более 81% природный газ) используется для производства электроэнергии и тепла.

Основным производителем электроэнергии (более 98%) является АО «Узбекэнерго». Производство тепловой энергии в республике обеспечивается несколькими производителями [2]: АО «Узбекэнерго» (10%), крупными и средними районными котельными, находящиеся в подчинении городских хокимиятов (58,5%), котельными, находящимися на балансе промышленных предприятий (28%), мелкими котельными, находящимися в подчинении районных агентств коммунального хозяйства (3,5%). Кроме того, тепловая энергия вырабатывается в частных домах индивидуальными котлами.

В настоящее время, в развитии энергетики Республики наметилась тенденция на освоение ВИЭ и в первую очередь энергии солнечного излучения с целью энергосбережения и экономии органического топлива.

Правительством было принято ряд ключевых документов в области развития солнечной энергетики Республики:

- издано Распоряжение Президента РУз от 5 сентября 2012г. Р-3902 «О создании рабочей группы по разработке программы развития Альтернативных источников энергии»;

-издан Указ Президента РУз от 1 марта 2013 г.ода, № УП-4512 «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии» который определил стратегию развития возобновляемой энергетики в стране. В этом документе поставлены задачи осуществления исследований и опытно-промышленных разработок на передовом научно-техническом уровне с учетом мирового опыта, а также по организации отечественного производства современного оборудования и освоения новых технологий для этой сферы.

В частности, предусмотрены разработка и реализация экспериментальных и пилотных проектов по применению солнечной и биогазовой энергии с привлечением средств Азиатского банка развития и других международных финансовых институтов, стимулирование производителей и пользователей этими видами энергии, предоставление им налоговых и таможенных льгот и иных преференций, внедрение передовых технологий в сфере возобновляемых источников энергии,

-издано Постановление Президента РУз от 1 марта 2013 года., №ПП-1929 «О создании Международного института солнечной энергии»; Постановлением главы нашего государства от 1 марта 2013 года был создан Международный институт солнечной энергии на базе ряда научных учреждений Академии наук Узбекистана. Основными задачами этого института являются осуществление научных и экспериментальных исследований и инновационных разработок в области использования солнечной энергии на основе расширения международного сотрудничества, выработка предложений по практическому применению потенциала солнечной энергетики в различных отраслях экономики и социальной сферы страны путем внедрения передовых и экономически эффективных солнечных технологий и гелиооборудования.

-издано Постановление Президента РУз от 05.05.2015г. №ПП-2343 «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 гг.» [3].

### **Практические шаги по внедрению солнечных технологий в РУз**

На сегодняшний день в Узбекистане выполнены широкомасштабные работы по усовершенствованию и применению солнечных технологий в различных отраслях экономики.

1. Налажено производство технического кремния в Специальных Индустриальных Экономических Зонах (СИЭЗ) Ангрен. В СИЭЗ Ангрен создано СП ООО "Uz-Шиндонг кремний" с проектной мощностью 5000 тонн в год [4].

2. Совместно с корейскими специалистами построена и введена в эксплуатацию пилотная ФЭС мощностью 130 кВт в Папском районе Наманганской области.

3. На территории СИЗ "Джизак" создано СП ООО QUYOSH ISSIQLIK ENERGIYASI (ОАО "Jizzax Hududiy Elektr Tarmoqlari Korxonasi"-40%; - ООО "Elektron Xisoblagich" - 25%; - компания "Hangzhou Zhongwu Electronic Meters Co/ LTD" (КНР) - 35%) по производству солнечных водонагревательных систем и налажено серийное производство вакуумно-трубчатых солнечных водонагревательных коллекторов (СВК) с объемом производства - 15 тысяч шт/год. Предприятие начало свою деятельность в августе 2014 года. Созданы 39 рабочих мест. Сейчас ведутся работы по благоустройству территории предприятия, решаются вопросы, связанные с сертификацией продукции, подбором кадров.

4. Частные предприниматели тоже активно участвуют в развитии солнечной индустрии республики. Созданы десятки частных компаний, которые занимаются установкой «под ключ» ФЭС мощностью до 20 кВт. Некоторые из них, также наладили малосерийное производство плоских СВК.

5. В Республике ведутся работы по строительству фотоэлектрической станции (ФЭС) мощностью 100 МВт в Самаркандской области. Проект находится в заключительном этапе тендера.

6. Согласно №ПП-2343 «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 гг.» в социально-бытовых объектах (СВП, школы, лицеи, колледжи, детские сады и др.) устанавливаются солнечные энергоустановки для выработки электро- и тепловой энергии на основе солнечных технологий.

В течение ближайших лет планируется экспериментально оснастить солнечными коллекторами 1300 общеобразовательных школ и колледжей, расположенных преимущественно в отдаленной и труднодоступной местности, а также средние специальные учебные заведения. В более чем 600 врачебных пунктах в сельской местности будут установлены фотоэлектрические панели и солнечно-водонагревательные коллектора.

### **Будущие проекты по солнечной энергетике в Республике**

В МИСЭ ведутся проектно-исследовательские работы по созданию пилотного производства тонкопленочных солнечных модулей на основе CIGS мощностью 5 МВт в год.

Согласно поручению КМ РУз МИСЭ совместно с компанией ManCapita (Бахрейн) разрабатывает проект документации по созданию 50 МВт ФЭС в Хорезмской области.

Правительством Республики запланировано реализация следующих двух крупных солнечных проектов до 2021 года (АО «Узбекэнерго», ФРРУ, АБР):

1. «Строительство солнечной фотоэлектрической станции мощностью 100 МВт в Наманганской области»
2. «Строительство солнечной фотоэлектрической станции мощностью 100 МВт в Шерабадском районе Сурхандарьинской области».

Также, в Республике на основе Солнечной дорожной карты учёными НПО «Физика-Солнце» АН РУз и экспертами Азиатского Банка Развития подготовлены ПТЭО строительство следующих солнечных станций до 2025 г. и согласованы с Правительством РУз:

1. Строительство 100-мегаваттной ФЭС в Гузарском районе Кашкадарьинской области,
2. Строительство 130-мегаваттной комбинированной солнечно-тепловой станции в Навои,
3. Строительство 10-мегаваттной солнечно-тепловой станции на полигоне МИСЭ в Кибрайском районе Ташкентской области.

Большое внимание уделяется широкому внедрению в бытовых и жилищно-коммунальных условиях, в условиях частного домовладения элементов солнечной энергетики, формированию необходимых для этого производственных и сервисных возможностей.

По нашим расчетам, полномасштабная реализация этих технологий позволит в ближайшие годы сократить нагрузку на энергосистему на 2 миллиарда кВт·ч, обеспечить локальное производство около 2 миллиарда Гкал тепловой энергии, что в совокупности обеспечит экономию энергоресурсов в эквиваленте свыше 250 миллионов долларов ежегодно.

В рамках совместной с Азиатским банком Программы развития жилищного строительства в сельской местности в республике ежегодно возводится по типовым проектам более 10 тысяч современных индивидуальных жилых домов общей площадью свыше 1,5 миллиона квадратных метров.

В рамках указанной программы предусматривается приступать к массовому строительству технически передовых энергоэффективных домов с внедрением технологий солнечной энергетики, в том числе используя опыт наиболее продвинутых в этом отношении стран Европы и Азии.

### **Миссия МИСЭ в развитии солнечной индустрии**

Во всех выше упомянутых проектах МИСЭ участвует как координатор, так как основными задачами МИСЭ определены следующие:



- осуществление высокотехнологических разработок в области промышленного использования солнечной энергии;
- подготовка предложений по практическому использованию потенциала солнечной энергии в различных отраслях экономики и социальной сфере на основе передовых и экономически эффективных технологий;
- осуществление прикладных исследований, связанных с использованием солнечной энергии в различных отраслях экономики, в том числе технологий синтеза специальных материалов и термической обработки;
- координация работ по разработке документации по крупным проектам в сфере солнечной энергетики.

На сегодняшний день МИСЭ работает над решением двух основных задач, которые являются основными для широкомасштабного развития солнечной энергетики в Республике:

1. Разработка национальных стандартов по Солнечной энергетике;
2. Создание сертификационных лабораторий по сертификации солнечных технологий.

Решение вышеуказанных задач в свою очередь требует подготовки высококвалифицированных специалистов в этой сфере.

На базе МИСЭ создан центр по подготовке и переподготовке кадров в области использования солнечной энергии следующих спецификаций: Инженеры-технологи, проектировщики-конструкторы, обслуживающий персонал – техники, высококвалифицированные научные специалисты.

Все наши усилия направлены, чтобы в будущем МИСЭ стал:

- ведущим R&D центром в РУз и ЦА, который сильно повысит качество проводимых НИОКРов (НИР, ОКР и ТР) и резко увеличит количество новых изделий и технологий, что приводит развитию бизнеса в области СЭ, а также по подготовке высококвалифицированных кадров мирового класса;
- движущей силой в создании и развитии национальной отрасли солнечной энергетики (как с точки зрения инженерных разработок, так и производства) в отношении различных видов применения солнечной энергии с особым вниманием к выработке электрической и тепловой энергии;
- создавать инновационные решения в проектировании, высокие технологии и интеллектуальный потенциал для развития СЭ и соответственно бизнеса в регионе в области СЭ.

Обобщая сказанное, у нас есть все основания для того, чтобы утверждать, что проблема использования солнечной энергии на современном этапе развития из области научных изысканий и опытных разработок устойчиво переходит в сферу практического применения, а солнечная энергетика, как и другие виды возобновляемой энергии, становится вполне конкурентоспособной, одним из самых чистых видов, методов и способов получения энергии.

#### **Список литературы:**

1. <http://nuz.uz/ekonomika-i-finansy/4236-pravitelstvom-uzbekistana-so-stranami-donorami-prorabatyvayutsya-voprosy-energoberezeniya.html>
2. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. – Ташкент: «Fan va texnologiya», 2009 г. – с.462.
3. [http://www.uzngi.uz/ru/framework/requations/?PAGEN\\_2=3](http://www.uzngi.uz/ru/framework/requations/?PAGEN_2=3)
4. <http://sizangren.uz/page/realizuemye-investitsionnye-proekty>



## РАЗВИТИЕ «ТЕМНОВОГО» СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ НАГРЕВА ЖИДКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Development of the "Dark" Mode of Definition of Heattechnical Characteristics of Flat Solar  
Collectors for Heating of Heat-Transfer Liquid

<sup>1,2</sup>Авезов Р.Р., <sup>1,2</sup>Авезова Н.Р., <sup>2</sup>Абдухамидов Д.У.

<sup>1</sup>Международный институт солнечной энергии,

<sup>2</sup>Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

<sup>1,2</sup>Avezov R.R., <sup>1,2</sup>Avezova N.R., <sup>2</sup>Abdukhamidov D.U.

<sup>1</sup>International solar energy institute, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Physical-technical institute of SPA "Physics-Sun" of AS RUz, Tashkent, Uzbekistan

Settlement expressions for definition of the flat solar collectors (FSC) brought to unit of area of a frontal surface of the case for heating of the liquid heat carrier (LHC) of value of coefficients of a heat transfer from the heat carrier in the heat-removing channel (CURRENT) their radiation-absorbing thermal exchange panels (RATP) in environment ( $K_{dir_{f-o}}$ ), thermal losses from RATP in environment ( $K_{dir_{p-o}}$ ) and thermal efficiency of RANP ( $\eta_{te}$ ) by results of measurements in the course of their thermal testing are offered in the dark way.

Предложены расчетные выражения для определения приведенных к единице площади фронтальной поверхности корпуса плоских солнечных коллекторов (ПСК) для нагрева жидкого теплоносителя (ЖТН) значения коэффициентов теплопередачи от теплоносителя в теплоотводящем канале (ТОК) их лучепоглощающих теплообменных панелей (ЛППП) в окружающую среду ( $K_{пр_{f-o}}$ ), тепловых потерь от ЛППП в окружающую среду ( $K_{пр_{p-o}}$ ) и тепловой эффективности ЛППП ( $\eta_{тп}$ ) по результатам измерений в процессе их теплового тестирования темновым способом.

**Ключевые слова:** плоский солнечный коллектор, лучепоглощающая теплообменная панель, тепловые тестирование, темновой способ, теплопередача, тепловые потери, тепловая эффективность.

**Keywords:** flat solar collector, radiation-absorbing thermal exchange panel, thermal testing, dark way, heat transfer, thermal losses, thermal efficiency.

Темновой способ определения теплотехнических характеристик ПСК для нагрева ЖТН базируется на результаты их теплового тестирования в ночные часы суток, т.е. при отсутствии солнечного излучения (СИ), в которых ПСК рассматривается как обычный теплообменник, размещенный в теплоизолированный корпус [1,2].

Основным преимуществом этого способа является возможность обеспечения постоянства значений температуры окружающей среды ( $t_o$ ), теплоносителя на входе в коллектор ( $t_{f_{вх}}$ ) и расхода теплоносителя ( $G_f$ ) в течение продолжительных экспериментов (в течение 2-3ч.). Несмотря на то, что темновой способ определения теплотехнических характеристик ПСК считается вспомогательным [3], его применение существенно упрощает существенную процедуру их теплового тестирования.

Сущность темнового эксперимента ПСК для ЖТН заключается в следующем. Ночью в ТОК его ЛППП подается горячая вода с температурой ( $t_{f_{вх}}$ ) при постоянном значении ее расхода ( $G_f$ ). В результате тепловых потерь ЛППП через ограждающие элементы корпуса коллектора в окружающую среду температура воды на выходе из ТОК снижается до ( $t_{f_{вых}}$ ).

Одной из основных целей темнового способа определения теплотехнических характеристик ПСК для нагрева ЖТН является определение приведенного к единице площади фронтальной поверхности его корпуса ( $F_{фр}$ ) коэффициента теплопередачи от теплоносителя в теплоотводящих каналах (ТОК) его лучепоглощающей теплообменной панели (ЛППП) в окружающую среду ( $K_{пр_{f-o}}$ ) по результатам измерения  $t_{f_{вх}}$ ,  $t_{f_{вых}}$ ,  $G_f$  и  $F_{фр}$ .

Определение значения  $K_{\text{пр}f-o}$  при этом базируется на равенство тепловых потоков, отдаваемого охлаждаемой водой

$$Q_{\text{ТП}} = (G c_p)_f (t_{f_{\text{ВХ}}} - t_{f_{\text{ВЫХ}}}) \quad (1)$$

и теряемого в окружающую среду через корпус ПСК

$$Q_{\text{ТП}} = K_{\text{пр}f-o} F_{\text{ФР}} (t_{f_{\text{ВХ}}} - t_{f_{\text{ВЫХ}}}), \quad (2)$$

т.е.

$$K_{\text{пр}f-o} = \frac{(\dot{m} c_p)_f (t_{f_{\text{ВХ}}} - t_{f_{\text{ВЫХ}}})}{\bar{t}_f - t_0} \quad (3)$$

где

$$\dot{m}_f = \frac{G_f}{F_{\text{ФР}}} \quad (4)$$

- удельный (отнесенный к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСК) расход теплоносителя через ЛПТП рассматриваемого коллектора;  $c_{p_f}$  - теплоемкость воды.

Значение среднemasсовой температуры теплоносителя (воды) в ТОК ЛПТП ( $\bar{t}_f$ ) при этом в место его среднеарифметического значения определяемого как полусумма  $t_{f_{\text{ВХ}}}$  и  $t_{f_{\text{ВЫХ}}}$ , определяется из выражения

$$\bar{t}_f = \frac{q_{\text{погл}}^{\Sigma}}{K_{\text{пр}p-o}} + t_0 - \frac{t_{f_{\text{ВЫХ}}} - t_{f_{\text{ВХ}}}}{\frac{q_{\text{погл}}^{\Sigma}}{K_{\text{пр}p-o}} + t_0 - t_{f_{\text{ВХ}}}} \ln \frac{q_{\text{погл}}^{\Sigma}}{K_{\text{пр}p-o}} + t_0 - t_{f_{\text{ВЫХ}}} \quad (5)$$

полученного нами в [4]. В (5)  $q_{\text{погл}}^{\Sigma}$  - плотность потока суммарного (прямого и диффузионного) СИ, поглощенного зачерненной поверхности ЛПТП;  $K_{\text{пр}p-o}$  - приведенный к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСК суммарный коэффициент тепловых потерь от ЛПТП через ограждающие элементы корпуса коллектора в окружающую среду.

При отсутствии солнечного излучения, т.е.  $q_{\text{погл}}^{\Sigma} = 0$ , выражение (5) примет вид

$$\bar{t}_f = t_0 + \frac{t_{f_{\text{ВХ}}} - t_{f_{\text{ВЫХ}}}}{\ln \frac{t_{f_{\text{ВХ}}} - t_0}{t_{f_{\text{ВЫХ}}} - t_0}} \quad (6)$$

Подставляя значения ( $\bar{t}_f$ ) из (6) в (5), получим

$$K_{\text{пр}f-o} = (\dot{m} c_p)_f \ln \frac{t_{f_{\text{ВХ}}} - t_0}{t_{f_{\text{ВЫХ}}} - t_0} \quad (7)$$

Значение  $K_{\text{пр}f-o}$  в (5) в соответствии [5] для ПСК с оптимизированным значением толщины замкнутой толщины воздушной прослойки (ЗВП), заключенной между зачерненной поверхностью ЛПТП и внутренней поверхностью светопрозрачного покрытия (СП) корпуса, может быть определено из аппроксимационной формулы

$$K_{\text{пр}p-o} = 5,8426 + 0,0218 \bar{t}_p + 0,0117 t_0, \text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (8)$$

в которой  $\bar{t}_p$  - средняя рабочая температура ЛПТП.

При отсутствии солнечного излучения значение  $\bar{t}_p$ , определенное на основе выражения [6]

$$\bar{t}_p = 22,9358 \left\{ \left[ (5,8426 - 0,0101t_o)^2 + 0,0872 (5,8426t_o + 0,0117t_o^2 + q_{\text{погл}_p}^\Sigma - q_{\text{пол}}) \right]^{0,5} - 5,8426t_o + 0,0101t_o \right\}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

при  $q_{\text{погл}_p}^\Sigma = 0$  и

$$q_{\text{ТП}_p} = -q_{\text{пол}} = (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{\text{вх}}} - t_{f_{\text{вых}}}) \quad (10)$$

может быть определено из выражения

$$\bar{t}_p = 22,9358 \left\{ \left[ (5,8426 - 0,0101t_o)^2 + 0,0872 (5,8426t_o + 0,0117t_o^2 + (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{\text{вх}}} - t_{f_{\text{вых}}})) \right]^{0,5} - 5,8426 + 0,0101t_o \right\}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

Подставляя выражения (11) в аппроксимационную формулу (8), получим

$$K_{\text{пр}_p-o} = 2,9213 + 0,01675t_o + 0,5 \left[ (5,8426 - 0,0101t_o)^2 + 0,0872 (5,8426t_o + 0,0117t_o^2 + (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{\text{вх}}} - t_{f_{\text{вых}}})) \right]^{0,5}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (12)$$

Кроме  $K_{\text{пр}_f-o}$  и  $K_{\text{пр}_p-o}$ , одним из основных теплотехнических показателей ПСК для нагрева ЖТН, характеризующий степень их теплотехнического совершенства, является коэффициент тепловой эффективности их ЛПТП ( $\eta_{\text{ТП}}$ ).

Значение  $\eta_{\text{ТП}}$  согласно [7] может быть определено из отношения

$$\eta_{\text{ТП}} = \frac{K_{\text{пр}_f-o}}{K_{\text{пр}_p-o}}. \quad (13)$$

Подставляя выражения (7) и (12) в отношение (13), получим

$$\eta_{\text{ТП}} = (\dot{m}c_p)_f \left\{ 2,9213 + 0,01675t_o + 0,5 \left[ (5,8426 - 0,0101t_o)^2 + 0,0872 (5,8426t_o + 0,0117t_o^2 + (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{\text{вх}}} - t_{f_{\text{вых}}})) \right]^{0,5} \right\}^{-1} \ln \frac{t_{f_{\text{вх}}} - t_o}{t_{f_{\text{вых}}} - t_o} \quad (14)$$

Достоверность решения (14) может быть подтверждена путем сопоставления значений  $\eta_{\text{ТП}}$ , определенных по (14), и отношения

$$\eta_{\text{ТП}} = \frac{\bar{t}_p - t_o}{\bar{t}_f - t_o}, \quad (15)$$

полученного из равенства значений удельной теплопроизводительности ПСК, определяемых из регрессионных выражений [7,8]

$$q_{\text{пол}} = \eta_{\text{ТП}} \left[ q_{\text{погл}_p}^\Sigma - K_{\text{пр}_p-o} (\bar{t}_f - t_o) \right] \quad (16)$$

и

$$q_{\text{пол}} = q_{\text{погл}_p}^\Sigma - K_{\text{пр}_p-o} (\bar{t}_p - t_o) \quad (17)$$

при  $q_{\text{погл}_p}^\Sigma = 0$ .

Подставляя значений  $\bar{t}_f$  из (6) и  $\bar{t}_p$  из (11) в отношение (15), получим

$$\eta_{\text{ТП}} = \left\{ 22,9358 \left[ (5,8426 - 0,0101t_0)^2 + 0,0872 \left( 5,8426t_0 + 0,0117t_0^2 + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{\text{ВХ}}} - t_{f_{\text{ВЫХ}}}) \right) \right] \right\}^{0,5} - 134,0047 - 0,76835t_0 \left\{ \frac{\ln \frac{t_{f_{\text{ВХ}}} - t_0}{t_{f_{\text{ВЫХ}}} - t_0}}{t_{f_{\text{ВХ}}} - t_{f_{\text{ВЫХ}}}} \right\} \quad (18)$$

Согласно результатам расчетов, например, при  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_{f_{\text{ВХ}}} = 60^\circ\text{C}$ ,  $t_{f_{\text{ВЫХ}}} = 45^\circ\text{C}$  и  $(\dot{m}c_p)_f = 8,5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})}$  при  $\dot{m}_f = 2.0302 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$  и  $(\dot{m}c_p)_f (t_{f_{\text{ВХ}}} - t_{f_{\text{ВЫХ}}}) = 170 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , значения  $\eta_{\text{ТП}}$  определенные по выражениям (14) и (18), равны и соответствуют 0,837 что свидетельствует о высокой достоверности установленных выражений по определению параметров  $K_{\text{пр}f-o}$ ,  $K_{\text{пр}p-o}$  и на их основе  $\eta_{\text{ТП}}$  ПСК для нагрева ЖТН темновым способом.

### Список литературы

1. Gillett W.B., Moon J.T. Solar Collectors: Test Methods and Designs Guidelines. -Dordrech: D. Redial Public. Comp. 1985, -20 p.
2. Малевский Ю.Н., Мышков. Ю.Л., Смирнов С.И. и др. Методика определения тепловых характеристик солнечных коллекторов в лабораторных условиях //Гелиотехника.1980. №4,-С.50-54.
3. Фрид С.Е. Методы тепловых испытаний солнечных коллекторов. М.: ИВТАН Препринт №3-248. 1988. -57с.
4. Avezova N.R. Procedure for Determining the Mean Coolant Temperature in Heat-Transfer Channels of Flat Solar Collectors and Other Thermal Engineering Parameters and Complexes According to Thermal Testing Results // Applied Solar Energy, 2015, Vol. 51, No. 3, pp. 172–176.
5. Avezova N.R., Avezov R.R. Dependence of the Coefficient of Environmental Thermal Losses of Radiation-Absorbing Thermal Exchange Panels of Flat Solar Collectors for Heating Heat-Transfer Fluid from Their Average Operating and Ambient Temperatures // Applied Solar Energy, 2015, Vol. 51, No. 1, pp. 10–14.
6. Avezova N.R., Avezov R.R. No-contact Method of Determining Average Working-Surface Temperature of Plate-Type Radiation-Absorbing Thermal Exchange Panels of Flat Solar Collectors for Heating Heat-Carrying Liquid // Applied Solar Energy, 2015, Vol. 51, No. 2, pp. 85–87.
7. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Energy Thermal Processes. New York: A Wiley-Interscience Publication. 1991. -919p.
8. Аvezov P.P., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. – Ташкент: «ФАН». 1988, -288с.

## АВТОНОМНАЯ СЕРХПРОВОДНИКОВАЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ STANDALONE SUPERCONDUCTING WIND POWER STATION

**Авдиенко А.А., Гаркавенко А.Н., Кашеев А.В., Колосков С.А.,  
Комарков Д.А., Панцырный В.И.**  
АО «Русский сверхпроводник», Москва, Россия

**Avdienko A.A., Garkavenko A.N., Kascheev A.V., Koloskov S.A.,  
Komarkov D.A., Pantsyrny V.I.**  
JSC “Russian superconductor”, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** ветроэлектростанция, сверхпроводниковые электроэнергетические устройства, водородная энергетика, твёрдоокисные топливные элементы

**Keywords:** wind power station, superconductor electric power devices, hydrogen energy, solid-oxide fuel cells

Современная ветроэнергетика во многих странах мира является частью энергетических систем, а в ряде стран - одной из главных составляющих. Суммарная мощность ветроустановок в мире достигла в 2014 году 336 ГВт. По оценкам WWEA за первое полугодие 2014 введено в эксплуатацию 17,613 ГВт. По прогнозу развития WWEA доля ветроэнергетики в мировом производстве электроэнергии должна составить 10% к 2020г. В России доля возобновляемых источников энергии (ветер, солнце) мала и составляет в энергобалансе страны всего 1,5%, а ветроэнергетические мощности - чуть более 16 МВт. В то же время Россия с её колоссальной территорией обладает и гигантским ветроэнергетическим потенциалом. Значительная доля этого потенциала приходится на районы крайнего севера, дальнего востока и активно осваиваемые в настоящее время районы Арктики. В настоящее время эти регионы находятся в зонах децентрализованного энергоснабжения и в основном обеспечиваются электроэнергией от дизельных электростанций, работающих на привозном топливе. Общая мощность дизельных электростанций (ДЭС), работающих на севере, свыше 3 млн. кВт, а производство электроэнергии на них – около 15 млрд. кВт·ч в год. Для обеспечения этого производства завозится ежегодно около 5,0-6,0 млн. т дизельного топлива. Стоимость производства энергии на таких ДЭС составляет 35-150 руб./кВт·ч.

Потребность в децентрализованном энергоснабжении будет стремительно расти в связи с интенсивным освоением обширных территорий севера и Арктики. В ближайшей перспективе планируется развитие инфраструктуры по обслуживанию портов по трассе Северного морского пути, которые также будут нуждаться в надёжном энергоснабжении при условии минимального негативного воздействия на окружающую среду. В связи с этим актуальным является создание надёжных и эффективных систем энергоснабжения, использующих энергию ветра.

Принятая Правительством РФ Генеральная схема размещения генерирующих объектов на территории России на перспективу до 2030 года предполагает развитие распределенной генерации в регионах децентрализованного энергоснабжения и удаленных территорий, к которым относятся, в первую очередь, северные территории, суммарным вводом до 2030 года 9,2 ГВт. Несомненно, что для выполнения этих планов необходимо использовать основной возобновляемый энергоресурс - ветер. Ввиду практического отсутствия надёжных средств доставки любых видов топлива необходимо реализовать энергоснабжение путём строительства полностью автономных ветроэлектростанций.

Основным параметром, характеризующим ветроэнергетический потенциал любой местности является среднегодовая скорость ветра. Практика наблюдений скоростей ветра в различных регионах Земли показала, что плотность вероятности того, что ветер дует с той или иной скоростью может быть выражена распределением Вейбула.

Однако, даже при относительно высокой среднегодовой скорости ветра возможны периоды снижения скорости и даже штили различной длительности, а также периоды штормовых ветров, во время которых выработка электроэнергии падает или даже вообще прекращается. По этой причине для корректного выбора мощности ветротурбины в обеспечение установленной мощности ВЭС необходимо иметь метеосведения о наличии и распределении по году штилевых дней.

подавляющее большинство ВЭУ в странах с разветвлёнными сетями электроснабжения включены именно в эти сети, что позволяет стабилизировать неравномерности скорости ветра в различных регионах, охваченных сетью.

В случае автономной ветроэлектростанции часть выработанной электроэнергии необходимо запасать в накопителях энергии или затратить на производство пригодного к хранению и последующему использованию топлива. Ёмкость накопителя энергии или объём произведенного топлива должны быть рассчитаны исходя из установленной мощности и максимальной длительности штилевого периода для места установки ветроэлектростанции и составлять не менее 50 МВт·час на каждый мегаватт установленной мощности.

По конструкции ветротурбины подразделяются на три типа:

- Высокооборотный генератор с приводом через редуктор (редукторные)
- Низкооборотный генератор с прямым приводом от ветроколеса (прямоприводные)
- Гибридные – одна ступень повышения оборотов

Преимуществами прямоприводных генераторов являются: упрощённая, более лёгкая и менее габаритная гондола, малые потери энергии при передаче крутящего момента и простота устройства системы, в которой ветроколесо соединено непосредственно с генератором.

В настоящее время прямоприводные турбины занимают всё большую долю рынков ветрогенераторов. Ротор большинства таких турбин комплектуется из сверхмощных постоянных магнитов неодим-железо-бор.

Дальнейшее уменьшение массы и габаритов генератора, а также снижение потерь достигается применением генераторов с магнитной системой, выполненной из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Высокие магнитные поля, генерируемые сверхпроводниковыми (СП) катушками обеспечивают малый вес и компактность прямоприводным машинам в сравнении с медными катушками и постоянными магнитами. Кроме того, СП ветротурбины имеют более низкую скорость ветра трогания. Полная эффективность автономной ВЭС предельно возрастает при использовании системы преобразования и распределения электроэнергии, укомплектованной СП кабелями, СП трансформаторами и другими дополнительными и вспомогательными СП устройствами.

Важнейшим элементом автономной ВЭС является накопитель энергии, который предназначается для обеспечения установленной мощности в периоды безветрия, а также для повышения КИУМ ВЭС. Такие накопители должны характеризоваться большим количеством глубоких циклов заряда-разряда – свыше 3 тысяч. При этом требуется сопоставимая с основной энергоустановкой цена.

Для хранения сверхбольших объёмов энергии предлагается использовать водород в качестве нарабатываемого топлива. Водород производится генератором водорода на основе электролизера воды и хранится в газгольдерах, газовых баллонах высокого и сверхвысокого давления. Водород является уникальным и самым экологически чистым топливом. Теплотворная способность водорода составляет 144500 кДж/кг (40,14 кВт·час/кг), что намного превышает теплотворную способность природного газа (50000 – 60000 кДж/кг), бензина (43961 кДж/кг), дизельного топлива (42705 кДж/кг).

Получение 1 кг водорода путём электролиза 9 кг воды в высокотемпературном электролизёре с твёрдооксидным электролитом требует около 45 кВт·час электроэнергии. Высокотемпературный электролиз по своим термодинамическим параметрам превосходит низкотемпературные системы. Основные трудности связаны с проблемами масштабирования проводящей по O<sub>2</sub> керамической беспористой диафрагмы на основе диоксида циркония стабилизированного иттрием (YSZ). Большой эффективности можно достичь за счёт создания генераторов водорода с выходным давлением до 30 – 70 МПа на основе однотипных по технологии и материалам с электролизёром водородных электрохимических компрессоров – концентраторов.

Использование водорода в качестве топлива для получения электроэнергии и тепла возможно в различных установках, начиная от простого (или каталитического) сжигания и преобразования с помощью турбогенераторов до энергостанций на различного типа топливных элементах: твёрдополимерных (ТПТЭ – рабочая температура 80° С), фосфорнокислых (ФКТЭ - рабочая температура 180° С), расплавкарбонатных (РКТЭ- рабочая температура 450° С), твёрдооксидных (ТОТЭ - рабочая температура 750-850°С.

Наиболее эффективными по совокупности характеристик являются энергостанции на основе ТОТЭ с утилизацией отходящего высокоэнтальпийного газа и паров в турбогенераторе. Топливом для этих ТЭ может служить как водород, так и природный газ после десульфуризации и переработки в реформере, что обеспечивает возможность применения в качестве резервного вида топлива природного газа. При электрическом КПД электростанции на основе ТОТЭ 70% эффективность преобразования ветроэнергии в потребляемую в периоды простоя ветротурбины составляет 50% - 60%.

Наличие водорода позволяет практически полностью отказаться от углеводородного жидкого топлива для наземных средств передвижения, перейдя на электрический привод с применением батарей твёрдополимерных топливных элементов.

Стоимость ветротурбины и строительства автономной ветроэлектростанции в условиях Заполярья в значительной мере определяется диаметром ветрового колеса, местом её установки - в тундре, на вечной мерзлоте, на скальном грунте островов или на шельфе. Отношение диаметров ветроколеса СП ветротурбины и традиционной Dsp/Dcu, необходимого для выработки установленной мощности сверхпроводниковой ВЭС с наработкой водорода, в зависимости от числа штилевых дней приведено на Рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что при использовании прямого привода генератора и снижении потерь электроэнергии за счёт применения сверхпроводниковых элементов энергосистемы радиус ветроколеса может быть уменьшен на 20 - 22 % по отношению к ветрогенератору с традиционной электросистемой. Коэффициент покрытия установленной мощности для сверхпроводниковой ВЭС с накоплением водорода в зависимости от числа штилевых дней меняется от 1,052 при отсутствии штилей до 2,1 при 100 днях, оставаясь в 1,14 раза меньше, чем для традиционного «медного» варианта.

Важной для эксплуатации, особенно в отдалённых районах, характеристикой является рабочий ресурс ветроэлектростанции. У современных ветротурбин, работающих при очень неравномерной ветровой нагрузке, время работы уже достигает 13 лет без какого-либо значительного износа. Для сравнения, моторы современных автомобилей при регулярном уходе и обслуживании имеют типичный ресурс 160000 км пробега, что составляет всего 4 месяца непрерывной работы.

Вариант структурной схемы автономной ветроэлектростанции представлен на Рисунке 2.

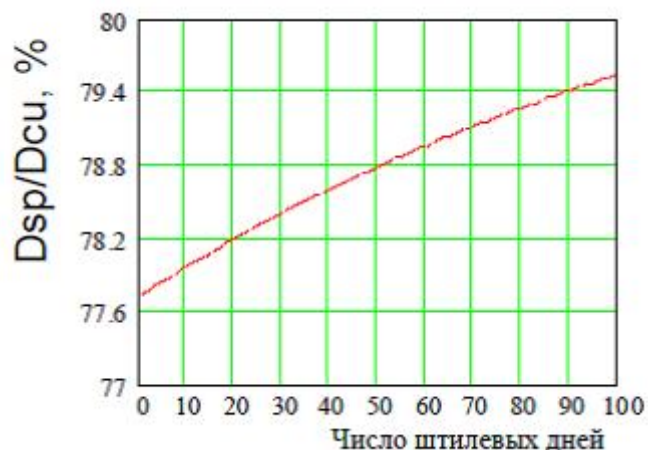


Рис. 1. Зависимость отношения диаметров ветроколёс от числа штилевых дней

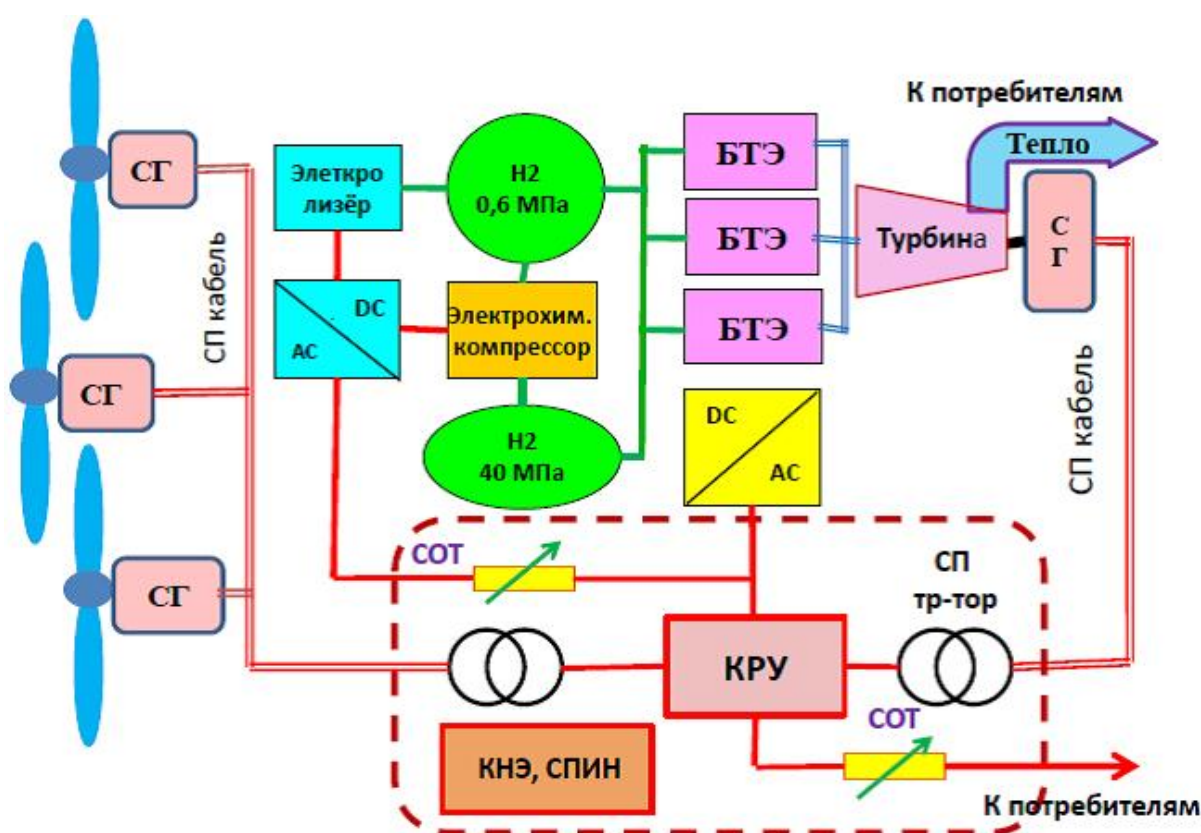


Рис. 2. Вариант структурной схемы автономной сверхпроводниковой ветроэлектростанции с накоплением водорода.

Станция включает в себя: СГ – генераторы с ВТСП-2 катушками магнитной системы; БТЭ – батареи ТОТЭ топливных элементов в составе электростанции мощностью  $1 = 5$  МВт; турбина приводится высокоэнтальпийным паром – выхлопом БТЭ; Распределительная подстанция на основе трансформаторов с ВТСП-2 обмотками; защитные устройства – ВТСП-2 ограничители токов короткого замыкания (СОТ); электроэнергия от генераторов транспортируется к подстанции по СП кабелям; водород вырабатывается электролизёром высокого давления (0,6 МПа), который накапливается в газгольдере; часть водорода компримируется до давления 15 или 40 МПа с помощью электрохимического компрессора и хранится в баллонах высокого давления; в качестве источников аварийного бесперебойного питания систем управления контрольно-



распределительного устройства (КРУ) ВЭС используется кинетический накопитель энергии с левитирующим ротором КНЭ или индуктивный накопитель СПИН.

ВЭС комплектуется единой станцией ожижения азота. Жидкий азот к генераторам, и трансформаторам подаётся через криостаты сверхпроводниковых кабелей.

Прототипы всех электроэнергетических устройств с использованием ВТСП-2 (Рисунок 3) были разработаны и изготовлены группой предприятий и организаций при общей координации работ АО «Русский сверхпроводник» в порядке выполнения Программы «Сверхпроводниковая индустрия».

**Ограничитель токов КЗ (СОТ)** разработан АО»НИИТФА (Рисунок 3 А)

Отсутствие потерь электроэнергии в номинальном режиме.

Укороченное до 1 мс время ограничения тока КЗ

Время восстановления рабочего состояния СОТ – 20 – 30 мс.

Благодаря ограничению тока КЗ на малом превышении над номинальным, воздействие тока КЗ на трансформатор не существенно, время срабатывания размыкателя снижается, а при малом времени восстановления СОТ остальные потребители практически не «замечают» происшедшего короткого замыкания

**Кинетический накопитель энергии (КНЭ)** разработка МАИ (Рисунок 3Б)

Основные технические характеристики разработанного КНЭ:

максимальный уровень запасаемой энергии — более 7 МДж, время заряда — 300 с, время разряда — 50 с, масса маховика — 600 кг; выходная мощность мотор-генератора — 100 кВт при частоте вращения маховика — 8000 мин<sup>-1</sup>, низкий уровень шума – 45 Дб;

продолжительный срок службы (> 20 лет);

**Генератор с ВТСП-2 ротором** мощностью 1 МВт (разработка МАИ) (Рисунок 3В)

имеет габариты 2280хØ1112 мм, фазное напряжение 690 В, номинальную частоту вращения ротора 600 мин<sup>-1</sup> КПД (без учёта системы охлаждения – 98%, коэффициент мощности 0,99.

При замене «медного» генератора 1 МВт на СП потери энергии снизятся с 40 до 11,7 кВт.

**СП трансформатор** мощностью 1000 кВА разработан АО»ЭНИН» (Рисунок 3Г)

Частота 50 Гц, число фаз 3, напряжение/ ток ВН 10 кВ/33,3 А, напряжение/ток НН 0,4 кВ/1443 А, потери холостого хода 890 Вт, потери КЗ 290 Вт,

Габариты (без системы криообеспечения): 2800х2380х1300 мм

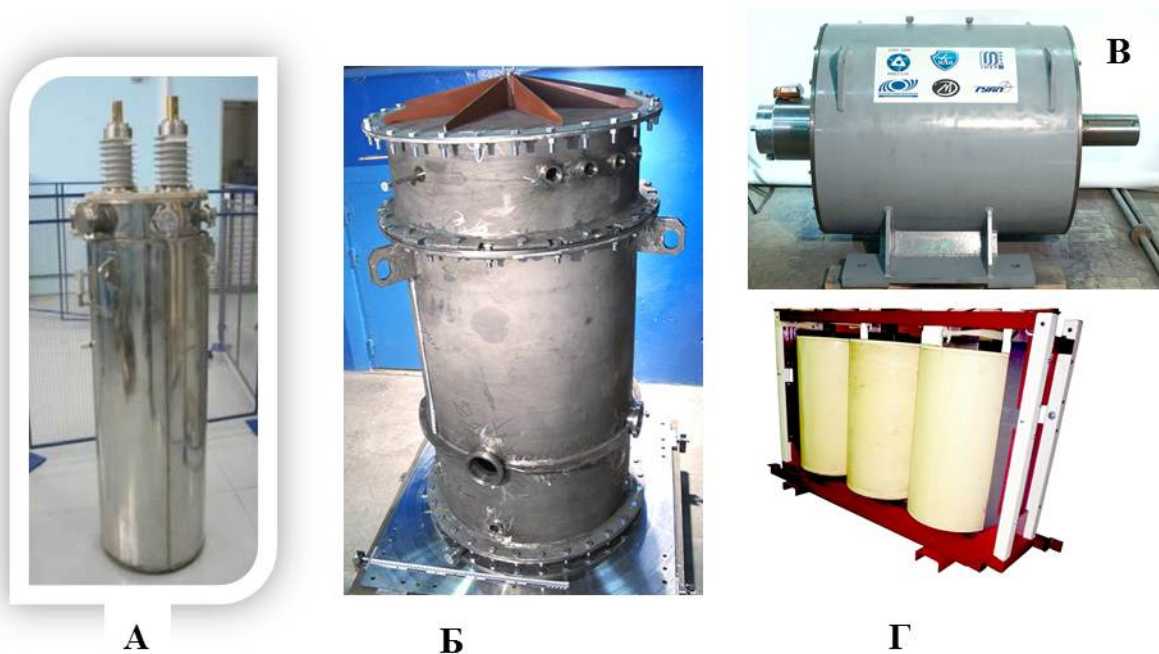


Рис. 3. А - СОР 3,5кВ, 2кА; Б - КНЭ с массивным ВТСП подвесом ротора; В - ВТСП-2 1 МВт генератор; Г - ВТСП-2 трансформатор 1 МВА класса напряжения 10/0,4 кВ

На основании приведенных данных и состояния развития ветроэнергетики, сверхпроводниковой и водородной энергетики в мире можно утверждать:

- Обеспечение электро- и теплоэнергией отдалённых районов крайнего севера и Арктики возможно и наиболее перспективно путём использования ветроэнергетического потенциала.
- Экономически и технически целесообразно строительство ВЭС со сверхпроводниковыми прямоприводными вертотурбинами и СП электросистемой.
- Обеспечение полной автономности ВЭС достигается при наработке и накоплении водорода с использованием его в периоды безветрия в качестве топлива для твёрдооксидных электрохимических устройств – топливных элементов.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЦИКЛ НА СМЕСИ ВОДЫ С АЛИФАТИЧЕСКИМ СПИРТОМ

Алхасов А.Б., Базаев А.Р., Базаев Э.А., Карабекова Б.К.  
ФГБУН «Институт проблем геотермии ДНЦ РАН», Махачкала, Россия

На основе экспериментальных данных о  $p, \rho, T, x$ -зависимости систем вода–этиловый спирт и вода–1-пропиловый спирт различного состава  $x$  (мольные доли спирта) в диапазоне температур 373.15–673.15 К, давлений 0.1–50 МПа и плотностей 35–700 кг/м<sup>3</sup> рассчитаны их основные термодинамические свойства (таблицы и диаграммы) в паровой и жидкой фазах, околоскритической и сверхкритической области состояния. Результаты  $p, \rho, T, x$ -измерений подтверждают, что данные смеси относятся к классу отталкивающих, то есть величина давления в системе вода–спирт в исследованном температурном диапазоне больше величины давления чистой воды. На основе анализа концентрационной зависимости энтропии и энтальпии обоснована целесообразность использования этих бинарных смесей в качестве рабочих веществ в преобразователях тепловой энергии в электрическую для повышения их эффективности. Рассчитан энергетический цикл Ренкина для суб- и сверхкритических смесей. Показано, что КПД цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара выше, чем КПД цикла Ренкина с перегревом пара, а КПД сверхкритического цикла выше, чем КПД цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара. При этом у всех рассмотренных циклов для значений концентрации до 0.2 мол. доли спирта эффективный КПД цикла растет в пределах 9-12 %, а для  $x > 0.2$  убывает. Следовательно, смесь воды с этанолом или 1-пропанолом состава около 0.2 мол. доли спирта может быть использована в качестве рабочего вещества для повышения эффективности паросиловых установок.

Эффективный КПД паросиловой установки, предназначенной для преобразования тепловой энергии в электрическую, зависит не только от конструкции тепломеханического оборудования и выбора термодинамического цикла, но и от полноты знания теплофизических свойств используемого рабочего вещества [1]. Как известно, основным рабочим веществом теплоэнергетических установок является вода и её теплофизические свойства исследованы в широком диапазоне параметров состояния, на основе которых получены Международные системы уравнений воды для применения в научных исследованиях (Формуляция IF-1995) [2] и для промышленных расчетов (Формуляция IF-1997) [3–5].

Диапазон рабочих температур паросиловых установок, работающих на воде, ограничен ее фундаментальными характеристиками: снизу температурой кипения и сверху критической температурой, которой соответствует максимальное значение давления насыщенных паров (критическое давление). Диапазон рабочих температур гомогенной смеси, образованной смешением спирта с водой, зависит от состава [6]. Изменением состава смеси можно регулировать её критические параметры, т.е. подобрать оптимальный рабочий температурный интервал [7].

В данной работе на основе экспериментальных данных о термодинамических свойствах гомогенных смесей воды с алифатическими спиртами (этанолом и н-пропанолом) [6,8-10] обоснована возможность повышения энергетической эффективности паросиловой установки с использованием цикла Ренкина на этих смесях.

Как видно из рис. 1, давление паров вдоль критических изохор смесей вода–спирт во всём диапазоне температур и состава больше давления паров чистой воды. Это объясняется характером межмолекулярного взаимодействия в системе, т.е. преобладанием сил отталкивания между молекулами воды и спирта. Таким образом, при данной температуре источника тепловой энергии в теплообменнике со смесью можно получить большее давление насыщенных паров, чем давление паров воды. На этом экспериментальном результате основана возможность повышения эффективности паросиловой установки. Данный факт демонстрируют термодинамические диаграммы (рис. 2-5)[10].

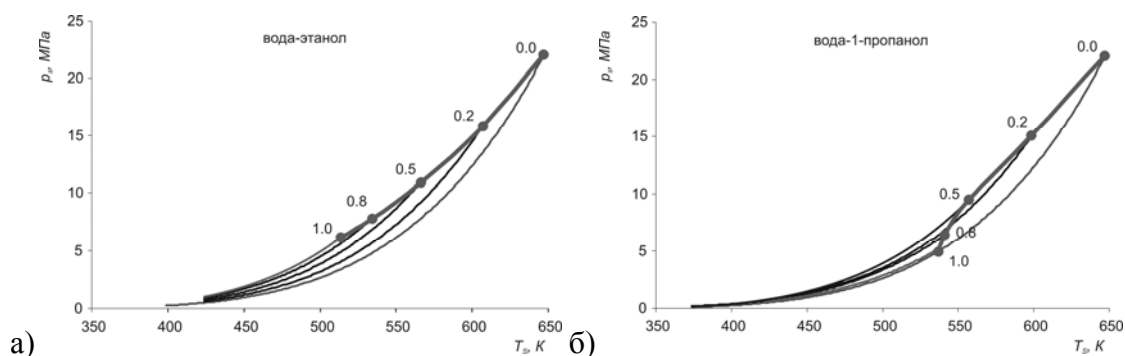


Рис. 1. Проекция линии критических точек термодинамической поверхности в  $p, T$ -плоскости смесей вода–спирт состава, мол. доли спирта: 0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0.

а) вода–этанол, б) вода–н-пропанол.

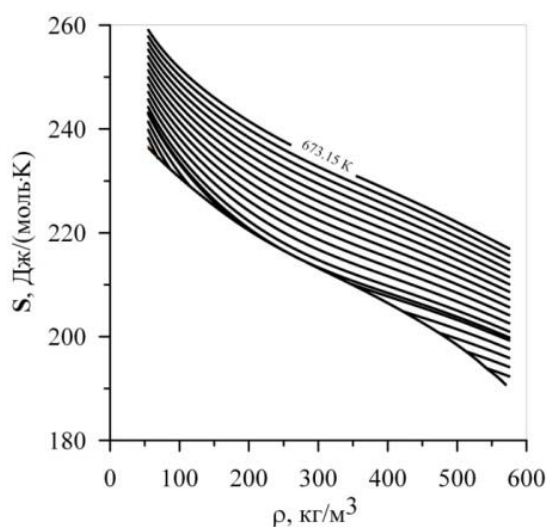


Рис. 2. Изотермы зависимости энтропии от плотности смеси вода–этанол 0.5 мол.доли

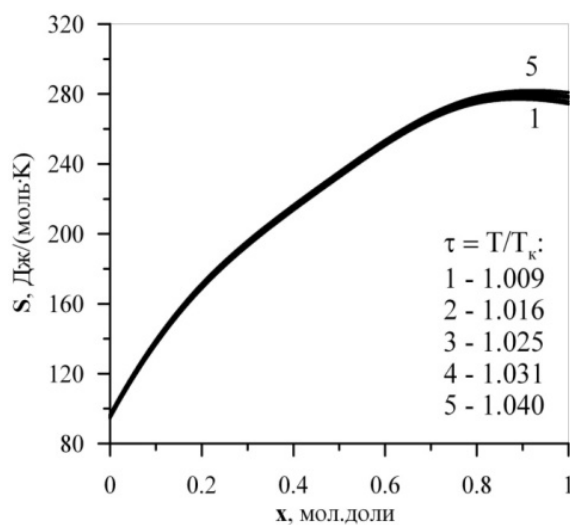


Рис. 3. Изотермы зависимости энтропии смеси вода–этанол от концентрации для  $\omega=0.4$

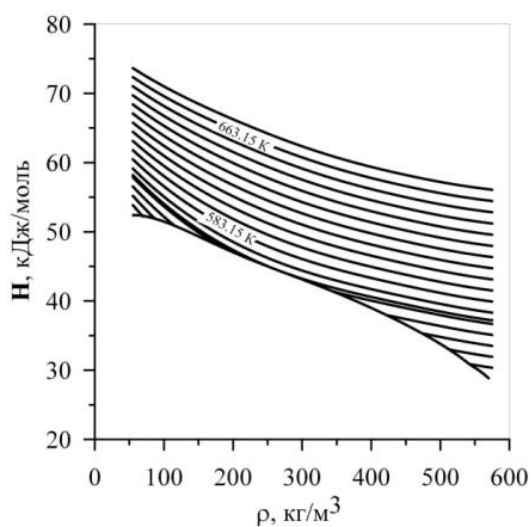


Рис. 4. Изотермы зависимости энтальпии от плотности смеси вода–этанол 0.5 мол.доли

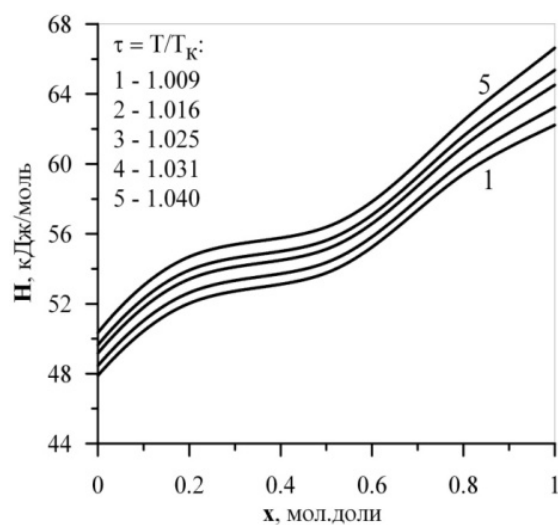


Рис. 5. Изотермы зависимости энтальпии смеси вода–этанол от концентрации для  $\omega=0.4$

Как известно [11], чтобы увеличить термический КПД цикла Ренкина применяют так называемый перегрев пара. В таблице 1 приведены диапазон температур  $T$  для значений  $\tau=T/T_k$  ( $\tau_1=0.995$ ,  $\tau_2=0.932$ ) и объем рабочего вещества в точке 2 (рис.6) при степени сухости  $d=0.92$ , использованные в расчетах цикла Ренкина для всех исследованных веществ и их смесей. Полученные  $T,S$ -диаграммы Цикла Ренкина с перегревом пара для воды ( $x=0.0$ ),  $n$ -пропанола ( $x=1.0$ ) и их смесей ( $x=0.2, 0.5, 0.8$ ) представлены на рис.6.

Рисунки 7 и 8 демонстрируют зависимость абсолютного эффективного КПД всей теплосиловой установки от состава смесей вода–спирт.

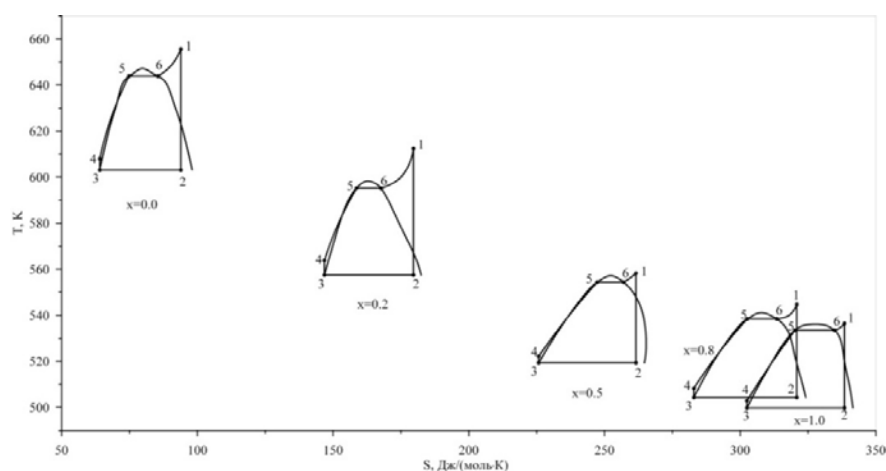


Рис.6.  $T,S$ -диаграммы цикла Ренкина с перегревом пара в зависимости от состава  $x$  смеси вода– $n$ -пропанол.

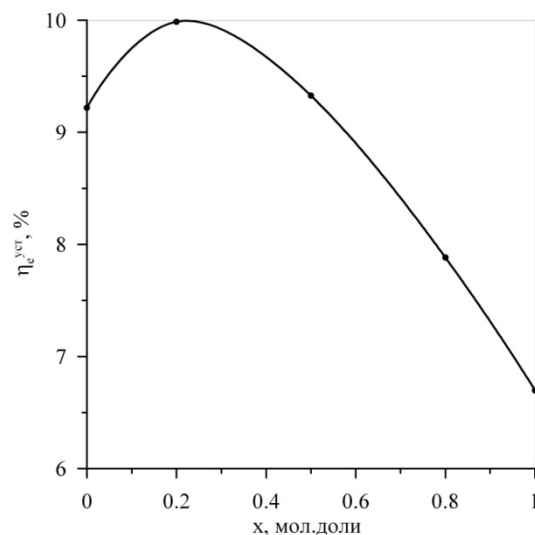


Рис.7. Зависимость  $\eta_e^{\text{уст}}$  цикла Ренкина с перегревом пара от состава  $x$  смеси вода–этанол.

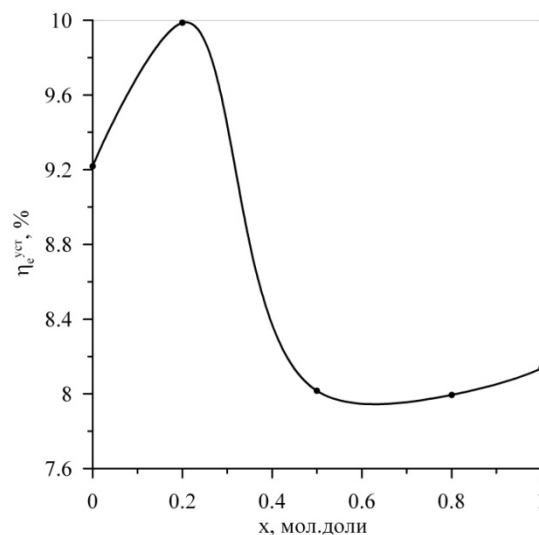


Рис.8. Зависимость  $\eta_e^{\text{уст}}$  цикла Ренкина с перегревом пара от состава  $x$  смеси вода– $n$ -пропанол.

Как известно, пар, поступающий в турбину, не должен содержать влаги. Для этого используют перегретый пар. Этот метод использован нами в расчете предыдущего цикла. Для снижения конечной влажности пара обычно осуществляют промежуточный перегрев пара.

При расчете этого цикла температурный диапазон брался такой же как и при расчете цикла Ренкина с перегревом пара (таблица 1), а в точке 2 степень сухости принята 0.8.

На рис.9 представлены T,S-диаграммы Цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара для воды, н-пропанола и их смесей.

Таблица. Значения температуры T и объема смесей, используемые для расчета цикла

вода–этанол					
x, мол. доли	0.0	0.2	0.5	0.8	1.0
$T_K$	647.10	601.15	556.15	530.15	516.25
$T_1=\tau_1 \cdot T_K$	643.86	598.14	553.37	527.50	513.67
$T_2=\tau_2 \cdot T_K$	603.10	560.27	518.33	494.10	481.15
$v(T_2)=d \cdot v^{жк}+(1-d) \cdot v^r$	0.012064	0.015057	0.014801	0.016877	0.017185
вода–н–пропанол					
$T_K$	647.10	598.15	557.15	541.15	536.15
$T_1=\tau_1 \cdot T_K$	643.86	595.16	554.36	538.44	533.47
$T_2=\tau_2 \cdot T_K$	603.10	557.48	519.26	504.35	499.69
$v(T_2)=d \cdot v^{жк}+(1-d) \cdot v^r$	0.012064	0.013102	0.01298	0.014753	0.014528

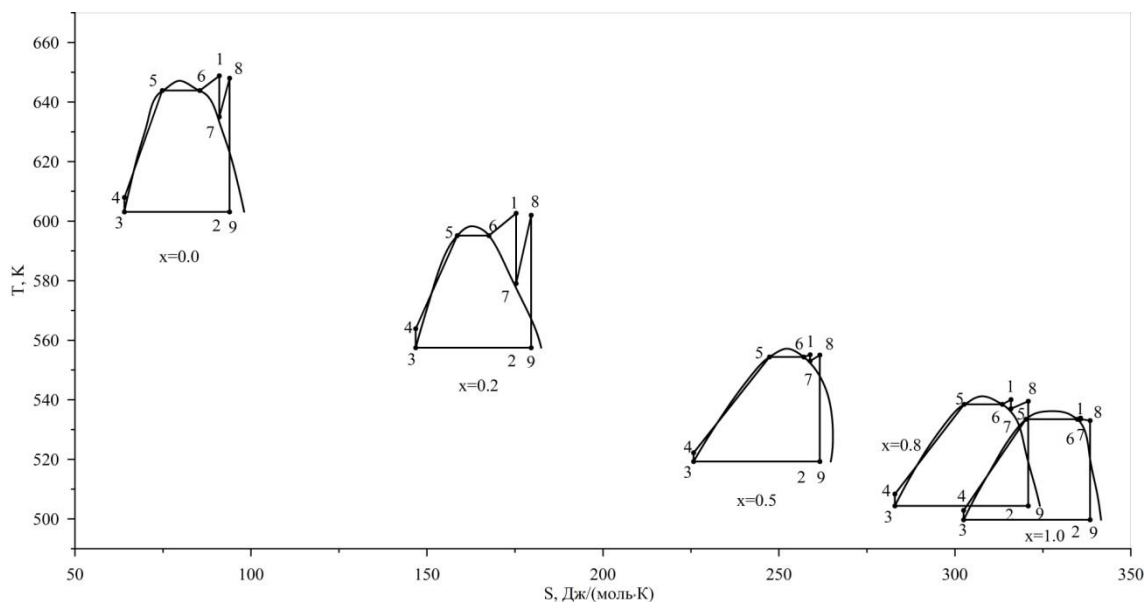


Рис.9. T,S-диаграммы цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара в зависимости от состава x смеси вода–н-пропанол.

Рисунки 10, 11 демонстрируют зависимость абсолютного эффективного КПД всей теплосиловой установки для цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара от состава смесей вода–спирт.

Часто используют сверхкритический цикл, приближенный к треугольному [12,13]. Эффективность этого цикла повышается за счет минимальной разности между температурой теплоносителя и рабочего вещества.

При расчете сверхкритического цикла в данной работе нижняя температура и степень сухости пара взяты такие же, как и при расчете цикла Ренкина с перегревом пара (таблица 1), а верхнее приведенное давление для всех рассматриваемых веществ принято равным 1.13. На рис.12 представлены T,S-диаграммы сверхкритического цикла для воды, н-пропанола и их смесей.

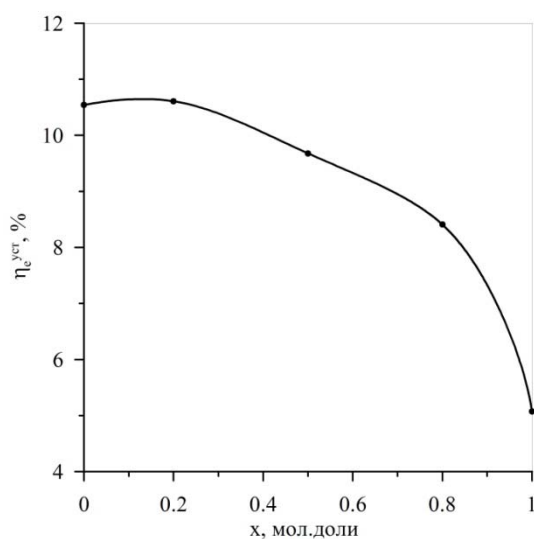


Рис.10. Зависимость  $\eta_e^{\text{уст}}$  цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара от состава  $x$  смеси вода–этанол.

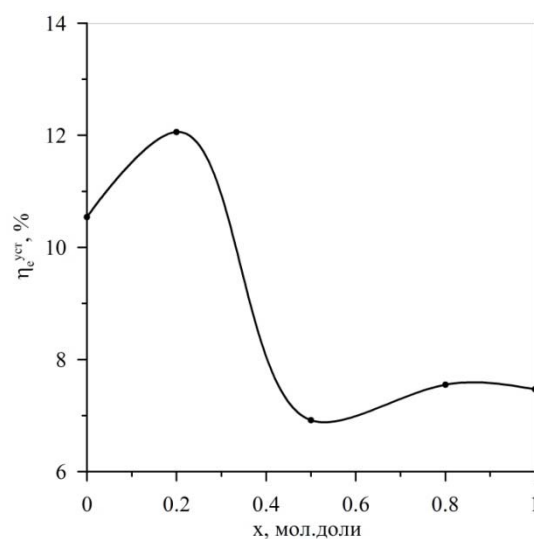


Рис.11. Зависимость  $\eta_e^{\text{уст}}$  цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара от состава  $x$  смеси вода–н-пропанол.

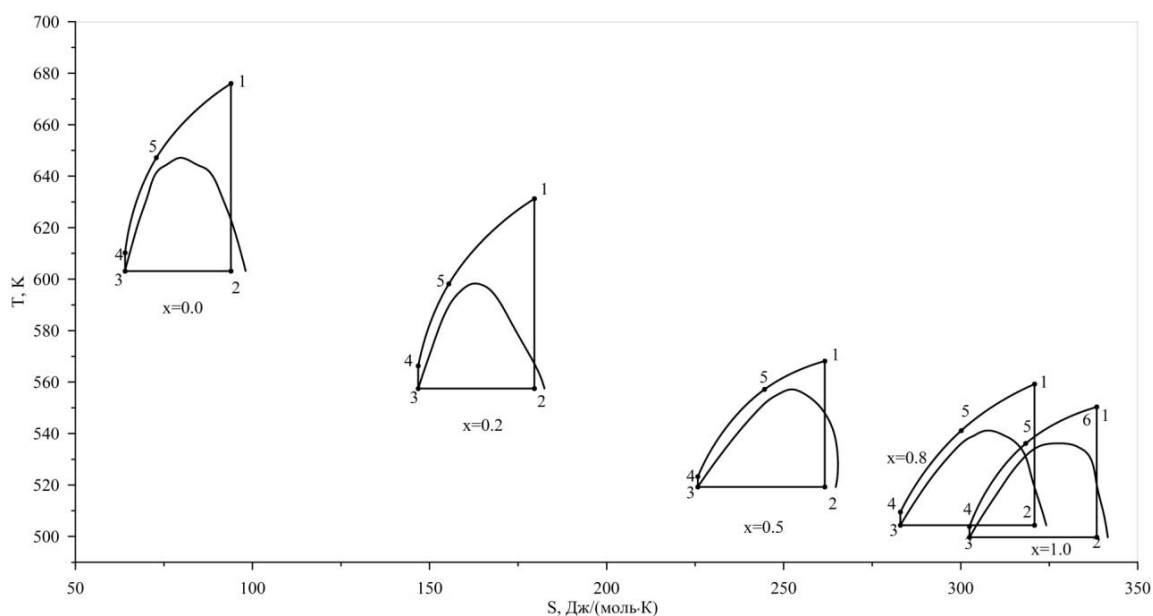


Рис.12. T,S-диаграммы сверхкритического цикла в зависимости от состава  $x$  смеси вода–н-пропанол.

Рисунки 13, 14 демонстрируют зависимость абсолютного эффективного КПД всей теплосиловой установки для сверхкритического цикла от состава смесей вода–спирт.

Как и следовало ожидать, КПД цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара выше, чем КПД цикла Ренкина с перегревом пара, а КПД сверхкритического цикла выше, чем КПД цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара. При этом у всех рассмотренных циклов, для значений концентрации до 0.2 мол. доли спирта КПД цикла растет, а далее убывает. Следовательно, смесь воды с этанолом или н-пропанолом состава около 0.2 мол. доли спирта может быть использована в качестве рабочего тела для повышения эффективности паросиловых установок.

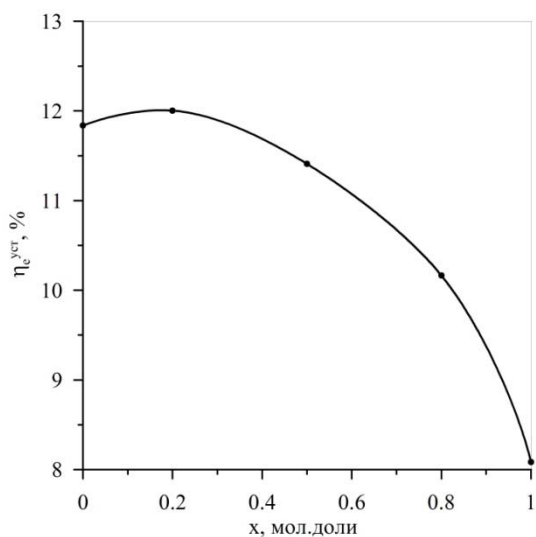


Рис.13. Зависимость  $\eta_e^{уст}$  сверхкритического цикла от состава  $x$  смеси вода–этанол.

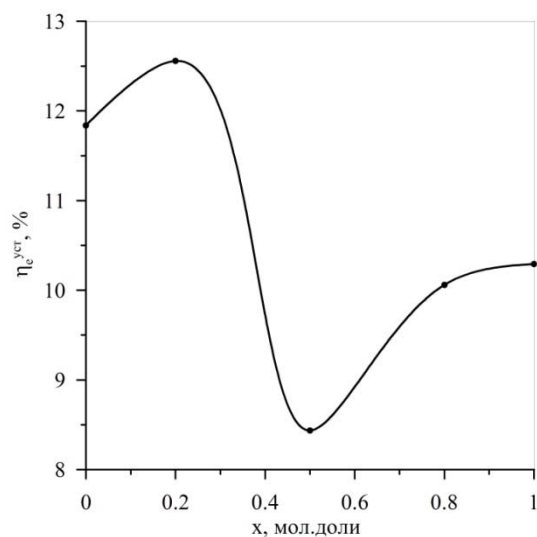


Рис.14. Зависимость  $\eta_e^{уст}$  сверхкритического цикла от состава  $x$  смеси вода–н-пропанол.

### Список литературы

1. Новиков И.И. Избранные труды. М: Физматлит, 2007.
2. Release on the IAPWS Formulation-1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. International Association for the Properties of Water and Steam // Executive Secretary R.B.Dooley. Electric Power Research Institute. Palo Alto. CA 94304. USA.
3. IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam // Executive Secretary R.B.Dooley. Electric Power Research Institute. Palo Alto. CA 94304. USA.
4. Александров А.А. Система уравнений IAPWS-IF97 для вычисления термодинамических свойств воды и водяного пара в промышленных расчетах. Ч.1. Основные уравнения. М: Теплоэнергетика. 1998. №9. С. 69–77.
5. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник // ГСССД Р-776-98–М.: Издательство МЭИ. 1999. 168 с.
6. Базаев А.Р., Карабекова Б.К., Абдурашидова А.А. р,р,Т,х-зависимости сверхкритических водных растворов алифатических спиртов // СКФ-ТП, Т.8, №2, 2013. С.11-38.
7. Васильев В.А., Крайнов А.В., Говорков И.Г. Расчет параметров унифицированной геотермальной энергоустановки на водоаммиачной смеси // Теплоэнергетика. №5. 1996. С. 27–32.
8. Базаев Э.А., Базаев А.Р. Фазовые превращения в двойных системах вода-алифатический спирт // ЖФХ. Т.51. №2. 2013. С.253-260.
9. Карабекова Б.К. Базаев А.Р. Термические свойства сверхкритических водных растворов алифатических спиртов. // Материалы VII Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. Миасс, 2012. С. 103-111.
10. Карабекова Б.К., Базаев Э.А., Базаев А.Р. Термодинамические свойства систем вода-алифатический спирт в широком диапазоне параметров состояния // СКФ. Т.10. №1. 2015. С.35-59.
11. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Издательство МЭИ, 2008.
12. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика. М.: Физматлит, 2008.
13. Абдулагатов И.М., Алхасов А.Б. Преобразование геотермальной энергии в электрическую с использованием во вторичном контуре сверхкритического цикла // Теплоэнергетика. №4. 1998. С.53-56.



## КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РАССОЛОВ

**Алхасов А.Б., Рамазанов А.Ш.**

**Alkhasov A.B., Ramazanov A.Sh.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем геотермии  
Дагестанского научного центра РАН  
367030, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 39-А, E-mail:alibek\_alkhasov@mail.ru

Показана перспективность комплексной переработки высокотемпературных геотермальных рассолов Тарумовского геотермального месторождения. Утилизация тепловой энергии осуществляется в бинарной ГеоЭС на сверхкритическом цикле Ренкина с низкокипящим рабочим агентом. Отработанный рассол с низкой температурой из ГеоЭС поступает на химзавод, где извлекаются основные химические компоненты – карбонат лития, магнезия жженая, карбонат кальция и поваренная соль. Далее отработанная вода используется на различные водохозяйственные цели. Электроэнергия, вырабатываемая в бинарной ГеоЭС, используется для извлечения химических компонентов. Комплексное освоение ресурсов месторождения позволит полностью обеспечить потребности России в карбонате лития и поваренной соли.

The prospect of complex processing of high temperature geothermal brines is indicated for the Tarumovsky geothermal field. Utilization of thermal energy is carried out at a binary GPP on supercritical Renkin cycle with a low-boiling working agent. Low-temperature used brine goes from the GPP to a chemical plant, where the main chemical components, such as lithium carbonate, magnesia usta, calcium carbonate and sodium chloride, are extracted. Then used water is utilized for different household needs. Electric power generated at the binary GPP is used for extraction of chemical components. Comprehensive development of the field resources will fully meet the needs of Russia in lithium carbonate and salt.

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, температура, бинарная геотермальная электростанция, термодинамический сверхкритический цикл, низкокипящий рабочий агент, минерализация, извлечение, карбонат лития.

**Keywords:** geothermal energy, temperature, binary geothermal power plant, thermodynamic supercritical cycle, low-boiling working agent, salinity, extraction, lithium carbonate.

Высокотехнологичная экономика должна сопровождаться расширением топливно-энергетической и минерально-сырьевой базы путем освоения новых видов полезных ископаемых. Минерально-сырьевая база многих ценных химических элементов должна опираться на получение их соединений из природных рассолов, которые привлекают все большее внимание в связи с тем, что они обладают практически неисчерпаемыми запасами и имеют относительно низкую стоимость извлечения ценных химических соединений [1].

Предварительная оценка высокопараметрических геотермальных ресурсов свидетельствует о больших перспективах их освоения в России. Повышение конкурентоспособности таких ресурсов достигается их комплексным использованием для выработки электроэнергии, теплоснабжения и извлечения ценных растворенных компонентов. При строительстве геотермальных энергетических систем основная доля финансовых затрат приходится на строительство скважины. С увеличением глубины скважины затраты на бурение резко увеличиваются, достигая 50 ... 90 % от общих затрат на всю систему. При извлечении только тепловой энергии экономически эффективными для добычи термальной воды обычно являются скважины глубиной до 3 км. Комплексное освоение нескольких видов георесурсов (тепловой и механической энергий, химических элементов и растворенных газов) приводит к снижению себестоимости единицы добываемой продукции и возрастанию оптимальных глубин до 6 км и более [2,3].

Наиболее перспективным использованием тепловой энергии высокотемпературных минерализованных геотермальных рассолов является ее преобразование в электроэнергию в бинарных ГеоЭС на низкокипящих рабочих агентах. При таком

преобразовании успешно решается проблема постоянной эксплуатации скважин, позволяющая значительно улучшить экономические показатели освоения геотермального месторождения [4]. Разработан ряд схем комплексного освоения высокотемпературных геотермальных рассолов [1].

Рассмотрена возможность комплексного освоения высокопараметрических ресурсов Тарумовского геотермального месторождения. Месторождение, расположенное вблизи одноименного поселка в Северном Дагестане, является уникальным объектом разведки высокопараметрических парогидротерм осадочных бассейнов. После получения аварийного фонтана из скважины № 1 и последующей ее ликвидации было решено разведать Тарумовскую площадь с целью изучения возможности строительства ГеоЭС и химического комбината для утилизации перегретых рассолов редких металлов. В начале 80-тых годов прошлого столетия объединение «Дагнефть» пробурило пять скважин (№№ 2,3,4,5,6), из которых №№ 3 и 5 были ликвидированы по техническим причинам. Скважины 2, 4 и 6 являются самыми глубокими (5500 м) в мире специально пробуренными на термальные воды. Разведаны меловые и юрские отложения и опробованы водоносные горизонты на глубинах 5385-5479, 5382-5388, 5421-5427 м. Из этих интервалов во всех трех скважинах были получены фонтаны однотипной паротермальной воды с высоким содержанием ценных элементов. В табл.1 приведены параметры, характеризующие Тарумовское месторождение высокопараметрических вод [4].

Наиболее водообильным является VI пласт средней юры, проницаемая часть которого представлена песчаным коллектором. Эффективная мощность этого коллектора по данным геофизических исследований колеблется от 2.5 до 3.5 м.

Химический, микрокомпонентный и газовый состав термальных вод продуктивной толщи однотипен и аналогичен составу вод скважины № 1. Общая минерализация составляет 176 – 198 г/л. В солевом составе преобладают ионы хлора и натрия. Количество растворенного газа достигает до 4.5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Главной составной частью растворенных газов являются углеводороды, сумма которых достигает до 87 объемных процентов.

По результатам испытаний скважин №№ 2, 4, 6 было подтверждено, что VI пласт средней юры содержит паротермальные высокоминерализованные воды. Плотность воды колеблется от 1118 до 1123 кг/м<sup>3</sup>, температура на глубине 5500 м достигает 198 °С, что соответствует температурному градиенту 0.034 °С/м. Месторождение характеризуется аномально высоким пластовым давлением (АВПД), полученное расчетным путем пластовое давление равно 71 МПа. Дебиты скважин через штуцер диаметром 42 мм составляют 1000 – 1600 м<sup>3</sup>/сут. Результаты исследования скважины № 6 показали, что при работе через эксплуатационную колонну (ЭК) и насосно-компрессорные трубы (НКТ) дебит на самоизливе с динамическим давлением на устье  $P_{дин} = 7$  МПа достигает 7000 м<sup>3</sup>/сут. При этом устьевая температура воды за время эксплуатации скважины в течение 2-х часов достигала до 170 °С, что свидетельствует о возможности эффективного использования продукции скважины для получения электроэнергии.

Расчетными исследованиями установлено, что при снижении динамического уровня у устья скважины № 6 до 1МПа дебит высокотемпературного рассола, изливающейся из эксплуатационной колонны увеличивается до 12000 м<sup>3</sup>/сут, температура рассола также увеличивается и стабилизируется на уровне 195 °С.

Рассмотрены термодинамические циклы Ренкина, реализуемые во вторичном контуре бинарной ГеоЭС при разных температурах испарения низкокипящего рабочего агента – изобутана. Из них наиболее эффективным с точки зрения получения максимальной мощности является сверхкритический цикл, приближенный к так называемому «треугольному» циклу с давлением испарения  $P_H = 5.0$  МПа.  $T, S$  –

диаграмма сверхкритического цикла приведена на рис. 1. При сверхкритическом цикле вследствие минимальной разности температур между теплоносителем и рабочим телом температурный потенциал термальной воды используется наиболее эффективно.

Таблица 1. Параметры Тарумовского месторождения высокопараметрических термальных вод

№ п/п	Параметр	Единица измерения.	Скважина		
			2	4	6
1	Эффективная мощность пласта	м	2.5	3.0	3.5
2	Плотность воды при $P_{ат}$ и $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	кг/м <sup>3</sup>	1222	1123	1118
3	Проницаемость пласта	мд	1250	685	1560
4	Пористость пласта	%	25	25	25
5	Минерализация воды,	г/л	191	180	176
6	Пластовая температура	$^{\circ}\text{C}$	198	198	198
7	Пластовое давление	ат	715	719	709
8	Газовый фактор	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1.2	4.5	1.7
9	Коэффициент приемистости	м <sup>3</sup> /сут·ат	-	-	130
10	Максимальный дебит при работе: - через НКТ	м <sup>3</sup> /сут	1067	1123	1587
11	Расчетный максимальный дебит при $P_{дин}=1\text{ МПа}$ и эксплуатации через ЭК	м <sup>3</sup> /сут	-	-	12000

Сравнение сверхкритического цикла с докритическим ( $P_{и\bar{}}=3.4\text{ МПа}$ ) показывает, что мощность, вырабатываемая турбиной при сверхкритическом цикле, увеличивается на 11 %, а плотность потока вещества, поступающего на турбину, в 1.7 раза выше, чем в цикле с  $P_{и\bar{}}=3.4\text{ МПа}$ , что приведет к улучшению транспортных свойств теплоносителя и уменьшению размеров оборудования (подводящих трубопроводов и турбины) паротурбинной установки. Кроме того, в цикле с  $P_{и\bar{}}=5.0\text{ МПа}$  температура отработанной термальной воды  $T_H$  нагнетаемой обратно в пласт, составляет  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тогда как в докритическом цикле с  $P_{и\bar{}}=3.4\text{ МПа}$  температура  $T_H=55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

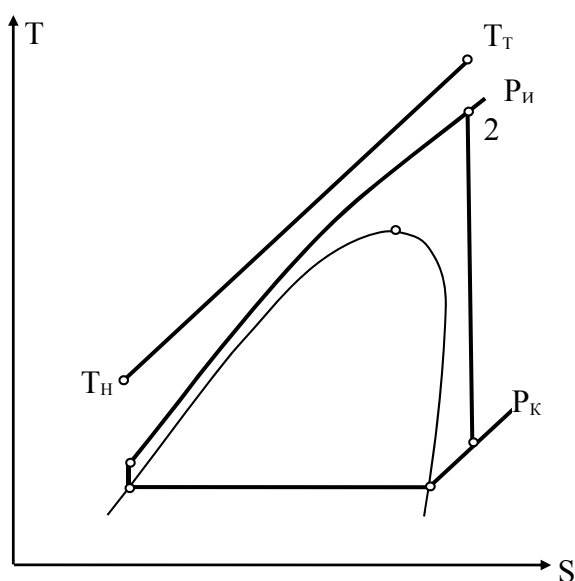


Рис. 1.  $T,S$  – диаграмма сверхкритического цикла

В то же время повышение начального давления до 5.0 МПа в сверхкритическом цикле влияет на стоимость оборудования, в частности на стоимость турбины. Хотя с ростом давления размеры проточной части турбины уменьшаются, одновременно возрастает число ступеней турбины, требуется более развитое концевое уплотнение и, главное, увеличиваются толщины стенок корпуса и других элементов.

Однако такие факторы, как увеличение мощности, уменьшение размеров подводящих трубопроводов и турбины и более полное срабатывание температурного потенциала термальной воды, говорят в пользу сверхкритического цикла.

Технологии полного извлечения всех химкомпонентов из геотермальных рассолов в данной работе не рассматриваются, они подробно приведены в работе [1], а также в ранее опубликованных работах [6-8]. Освоение ресурсов предполагается по схеме, где тепловой потенциал высокотемпературной воды используется для получения электроэнергии в бинарной ГеоЭС. Отработанный рассол с низкой температурой из ГеоЭС поступает на химзавод, где извлекаются основные химические компоненты (карбонат лития, магнезия жженая, карбонат кальция и поваренная соль), далее вода используется на различные водохозяйственные цели. Преимуществом данной системы является полное использование теплового потенциала и извлечение основных химкомпонентов высокопараметрических геотермальных ресурсов, отсутствие необходимости в обратной закачке, исключая значительные капитальные затраты на строительство нагнетательных скважин и насосной станции, и эксплуатационных затрат на их обслуживание.

Технологическая схема переработки геотермальных рассолов Тарумовского месторождения с получением карбоната лития, магнезии жженной, карбоната кальция и поваренной соли приведена на рис. 2. Производство ценных неорганических материалов обеспечивается электроэнергией, вырабатываемой на ГеоЭС, чем достигается полная автономия производства и независимость от внешних условий. Оценочные показатели комплексной переработки высокотемпературных рассолов скважины № 6 приведены в табл. 2, из которых следует о высокой эффективности предлагаемой технологии. Стоимость получаемой продукции составляет до 4.25 млрд. руб/год.

Потребность в карбонате лития, оксиде магния, карбонате кальция и пищевой соли в России достаточно высокая. Завоз по импорту пищевой соли в Россию в 2012 году составил 548500 т, в том числе в Ростовскую область – 49900 т, Краснодарский край – 48300 т. Потребности Республики Дагестан в соли составляют до 40000 т в год. На оксид магния в стране имеется большой спрос в стекольной промышленности, строительной индустрии для производства магнезиальных вяжущих материалов, сельском хозяйстве для производства комбикормов. Осажденный  $\text{CaCO}_3$ , который имеет высокую чистоту и тонкодисперсный состав, используется в резиновой промышленности, в производстве пластиков, принтерных чернил, зубной пасты, а также в органическом синтезе, металлургии, производстве стекла и стройиндустрии.

Потребности только Каспийского завода по производству листового стекла мощностью 600 тонн в сутки, применяющего самые современные технологии стекольной индустрии, в карбонате кальция и оксиде магния составляют 30 и 10 тыс. т в год соответственно. Производство карбоната лития, оксида магния, карбоната кальция и пищевой соли из отработанных в ГеоЭС геотермальных рассолов будет способствовать импортозамещению этих продуктов.

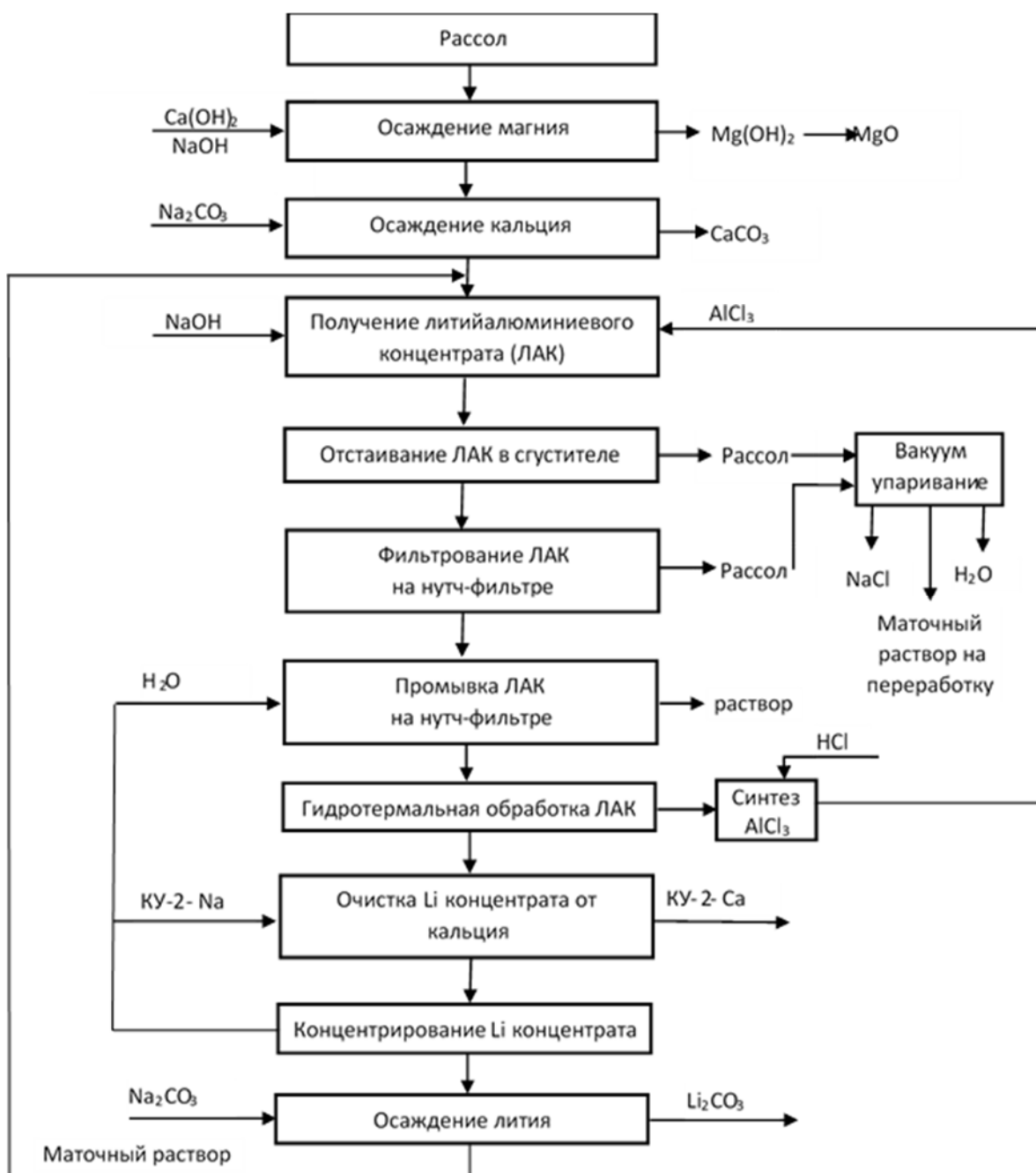


Рис.2. Технологическая схема переработки геотермальных рассолов Тарумовского месторождения

**В заключение** отметим, что наиболее эффективным направлением освоения высокотемпературных геотермальных рассолов является их комплексная переработка с преобразованием тепловой энергии в электроэнергию в бинарной ГеоЭС и последующим последовательным извлечением из отработанного рассола различных химических компонентов. Тарумовское геотермальное месторождение, являющееся одним из богатейших как в теплоэнергетическом отношении, так и по содержанию редкометального сырья, все эти годы находится в консервации. Хотя такое положение обусловлено множеством объективных и субъективных факторов, целесообразность его расконсервации и освоения не вызывает сомнения. Воды месторождения являются комплексным полезным ископаемым на хлорид натрия, бром, йод, бор, литий, рубидий, цезий, стронций, калий, не говоря уже о растворенных газах и теплоэнергетическом потенциале. Создание комплексных энергетических технологий освоения

высокопотенциальных минерализованных геотермальных ресурсов Северокавказского региона обусловлено тем, что в них в промышленно значимых концентрациях содержатся ионы редкоземельных элементов, прежде всего, ионы лития основными потребителями солей которого являются атомная, стекольная, электрохимическая, фармацевтическая и другие отрасли промышленности. В настоящее время для обеспечения потребностей промышленности карбонат лития закупается за рубежом. Разведанные запасы Тарумовского месторождения термальных вод позволят ежегодно получать более 4000 т карбоната лития и тем самым полностью обеспечить не только потребности России, но и экспортировать его в объеме до 2500 т. Освоение Тарумовского месторождения по предлагаемой технологии, как видно из данных табл.3, существенно улучшить экономическую структуру региона.

Таблица 2. Параметры и показатели переработки высокотемпературных рассолов скважины № 6 Тарумовского месторождения

Наименование параметра, продукции	Количество	Стоимость продукции, руб./год
Дебит скважины, м <sup>3</sup> /сут	12000	-
Температура рассола на устье скважины, °С	195	-
Мощность ГеоЭС на сверхкритическом цикле, МВт	15.4	-
Годовая выработка электроэнергии, кВт·ч	135·10 <sup>6</sup>	337·10 <sup>6</sup>
Карбонат лития (Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), т/год	4380	578·10 <sup>6</sup>
Магnezия жженная (MgO), т/год	5690	239·10 <sup>6</sup>
Соль пищевая (NaCl), т/год	583000	2157·10 <sup>6</sup>
Карбонат кальция (CaCO <sub>3</sub> ), т/год	103806	934·10 <sup>6</sup>

Выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификационный номер проекта RFMEFI60414X0120.

### Литература

1. Перспективы комплексного освоения высокопараметрических геотермальных рассолов /А.Б. Алхасов, Д.А. Алхасова, А.Ш. Рамазанов, М.А.Каспарова // Теплоэнергетика. 2015. № 6. С. 11 – 17.
2. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376 с.
3. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Современное состояние и перспективы освоения геотермальных ресурсов Северокавказского региона // Теплоэнергетика. 2014. № 6. С.28-36.
4. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Электроэнергетическое освоение геотермальных ресурсов осадочных бассейнов // Теплоэнергетика. 2011. № 2. С. 59 –66.
5. Рамазанов А.Ш. Закономерности хемосорбции ионов лития аморфным гидроксидом алюминия из хлоридных вод // Химия и технология воды. 1991. Т.13. №22. С. 140-143.
6. Зависимость адсорбционных свойств аморфного гидроксида алюминия по литию от условий получения /А.Ш. Рамазанов, Д.Р. Атаев, М.А. Каспарова, И.В. Сараева // Изв. высш. учебн. заведений. Химия и химическая технология. 2010. Т.53. №4. С.6-8.
7. Состав, структура и свойства литийалюминиевого концентрата, выделенного из геотермальной минерализованной воды /А.Ш.Рамазанов, М.А.Каспарова, И.В. Сараева, Д.Р. Атаев М.Б. Атаев // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и технология. 2013. Т.56. № 1. С.21-25. з
8. Пат. № 1729088SU.. Способ получения соли лития из литийсодержащих вод/А.Ш. Рамазанов, И.А. Камалутдинова // промышленная собственность. 2003. № 15.

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ  
ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
ELABORATION OF TECHNOLOGIES FOR THE EFFICIENT DEVELOPMENT OF  
PETROTHERMAL ENERGY FOR POWER GENERATION**

**Алхасова Д.А.**

ФГБУН Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН; Махачкала, Россия.

**Alkhasova D.A.**

Federal State Institution of Science Institute For Geothermal Research, Daghestan Scientific Center,  
Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russian Federation.

Дан краткий анализ использования геотермальных ресурсов для выработки электроэнергии. Разработана технологическая схема освоения тепла сухих горных пород циркуляционной системой с горизонтальными скважинами и гидроразрывом горной породы. Предложена технология бинарной ГеоЭС с отбором тепла сухих горных пород в первичном циркуляционном контуре, проведены исследования по оптимизации первичного циркуляционного контура и термодинамического цикла, реализуемого во вторичном контуре ГеоЭС.

**Ключевые слова:** петротермальная энергия, бинарная ГеоЭС, термодинамический цикл, циркуляционная система, геотермальная скважина.

**Keywords:** petrothermal energy, binary GPP, thermodynamic cycle, circulating system, geothermal well.

Мировой потенциал изученных на сегодняшний день геотермальных ресурсов составляет 0,2 ТВт электрической и 4,4 ТВт тепловой мощности. Примерно 70% этого потенциала приходится на месторождения с температурой флюида менее 130 °С. По оценкам сегодня используется около 3,5% мирового геотермального потенциала для выработки электроэнергии и 0,2% - для получения тепла [1].

К началу 2005 г. ГеоЭС работают в 24 странах мира, суммарная установленная мощность достигла 8910,7 МВт, в конце 2008 г. суммарная мощность ГеоЭС в мире выросла до 10500 МВт. Лидерами по установленной электрической мощности ГеоЭС являются США (3000 МВт), Филиппины, Мексика, Индонезия, Италия. Россия значительно отстает от стран-лидеров в этой области.

Геотермальные электростанции, уступая ветровым по суммарной установленной мощности, существенно превосходят их по выработке электроэнергии. Стоимость производимой на современных ГеоЭС электроэнергии в среднем на 30 % ниже, чем на ветровых и в 10 раз ниже, чем на солнечных электростанциях. Новейшие энергетические технологии с использованием геотермальных ресурсов отличаются экологической чистотой и по эффективности приближаются к традиционным. На ГеоЭС, использующих бинарный цикл и ГЦС-технологии, полностью исключаются выбросы в атмосферу диоксида углерода. В настоящее время в разных странах работают более 1000 бинарных энергоблоков.

В настоящее время существует большое разнообразие технологических схем ГеоЭС. В [1] приведены разработанные технологические схемы бинарных ГеоЭС малой и большой мощности. Выбор рабочего тела во вторичном контуре бинарной ГеоЭС является важным моментом при ее строительстве. Рабочее тело должно обладать благоприятными физическими, химическими и эксплуатационными свойствами при заданных условиях работы. На основе термодинамического анализа пригодности использования в геотермальных энергоустановках различных низкокипящих рабочих тел установлено, что одним из наиболее перспективных является изобутан [2]. Был проведен анализ бинарных ГеоЭС с низкокипящими рабочими телами во вторичном контуре, позволяющими повысить эффективность использования низкопотенциального геотермального тепла. Проведена оптимизация термодинамического цикла (рис.1), реализуемого во вторичном контуре бинарной ГеоЭС с низкокипящим рабочим телом, в

первичном контуре которой циркулировала термальная вода.

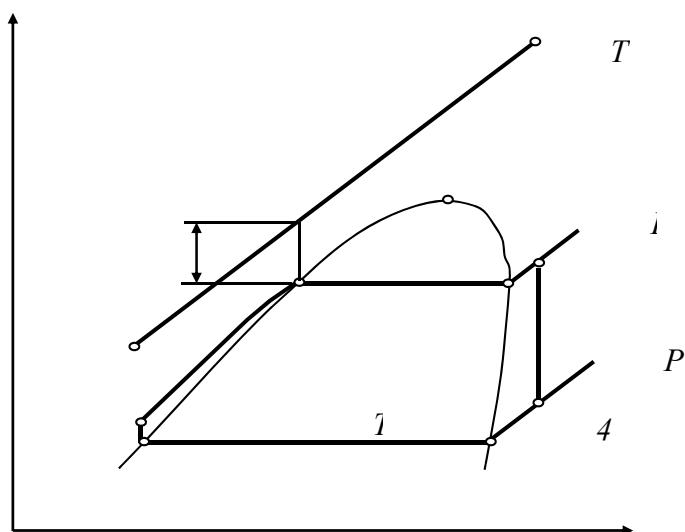


Рис. 1. Цикл паротурбинной установки в T, S – диаграмме

В результате оптимизации цикла Ренкина с учетом получения максимальной мощности на 1 кг/с расхода термальной воды установлено, что наиболее перспективным из хорошо освоенных рабочих агентов являются изобутан и дифторхлорэтан [2]. Дальнейшее сравнение говорит в пользу изобутана. Изобутан обладает хорошими теплофизическими и термодинамическими показателями, не является разрушителем озонового слоя и не способствует появлению парникового эффекта, совместим с маслами и не вызывает коррозии оборудования.

Помимо задачи подбора подходящего рабочего агента, циркулирующего во вторичном контуре бинарной ГеоЭС, не менее важным моментом является поиск подходящего источника теплоты в первичном контуре бинарной ГеоЭС. В представленной ниже технологической схеме (рис.2) предлагается использование тепла сухих горных пород для нагрева пресной воды, циркулирующей в первичном контуре бинарной ГеоЭС.

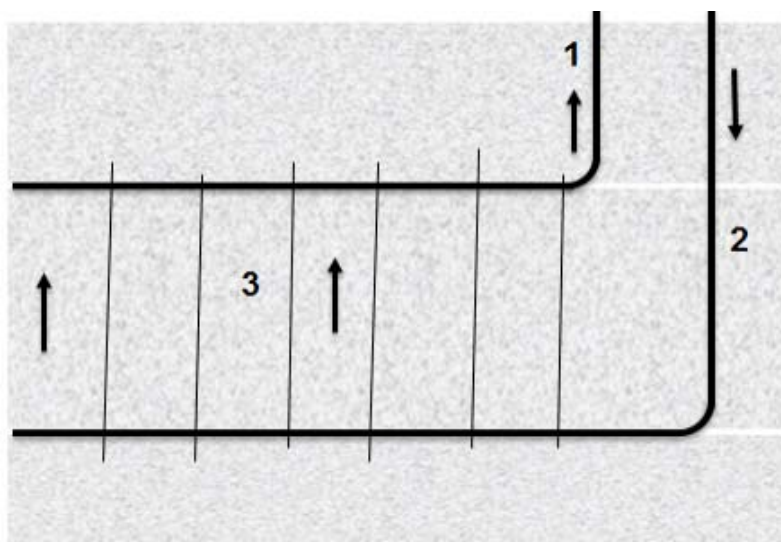


Рис. 2. Технологическая схема циркуляционной системы извлечения петротермального тепла. 1-добычная скважина; 2-нагнетательная скважина; 3-трещины гидроразрыва



В такой системе съем тепла горных пород осуществляется пресной закачиваемой водой в вертикальных и горизонтальных стволах нагнетательной и добычной скважин, а также в системе трещин в массиве, образованных путем гидроразрыва непроницаемой горной породы. Далее нагретая вода на поверхности передает часть своей тепловой энергии низкокипящему рабочему агенту во вторичном контуре ГеоЭС. Гидроразрыв горной породы используется для создания множества трещин в продуктивном пласте. Суть метода гидроразрыва заключается в нагнетании в скважину жидкости под высоким давлением, превышающем горное давление, в результате чего происходит разрыв горной породы и образование новых или расширение существующих трещин.

Циркуляция пресной воды (первичный теплоноситель) в представленной на рис. 2 системе происходит по контуру: нагнетательная скважина - проницаемый пласт - добычная скважина – потребитель – нагнетательный насос. Рассматриваемая задача сводится к решению уравнения неизотермической фильтрации теплоносителя в трещиноватом пласте с учетом теплообмена с непроницаемыми кровлей и подошвой пласта.

Распространение тепла в непроницаемых кровле и подошве пласта описывается уравнением

$$c_n \frac{\partial T_n}{\partial t} = \lambda_n \frac{\partial^2 T_n}{\partial z^2} \quad (1)$$

Уравнение теплопереноса в проницаемом пласте

$$c_{nl} \frac{\partial T_{nl}}{\partial t} + c_{ж} \nu \frac{\partial T_{nl}}{\partial z} = \lambda_{nl} \frac{\partial^2 T_{nl}}{\partial z^2} \quad (2)$$

Условие непрерывности температуры и потока тепла на нижней границе

$$-\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial z} = -\lambda_{nl} \frac{\partial T_{nl}}{\partial z} + c_{ж} \nu (T_{nl} - T_3) \quad (3)$$

на верхней границе

$$-\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial z} = -\lambda_{nl} \frac{\partial T_{nl}}{\partial z}, \quad (4)$$

где  $c_n, c_{nl}, c_{ж}$  - объемные теплоемкости горной породы, насыщенного пласта и теплоносителя;  $\lambda_n, \lambda_{nl}$  - коэффициент теплопроводности горной породы, насыщенного пласта;  $T_n, T_{nl}, T_3$  - температура горной породы, насыщенного пласта и закачиваемой жидкости.

Результаты проведенных многовариантных расчетов позволили сделать вывод о том, что эффективное освоение петротермальной энергии горных пород обеспечивают малые скорости фильтрации теплоносителя (воды). Правильно подобранные параметры геотермальной циркуляционной системы (ГЦС) обеспечивают эффективную работу системы по извлечению тепла на долгие годы (30 лет и более). На рис. 3 показано распределение температуры по высоте насыщенного пласта (область  $z=200-500$ м), граничащих с пластом кровле (область  $z=500-550$ м) и подошве (область  $z=150-200$ м) после 30 лет эксплуатации циркуляционной системы.

Вода, нагреваемая за счет съема тепла горных пород в представленной ГЦС, может использоваться в качестве первичного теплоносителя для нагрева низкокипящего рабочего агента во вторичном контуре ГеоЭС. При создании ГеоЭС главной целью является получение максимальной полезной электрической мощности при оптимальных экономических показателях. Повышение мощности достигается увеличением расхода первичного теплоносителя, циркулирующего в контуре ГЦС, и оптимизацией термодинамического цикла вторичного контура.

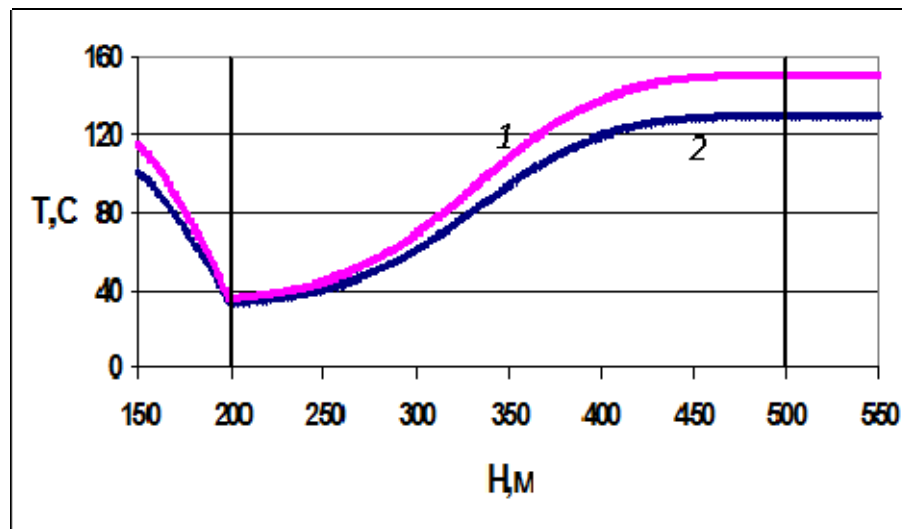


Рис. 3. Распределение температуры по высоте пластовой системы. длина горизонтального ствола скважины  $L=2000\text{м}$ , расход воды  $Q=2000\text{ м}^3/\text{сут}$ , температура закачки  $T_3=20^\circ\text{C}$ ; 2)  $L=1500\text{м}$ ,  $Q=1500\text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $T_3=20^\circ\text{C}$

Оптимизация цикла, реализуемого во вторичном контуре бинарной ГеоЭС проведена в [2]. Удельный массовый расход вторичного теплоносителя  $\bar{m}$  и мощность турбины  $\bar{N}_3$  (на 1 кг/с расхода первичного теплоносителя) определяются по формулам

$$\begin{aligned} m(i_3 - i_2) &= C_6 [T_m - (T_s + \Delta T)] \\ m(i_2 - i_1) &= C_6 [(T_s + \Delta T) - T_n], \\ N_3 &= \eta_{o.э} m(i_3 - i_4) \end{aligned} \quad (5)$$

где  $C_6$  - теплоемкость воды, кДж/кг·К;  $T_m$  - температура добываемой воды (первичный теплоноситель, циркулирующий в контуре ГЦС),  $^\circ\text{C}$ ;  $T_s$  - температура испарения вторичного теплоносителя;  $T_n$  - температура отработанной воды;  $\Delta T$  - наименьший температурный напор в теплообменнике-испарителе;  $\eta_{o.э}$  - относительный электрический КПД турбогенератора;  $i_1, i_2, i_3, i_4$  - энтальпии вторичного теплоносителя в соответствии с обозначениями на рис. 1, кДж/кг.

Мощность (нетто) турбины за вычетом мощности, потребляемой питательным насосом, определяется по формуле [1]

$$N_3^u = N_3 - \frac{(P_u - P_k) v_k m}{\eta_n}, \quad (6)$$

где  $P_u$  и  $P_k$  - соответственно давление испарения и конденсации рабочего агента, Па;  $v_k$  - удельный объем конденсата,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $\eta_n$  - КПД питательного насоса. На практике  $\Delta T$  в большинстве случаев рекомендуется принимать равным  $\Delta T=10\dots 25^\circ\text{C}$ .

В таблице приведены термодинамические и энергетические характеристики установки, рассчитанные при условии использования во вторичном контуре изобутана.

Таблица. Параметры паротурбинной установки

$T_r$ , °C	$P_{in}$ , МПа	$T_s$ , °C	$i_2 - i_1$ , кДж/кг	$i_3 - i_2$ , кДж/кг	$i_3 - i_4$ , кДж/кг	$T_{in}$ , °C	$m$ , кг/с	$N_3$ , кВт·с/кг	$N_3''$ , кВт·с/кг	$g$ , кг/кВт·ч	$\eta_3$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P_k = 0,4 \text{ МПа}, T_k = 30 \text{ }^\circ\text{C}, \Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$											
130	1,2	74,6	117,1	274,3	44,5	65	0,7	26,5	25,3	134	10,8
	1,4	82,0	138,1	257,0	48,7	71	0,65	26,9	25,5		
	1,6	88,7	157,6	244,0	55,7	78	0,54	25,6	24,2		
	1,8	94,8	175,4	229,3	59,7	84	0,5	25,4	23,9		
150	1,8	94,8	175,4	229,3	59,7	70	0,84	42,6	40,1	84	13,6
	2,0	100,4	192,8	216,3	64,5	75	0,78	42,8	40,1		
	2,2	105,6	209,6	201,4	66,7	79	0,73	41,3	38,5		
	2,4	110,4	225,8	188,5	70,4	85	0,67	40,1	37,2		

С использованием данных, представленных в таблице и графиках на рис. 3, можно подсчитать мощность, вырабатываемую энергоустановкой:

1)  $T=130 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $L=1500\text{м}$ ,  $Q=1500 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $N=0,42 \text{ МВт}$

2)  $T=150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $L=2000\text{м}$ ,  $Q=2000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $N=0,88 \text{ МВт}$

Существенное влияние на эффективность энергоустановки оказывает температура конденсации. Наиболее выгодным для бинарной ГеоЭС является использование конденсационной системы, рассчитанной на самые низкие, допустимые на поверхности температуры. Снижение  $T_k$  до  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  в периоды холодного времени года позволит достичь значительного увеличения мощности ГеоЭС. В нашем случае при  $T=150 \text{ }^\circ\text{C}$  можно увеличить полезную мощность до  $1,32 \text{ МВт}$ . Увеличения мощности можно добиться также увеличением расхода первичного теплоносителя, циркулирующего в контуре ГЦС, а также увеличением длины горизонтальных стволов системы по отбору тепла горных пород, представленной на рис. 2.

**В заключение** отметим, что огромное значение для энергетики будущего имеет освоение петротермальной энергии, на долю которой на сегодняшний день приходится около 99% из пригодных для использования геотермальных ресурсов. Одним из эффективных путей освоения тепловой энергии земных недр является ее преобразование в электрическую энергию путем строительства бинарных ГеоЭС на низкокипящих рабочих агентах. Предложенная в работе технология преобразования петротермальной энергии в электрическую энергию позволит обеспечить население доступными электроэнергией и теплом.

### Список литературы

1. *Алхасов А.Б.* Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376с.
2. *Алхасов А.Б., Алхасова Д.А.* Электроэнергетическое освоение геотермальных ресурсов осадочных бассейнов. // Теплоэнергетика. №2, 2011 г. с.59-66.
3. *Алхасова Д.А.* Применение изобутана в системах освоения геотермального тепла. // Материалы V школы молодых ученых Э.Э. Шпильрайна «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов». 2012 г. с.254-258.
4. *Waxman M., Gallagher J.S.* Thermodynamic Properties of Isobutane for Temperatures from 250 to 600 K and Pressures from 0.1 to 40 MPa // J. Chem. Eng. Data. 1983. V. 28. p. 224-241.
5. *Алхасова Д.А.* Разработка эффективных технологий освоения петротермальной энергии. // Материалы 2 Межд. форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR – 2014», М., 2014, с. 50-56.
6. *Алхасова Д.А.* Разработка технологий эффективного освоения тепла сухих горных пород различного потенциала. // Труды III Междун. конф. «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы», Махачкала, 2014, с. 107-112.

## РЕСУРСЫ БИОЭНЕРГЕТИКИ РЕГИОНОВ РОССИИ BIOENERGY RESOURCES OF RUSSIAN REGIONS

Андреевко Т.И., Киселева С.В., Шакун В.П.

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

Andreenko T.I., Kiseleva S.V., Shakun V.P.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

Биоэнергетика является наиболее перспективным видом ВИЭ в России. Это обусловлено как значительным объемом ресурсов, в частности, отходов сельскохозяйственного производства, лесопромышленного комплекса и городского коммунального хозяйства, так и необходимостью эффективной утилизации этих отходов. В данной работе обсуждаются результаты проведенных по предложенной ранее методике расчетов биоэнергетических ресурсов и потенциалов твердых коммунальных отходов (ТКО) и осадков сточных вод (ОСВ) для всех регионов России на основе результатов переписи населения 2010 года и с учетом современного административно-территориального деления страны. Проведена оценка биоэнергетического потенциала городов России с численностью населения 100 тысяч человек и более.

Рассмотрены также оценки энергетического потенциала отходов производства основных видов сельскохозяйственных культур Российской Федерации: зерновых и зернобобовых, масличных, картофеля, сахарной свеклы и овощей. Расчеты проведены по статистическим данным о среднем урожае за 2006 – 2014 гг. для федеральных округов и всех субъектов РФ. Оценен биоэнергетический потенциал отходов животноводства и птицеводства регионов России за 2010-2014 годы. Показана динамика ресурсов и валового энергетического потенциала органических отходов за исследуемый период.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, биоэнергетический потенциал, распределение биоэнергетического потенциала, твердые коммунальные отходы, осадки сточных вод, отходы растениеводства, отходы животноводства, теплотворная способность, картографическое распределение

**Keywords:** renewable sources of energy, bio-energetic potential, distribution of bio-energetic potential, municipal solid waste, sewage sludge, crop residues, animal waste, calorific value, cartographic representation

Несмотря на значительные масштабы развития в мире ветровой и солнечной энергетики, именно биоэнергетика обеспечивает самую большую генерацию энергетических продуктов среди всех возобновляемых источников. В качестве наиболее показательного примера эффективного менеджмента в области биоэнергетики можно рассматривать страны Европейского Союза: в них на долю биоэнергетики приходится почти 64% потребления энергии ВИЭ или 8,16% от конечного потребления энергии в целом (для стран ЕС-27). В условиях ухудшения экономической ситуации на континенте, когда многие европейские страны сократили или отменили субсидии на производство энергии из биомассы, биоэнергетика демонстрирует устойчивый рост, обеспечивая потребности стран в тепле, электроэнергии и моторном топливе [1, 2]. Объясняется это не только стремлением к замещению ископаемого углеводородного топливного сырья на альтернативные виды и использованию местных источников энергии, но в значительной степени и потребностью утилизации органические остатков и отходов. Практика развития биоэнергетики показывает, что использование отходов производства и потребления во многих случаях способно рентабельно обеспечить энергией районы вне зоны централизованного энергоснабжения и рекреационные области, в которых использование традиционных источников энергии невозможно или нежелательно.

Для своего развития биоэнергетика, как и любая отрасль энергетики, нуждается в надежных ресурсных оценках и прогнозах. В России выполнено ряд детальных оценок энергетического потенциала биомассы регионов [3, 5, 6]. В представленной работе по предложенной ранее методике проведены расчеты биоэнергетических ресурсов и потенциалов твердых коммунальных отходов и осадков сточных вод для регионов России на основе результатов переписи населения 2010 года и с учетом современного административно-территориального деления страны. Проведена оценка

биоэнергетического потенциала городов России с численностью населения 100 тысяч человек и более. В задачу настоящей работы входила также оценка биоэнергетического потенциала отходов растениеводства и животноводства субъектов РФ на основе апробированных методик и статистических данных Росстата за последние годы.

На основании подхода, предложенного в [3, 4], а также собственных разработок, валовый энергетический потенциал органических отходов ЖКХ и сельскохозяйственного производства определялся нами как суммарная энергия  $Q$ , всех видов отходов ( $Q^i$ ), образующихся на территории региона в течение года

$$Q = Q^{АПК} + Q^{ЖКХ} = Q^{раст} + Q^{жив} + Q^{ТКО} + Q^{ОСВ}$$

Для определения энергии, заключенной в биомассе отходов, использовались значения массы отходов и удельного энергосодержания (или низшей теплоты сгорания) для соответствующих видов биомассы. Доля отходов в общем урожае для растительных культур, количество отходов от животных и удельное энергосодержание различных видов органических отходов существенно отличаются. Поэтому расчеты энергетического потенциала отходов растениеводства и животноводства проводились по отдельным видам сельскохозяйственных культур и направлениям животноводства. Масса ежегодно образующихся в регионе органических отходов сельскохозяйственного производства/ЖКХ определялась из годового урожая растительных культур, поголовья скота, годовой массы ТКО и ОСВ соответственно на основе экспериментально определенных норм образования отходов в сельскохозяйственном производстве и коммунально-бытовой сфере:

$$M_i = N_i \cdot L_i,$$

где  $M_i$  – масса отходов вида  $i$ ;  $N_i$  – масса урожая растительной культуры вида  $i$  /поголовье скота вида  $i$  /численность городского и сельского населения;  $L_i$  – коэффициент образования отходов для биомассы вида  $i$ . Валовый энергетический потенциал этих отходов определяется как произведение их массы на удельное энергосодержание. Так, валовый энергетический потенциал отходов агропромышленного комплекса определяется как:

$$Q^{АПК} = \sum_{i=1}^n M_i^{АПК} K_i^{АПК},$$

где  $M_i$  – масса отходов вида  $i$ ;  $K_i$  – удельное энергосодержание для отходов растениеводства и животноводства вида  $i$ . Здесь следует отметить следующее. Оценки валового энергетического потенциала биомассы отходов сельского хозяйства, жилищно-коммунального хозяйства и расчетной лесосеки были проведены нами по субъектам РФ. В связи со значительной площадью ряда крупных субъектов Сибири и Дальнего Востока, существенным различием климатических условий в пределах территории, распределение источников биомассы отходов характеризуется значительной пространственной неоднородностью. Очевидно, что в таком случае требуется детальная оценка распределения ресурсов и энергетического потенциала по территории каждого субъекта. Поскольку в распоряжении авторов до настоящего времени отсутствует информация об образовании органических отходов, например, в пределах муниципальных районов каждого субъекта РФ, детализацию внутри субъектов провести не удалось; эта задача остается актуальной. В связи с этим предполагалось, что в пределах субъектов РФ ресурсы каждого вида (отходы растениеводства, животноводства, отходы ЛПК и ЖКХ) распределены равномерно. Это привело к тому, что равномерное распределение, будучи отраженным на картах ресурсов и потенциалов

биоэнергетики, вызывает ложное представление о наличии, например, ресурсов отходов растениеводства на крайнем севере Красноярского края, в Магаданской области и т.п.

Вследствие особенностей используемой методики расчёта, динамика ресурсов биомассы ТКО и ОСВ определяется только изменением численности населения регионов (в случае валового потенциала) и городского населения (при подсчёте технического потенциала). Численность городского и сельского население РФ достаточно существенно изменяется (таблица 1).

Таблица 1. Динамика численности населения РФ

Дата переписи населения	Общая численность населения	Городское население	Сельское население
14.10.2010; (Всероссийская перепись населения 2010 г.)	142 856 536	105 314 000	37 543 000
01.01.2015	146 270 033	108 286 570	37 983 463

При этом постоянно растёт население городов с численностью населения более 100 тысяч человек: 2002 год – 67 621 тысяч человек, 2010 год – 70 313, 2015 год – 74 117 [7]. В 2010 году в России насчитывалось 164 города с населением более 100 000 человек, в 2015 году – 168. Эта статистика важна при определении экономического потенциала муниципальных отходов для получения энергии. Результаты практического осуществления переработки отходов показывают, что современные технологии обеспечивают экономически целесообразную электрогенерацию при переработки ТКО на мусороперерабатывающих заводах и ОСВ на станциях аэрации для населённых пунктов от 100-150 тысяч человек. Таким образом, имеет смысл рассматривать в первую очередь 168 городов-«100-тысячников» РФ при оценке экономического энергетического потенциала муниципальных отходов. Использование тепловой энергии от сжигания ТКО может быть рентабельным и при меньшем числе жителей.

Одной из наиболее перспективных областей с позиций переработки ТКО является Московская область, которая представляет собой нетипичный регион России: за счёт миграционных процессов её население постоянно росло на протяжении всего XX века, и эта тенденция сохраняется в настоящее время. Согласно Всероссийским переписям населения 2002 и 2010 гг., за 8 лет между переписями население Московской области выросло на 7,2%, при этом городское – на 8,3%, сельское – на 3,02%, а население городов с численностью более 100 тыс. чел. увеличилось на 20,4%. Динамика количества городов Московской области с населением более 100 тысяч человек такова: 2002 г. – 16, 2010 г. – 18, 2015 г. – 19 городов.

Величина отходов производства продукции растениеводства пропорциональна валовому сбору сельскохозяйственной культуры. Рассмотрим некоторые черты динамики производства основных сельскохозяйственных культур в РФ. Оценивая отходы растениеводства как сырьё для производства биотоплива, прежде всего следует рассмотреть возможности зерновых культур, так как производство зерна – основа всего сельского хозяйства России. Эти культуры выращиваются во всех земледельческих районах страны, при этом на их долю приходится более 50% всей посевной площади. В нашей работе были рассчитаны энергетические потенциалы отходов зерновых и зернобобовых культур для каждого субъекта федерации (рис. 1).

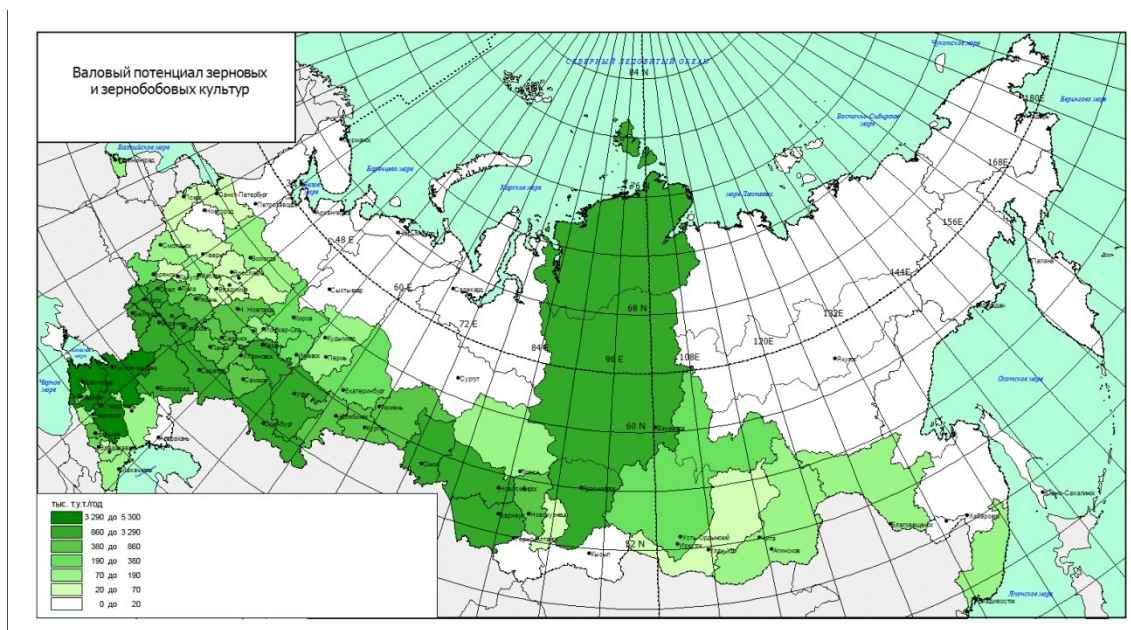


Рисунок 1 – Результаты оценки валового энергетического потенциала зерновых и зернобобовых культур в субъектах РФ

Производство зерновых культур в РФ подвержено колебаниям, хотя, за исключением неблагоприятных по климатическим условиям 2010 и 2012 гг., в последние годы наблюдается рост производства зерна. Рост валового сбора зерна в России в 2000-2013 гг. (рис. 2), позволяет рассматривать производство зерна в России как стабильную отрасль сельского хозяйства, имеющую тенденцию к развитию. Государственная программа развития сельского хозяйства РФ предполагает довести к 2020 году валовый объём годового производства зерновых и зернобобовых до 115 млн. тонн. Суммарный энергетический потенциал отходов производства в этом случае составит 48,9 млн. т у.т./год.

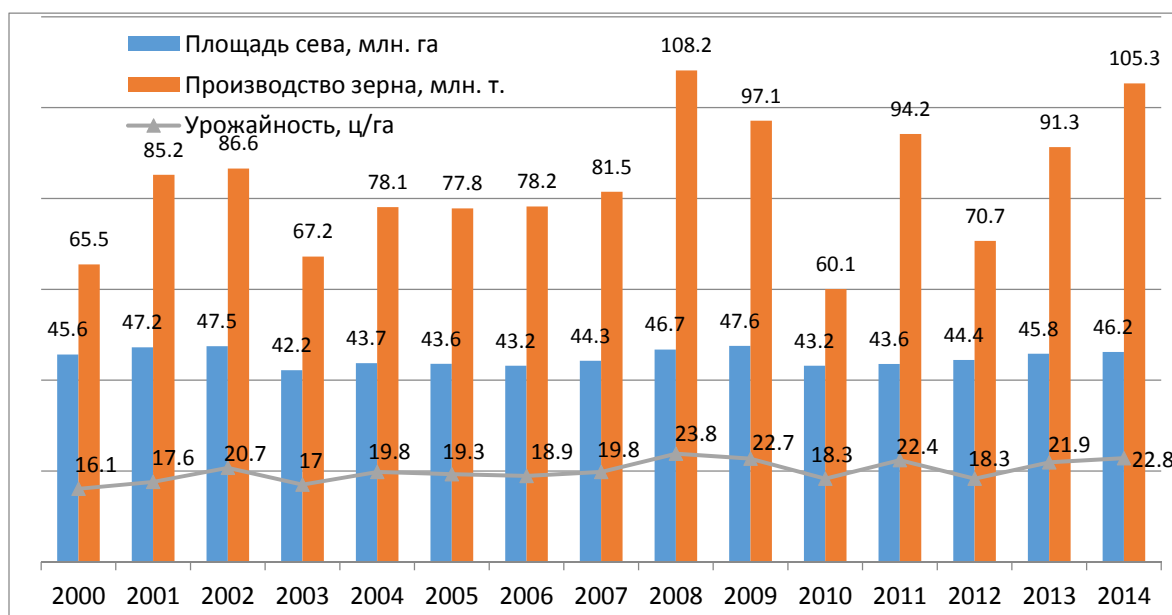


Рисунок 2 – Динамика производства зерновых культур в РФ (2000-2014 гг.) [8, 9]

Представляет также интерес анализ энергетических ресурсов, сконцентрированных в отходах таких культур, как подсолнечник – основной масличной культурой России, и сои – культуры, имеющей большое пищевое и кормовое значение, приобретающей всё большее экспортное значение. Данные Росстата свидетельствуют о том, что производство подсолнечника в России растёт, и соответственно растет валовый энергетический потенциал отходов производства подсолнечника (таблица 2) [10]. И хотя дальнейшее повышение урожайности подсолнечника является очень сложной задачей, определённые усилия в этом направлении, вероятно, всё же будут предприняты в силу объективных причин – необходимости импортозамещения (до недавнего времени импорт пищевого растительного масла в Россию составлял, по сведениям Минсельхоза, 35-38% от суммарного объема потребления). Следует отметить, что в расчетах валового энергетического потенциала отходов подсолнечника принималось, что выход стеблей и корзинок составляет 350% массы урожая подсолнечника, а лузги –18%. Теплотворная способность воздушно-сухих отходов влажностью 18-20% для стеблей подсолнечника составляет 3200 ккал/кг, для лузги – 3750 ккал/кг. Таким образом дифференцированные по видам отходов (стебли и лузга) показатели дают возможность провести дифференцированную оценку энергетических ресурсов стеблей и лузги. Это уточнение имеет принципиальное значение при оценке энергопотенциала отходов подсолнечника, поскольку их переработка в энергопродукты подразумевает использование различных технологий. Расчеты показывают, что валовый энергетический потенциал отходов подсолнечника в РФ в среднем за период 2006-2013 гг. составил 15,1 млн. т у. т./год, из которых 14,2 млн. т у. т. относится к стеблям и 0,9 млн. т у. т. - к лузге.

Таблица 2. Динамика урожая и валового энергетического потенциала отходов подсолнечника (в РФ всего)

Показатель	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Площадь посева подсолнечника, тыс. га	6196	7153	7614	6529	7271	6907
Урожай, тыс. т. /год			9697	7959	10205	9034
Валовый потенциал отходов, тыс. т у.т. /год			16450	13502	17311	15325

Статистические данные и результаты оценки валового энергетического потенциала отходов сои (таблица 3) показывают, что с 2009 г. посевные площади под этой культурой увеличились в РФ более чем в 2 раза и, соответственно, возрос валовый потенциал отходов производства сои. Прогнозируемый дальнейший рост этого направления растениеводства связано с расширением экспорта; согласно [11], «Россия доведет производство соевых бобов до 2,5–3 миллионов тонн, в первую очередь за счет Дальнего Востока, в меньшей степени — за счет Юга и Центра. С обнулением экспортной пошлины на бобы в рамках ВТО в 2016 году основной поток сельскохозяйственного сырья с Дальнего Востока пойдет в Китай».

Таблица 3. Динамика урожая и валового энергетического потенциала отходов сои (в РФ всего)

Показатель	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Площадь посева сои, тыс. га	875	1206	1229	1481	1532	2006
Урожай, тыс. т./год		1290	1819	1940	2084	2597
Валовый потенциал отходов, тыс. т у.т. /год		911	1284	1370	1471	1833



Отходы животноводства оказывают очень существенное негативное воздействие на окружающую среду. В тоже время эти отходы могут рассматриваться как ресурсы для получения энергетических продуктов (биогаза) и высокоэффективного удобрения из навоза и птичьего помёта. Данные о динамике поголовья скота и птицы за последние годы [12] позволили провести оценки валового энергетического потенциала отходов животноводства (таблица 4). Видно, что валовый потенциал отходов КРС за рассматриваемый период сократился вслед за сокращением поголовья. В то же время наращивается поголовье птицы и свиней, поскольку эти отрасли характеризуются быстрой отдачей вложенных средств, что привлекает инвесторов в строительство крупных свиноводческих и птицеводческих комплексов.

Таблица 4. Результаты оценки валового энергетического потенциала отходов животноводства (в РФ всего), тыс. т у.т./год

Направление животноводства	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Птицеводство	1174	1234	1302	1367	1377	1576
Свиноводство		1099	1101	1202	1217	1249
Крупный рогатый скот		9498	9576	9501	9305	9176

Результаты оценок валового потенциала муниципальных отходов (по данным Всероссийской переписи населения 2010 г.), отходов растениеводства (среднее за 2013-2014 гг.), и животноводства (среднее за 2009-2014 гг. (птица) и 2010-2014 гг. (КРС, свиньи)) для федеральных округов РФ представлены в таблице 5. Аналогичные оценки, а также расчеты технического энергетического потенциала отходов были проведены авторами для каждого субъекта Российской Федерации.

Таблица 5. Результаты оценки валового энергетического потенциала органических отходов производства и потребления (в федеральных округах РФ), тыс. т у.т. /год

Федеральный округ РФ	Растениеводство	Животноводство	ТКО	ОСВ
Центральный ФО	27312	2336	2359	183
Южный ФО	26929	2095	1214	94
Север-западный ФО	828	571	768	60
ДВ ФО	1341	270	557	43
Сибирский ФО	12973	2837	1596	124
Уральский ФО	4023	1108	1238	96
Приволжский ФО	22086	3674	2592	201
Сев-Кавказский ФО	10254	2309	830	64

### Список литературы

1. Гелетуха Г., Кучерук П., Матвеев Ю « Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспективы. Киев: Гюльцов. 2013. 72 с. <http://ekotenk.com.ua/news/2013-09-23/razvitie-biogazovyh-technology.pdf>
2. Атепаева Е. Биоэнергетика Европы: рост на фоне сокращения стимулов//Нефтяная вертикаль». 2013. №19, 2013. С. 17-19. <http://www.ngv.ru/magazines/article/bioenergetika-evropy-rost-na-fone-sokrashcheniya-stimulov/>
3. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива / П.П. Безруких, В.В. Дегтярев, В.В. Елистратов, Е.С. Панцхава, Э.С. Петров, В.Н. Пузаков, Г.И. Сидоренко, Б.В. Тарнижевский, А.А. Шпак, А.А. Ямпольский // М.: «ИАЦ Энергия», 2007. 272 с.

4. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Жовмир Н.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.И. Оценка энергетического потенциала в Украине. Часть 1. Отходы сельского хозяйства и древесная биомасса // Промышленная теплотехника. 2010. Т.32. № 6. С.58-65
5. Андреевко Т.И., Киселёва С.В., Рафикова Ю.Ю., Шакун В.П. К оценке энергетического потенциала органических отходов регионов России//Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 10. С.104-111.
6. Андреевко Т.И., Киселёва С.В., Рафикова Ю.Ю., Шакун В.П. К оценке энергетического потенциала отходов растениеводства: зерновое хозяйство //Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 12. С. 84-95.
7. Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_городов\\_России\\_с\\_населением\\_более\\_100\\_тысяч\\_жителей](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_городов_России_с_населением_более_100_тысяч_жителей)
8. Бюллетени Федеральной службы государственной статистики. Валовые сборы сельскохозяйственных культур по РФ в 2014 году. Части 1-3. Официальный сайт Росстата. Даты размещения информации: 05.03.2015 г., 18.03.2015 г. и 03.04.2015 г.
9. Печатная версия доклада П. Скурихина «Зерновой рынок России: тенденции 2013/2014 гг.» Международная конференция «Российская зерновая неделя: торговля и тенденции» г. Ростов-на-Дону, 25-26 сентября 2013 года. Электронный ресурс: <http://www.apk-inform.com/ru/exclusive/topic/1022268#U34ZG3ZL758>
10. Андреевко Т.И., Киселёва С.В., Рафикова Ю.Ю., Шакун В.П. К оценке энергетического потенциала отходов растениеводства регионов России // Труды 9-ой Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» 21-22 мая 2014 года. Часть 4 «Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. С.401- 406.
11. Из интервью с директором департамента продаж ГК «Содружество» Сергеем Соколовским //Эксперт, № 38 (820), 24 сентября 2012 г.
12. Бюллетень Федеральной службы государственной статистики. поголовье скота в РФ в 2014 году. Официальный сайт Росстата. Дата размещения информации: 28.04.2015 г.

## ПРОБЛЕМЫ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

<sup>1</sup>Афанасьев В.П., <sup>1</sup>Гудовских А.С., <sup>2</sup>Нисимов С.У., <sup>3</sup>Орехов Д.Л., <sup>3</sup>Теруков Е.И.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,  
Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Фонд инфраструктурных и образовательных программ, Москва, Россия;

<sup>3</sup>ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф.Иоффе»,  
Санкт-Петербург, Россия

Характерной особенностью деятельности человечества в начале XXI века является быстрый рост энергопотребления. Одним из самых перспективных экологически чистых возобновляемых источников энергии следует признать солнечную энергетику, обеспечивающую прямое преобразование солнечной энергии в электрическую [1,2]. За последние 20–30 лет темпы роста солнечной энергетики составляли в среднем примерно 25 %. Такой интенсивный рост обеспечивается как за счет расширения производства, так и за счет разработки новых структур и принципов работы фотоэлектрических преобразователей. В России, в связи с запуском ряда крупных проектов по солнечной энергетике, таких как завод ООО «Хевел» по производству 1 млн. тонкопленочных солнечных модулей с эффективностью около 10% в г. Новочебоксарске, потребности в специалистах связаны не только с кадровым обеспечением вновь организованного производства, но и с необходимостью разработки новых фотоэлектрических преобразователей с более высоким КПД, конкурентных на мировом рынке.

Анализ тенденций развития рынка солнечной энергетики показывает, что при сохранении стоимости на кристаллический кремний на современном уровне в ближайшем будущем конкурентно способными будут технологии, обеспечивающие эффективность преобразования солнечного света порядка 20% и выше.

В октябре 2015 года совет директоров РОСНАНО рассмотрел и поддержал новую стратегию компании «Хевел», которая заключается в технологической модернизации завода, увеличении его мощности и развитии направления по строительству и управлению солнечными электростанциями. Технологическая линия завода будет модернизирована под производство солнечных модулей с КПД не ниже 20%, что позволит увеличить годовой объем выпуска продукции на 60%, до 160 МВт.

Одной из наиболее привлекательных технологий изготовления солнечных элементов (СЭ) является НИТ технология (Heterojunction with Intrinsic Thin layer), базирующаяся на формировании гетероперехода при помощи тонких пленок аморфного кремния (a-Si:H), нанесенных на поверхность пластины монокристаллического кремния (c-Si). СЭ, изготовленные по такой технологии, обладают всеми преимуществами классических СЭ на основе кристаллического кремния, включая высокую эффективность, достигающую на сегодняшний день 24,7%, что соответствует уровню рекордных величин для монокристаллического кремния. В тоже время такие СЭ могут быть полностью изготовлены при низких температурах. Неоспоримым преимуществом данной технологии безусловно является тот факт, что высокий показатель КПД, достигается в условиях промышленного производства.

Дополнительными преимуществами этой технологии являются низкий, по сравнению с классическими СЭ на кремнии, температурный коэффициент снижения мощности и низкотемпературный процесс формирования таких структур, что позволяет использовать более тонкие пластины c-Si, и, следовательно, обеспечить более экономный расход материала, что невозможно при использовании высоких температур вследствие деформации пластин c-Si.

Разработка СЭ, выполненных по НІТ технологии, интенсивно ведется во всем мире. Мировым лидером в этой области является Sanyo Electric Co. Эта компания изготовила первый СЭ по технологии НІТ, первой начала промышленное производство солнечных модулей по этой технологии в 1997 году. Большое внимание технологии НІТ уделяется исследовательскими центрами в США (NREL), Германии (Исследовательский центр в Юлихе, Центр Гельмгольца в Берлине HZB, университеты городов Хагена и Ольденбурга, Франции (LPICM, LGEP, CEA) и Италии (ENEA de Portici à Naples). После того как в 2011 году истек срок действия ключевых патентов фирмы Sanyo, работы по этому направлению активно ведутся коммерческими компаниями LG (Корея), Kaneka (Япония), Roth & Rau (Германия) и др.

Ключевыми преимуществами новой технологии являются: создание СЭ с высоким КПД, низкой себестоимостью, высокой стабильностью характеристик.

Основным отличием солнечных элементов (СЭ), изготовленных по технологии НІТ, от классических СЭ на кристаллическом кремнии (с-Si) является наличие собственного слоя аморфного кремния (а-Si:H). Назначение этого слоя: формирование гетероперехода и пассивация дефектов на поверхности с-Si пластин [3], которая необходима для снижения рекомбинации неравновесных носителей через поверхностные состояния. Недостаточная пассивация поверхности с-Si пластин приводит к снижению напряжения холостого хода, что влечет за собой снижение эффективности СЭ. Таким образом, качество пассивации поверхности с-Si пластин является одним из наиболее критических параметров для создания высокоэффективных СЭ на основе НІТ технологии. Оценку качества пассивации производят путем измерения времени жизни неравновесных носителей заряда, величина которого для создания высокоэффективных СЭ должно быть более 1 мсек [4].

В связи с переходом ООО «Хевел» на принципиально новую технологию изготовления СЭ, встал вопрос не только о существенной модернизации производства, но и переподготовке специалистов, знающих новые технологии.

В связи с планируемым преобразованием тонкопленочного производства в линию гетероструктурных солнечных модулей на основе кристаллического кремния ООО «Хевел» и ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе» обратились в Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») организовать при поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ «РОСНАНО» подготовку и переподготовку персонала для перехода на новый вид продукции. Предлагается подготовить и реализовать образовательную программу профессиональной подготовки и переподготовки пилотной группы производственно-технического персонала в количестве 25 человек в области НІТ-технологии в объеме 300-500 часов.

Данное предложение опирается на многолетнее сотрудничество ООО «Хевел» с СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в области разработки и реализации программ опережающей профессиональной подготовки и переподготовки в течение последних пяти лет. В результате этого сотрудничества еще 2011 году в СПбГЭТУ была открыта первая в стране магистерская программа «Солнечная гетероструктурная фотоэнергетика» в рамках направления «Электроника и наноэлектроника». Ежегодно формировались студенческие группы численностью 10 человек, половина из которых были выпускниками Чувашского государственного университета, которые по завершении обучения возвращались в Чувашию. В 2013-2015 годах состоялось три выпуска магистров по новой программе. В настоящее время выпускники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» успешно работают на заводе ООО «Хевел» в г. Новочебоксарске и в НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе в Санкт-Петербурге. Большинство выпускников защитили магистерские диссертации на «отлично», из них восемь человек получили дипломы с отличием. Это говорит о высокой степени

мотивированности обучающихся, основанной на тесной связи теоретического обучения с практической работой на оборудовании НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике (рис.1 и 2).



Рис. 1. Технологическое оборудование ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф.Иоффе» в г. Санкт-Петербурге



Рис.2. Магистры СПбГЭТУ проводят исследования в НТЦ

Учитывая удаленность потенциального заказчика, в СПбГЭТУ внедряются дистанционные образовательные технологии. Применение электронного обучения обеспечивает возможность обучения или повышения квалификации непосредственно на рабочем месте без отрыва от производства. Следует отметить, что в последние годы существенно расширился круг вузов, занимающихся подготовкой кадров по возобновляемым источникам энергии, вследствие чего возрос спрос на повышение квалификации преподавателей по этому направлению. В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» разработан ряд дистанционных образовательных программ, таких как «Тонкопленочная солнечная гетероструктурная фотовольтаика» (в рамках президентской программы повышения квалификации инженерных кадров) и «Технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния» (в рамках пилотного проекта РОСНАНО) [5], которые предполагают следующие виды деятельности:

- интерактивные дистанционные занятия;
- контрольные мероприятия;
- выполнение индивидуальных практических заданий;
- интерактивные виртуальные лабораторные работы с удаленным доступом к оборудованию;
- работа с электронными образовательными ресурсами;
- консультации.

Подготовлен и размещен на сайте Фонда инфраструктурных и образовательных программ в системе электронного обучения Blackboard электронный учебно-методический комплекс для подготовки специалистов для производства тонкопленочных солнечных модулей на основе пленок аморфного и микрокристаллического кремния. Регулярное общение преподавателей с инженерно-техническим персоналом в процессе повышения квалификации благотворно сказывается на уровне их подготовки, обеспечивает углубленное знание предмета.

Учитывая возросший объем работ в образовательной сфере, СПбГЭТУ и НТЦ в

2013 году подписали соглашение о сотрудничестве, целью которого является обеспечение высокого качества профессиональной подготовки и переподготовки специалистов в области тонкопленочной солнечной энергетики и проведение совместных научных исследований. Соглашение существенно расширяет рамки взаимодействия вуза и НТЦ в образовательной, научно-исследовательской деятельности и в развитии инфраструктуры. Например, планируется организация Центра подготовки и переподготовки специалистов по направлению «Тонкопленочная солнечная энергетика» в СПбГЭТУ с развитой лабораторной базой. С этой целью в СПбГЭТУ запущена солнечная электростанция (рис. 3), на базе которой проводится цикл лабораторных работ по исследованию эффективности работы тонкопленочных солнечных модулей в условиях г. Санкт-Петербурга.

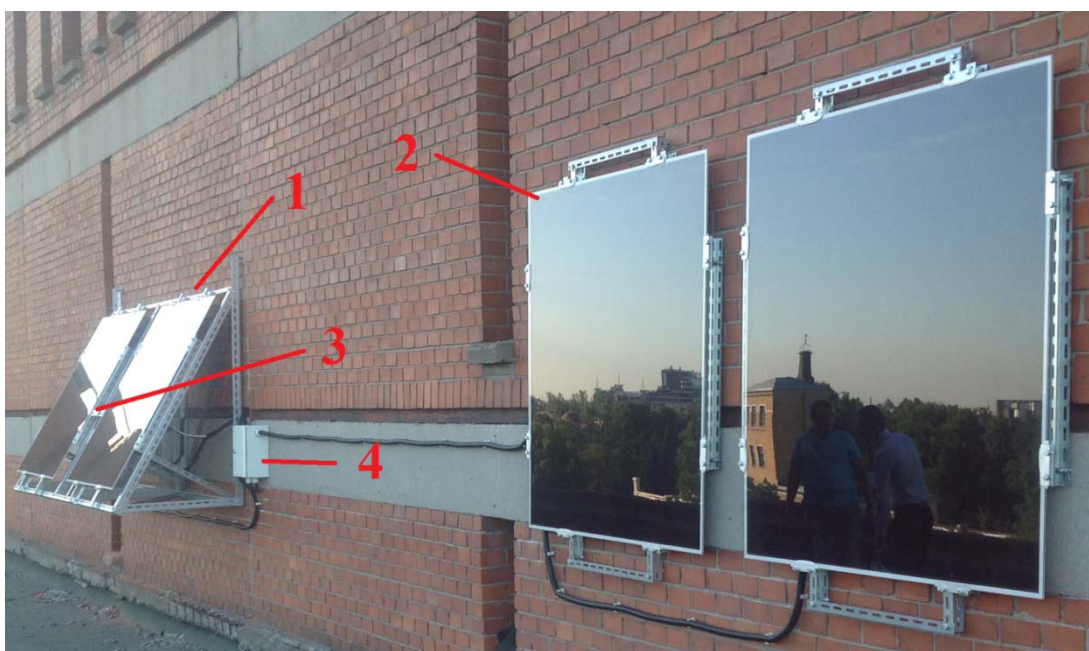


Рис. 3. Лабораторный стенд с солнечными модулями, расположенными на крыше 5 корпуса. 1, 2 – солнечные модули, 3 – датчик солнечной радиации, 4 – шкаф коммутации

Следующим шагом в развитии образовательных программ в области солнечной энергетики является подготовка англоязычной программы по солнечной гетероструктурной энергетике, которая предусматривает проведение всех видов занятий на английском языке. Планируется начать подготовку специалистов в англоязычной группе с 1 сентября 2016 года. Считаем, что знание терминологии и более свободное владение языком в профессиональной области позволит специалистам более оперативно знакомиться с последними разработками, которые, как правило, представлены в англоязычной литературе.

Таким образом, СПбГЭТУ совместно со своими стратегическими партнерами на комплексной основе совершенствует развитие образовательных программ подготовки и переподготовки специалистов для современного производства фотоэлектрических преобразователей и регулярно проводит их адаптацию с учетом новых разработок в области солнечной энергетики.

**Список литературы**

1. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 168 с.
2. Первый Международный форум «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности» (REENFOR-2013) / [www.reenfor.org/](http://www.reenfor.org/).
3. T. Zawada, N. Terada, S. Tsude<et al. High Efficiency a-Si:H/ c-Si heterojunction solar cells. Proc.of 1 st. –WPEC. Hawai. USA. 1994. P. 1219–1226.
4. R. Sinton, A. Cuevas. Contactless determination of current-voltage characteristics and minority-carrier lifetimes in semiconductors from guasi-steady-state photoconductance data. // Appl. Phys.Lett. 1996. Vol. 69. P. 2510–2512.
5. Афанасьев В.П., Коноплев Г.А., Теруков Е. И., Тимофеев А. В. Разработка и апробация модуля ДПО «Технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния» в рамках модели смешанного обучения (e-learning) //Известия МАН ВШ, №2 (60), 2012, С. 90-97.



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ВИЭ DESIGN AND CONSTRUCTION OF RENEWABLE ENERGY POWER PLANTS

**Баделин А.С.**

ООО «Активити», Москва, Россия

**Badelin A.**

“Activity” LLC, Moscow, Russia

В настоящей работе представлены результаты ООО «Активити» по практической реализации проектов электростанций на основе возобновляемых источников энергии на территории Российской Федерации и стран СНГ в период с 2007 по 2015 год включительно. Детально расписаны основные этапы реализации проектов ветроэлектростанций от проведения предварительной оценки ветрового ресурса площадки до строительно-монтажных и пуско-наладочных работ.

**Key words:** renewable energy, wind energy wind farm, wind power plant, wind measurements, resource assessment, wind turbine, environmental impact assessment, feasibility studies, design and construction, solar power plant, small hydro power plant.

Компания «Активити» за неполные девять лет своего существования добилась реально вырабатываемых киловатт часов из того, что в нулевые годы XXI века было только идеями и проектами в сфере возобновляемых источников энергии, особенно в ветроэнергетике.

В сфере солнечной энергетики был реализован проект солнечно-дизельной электростанции в с. Яйлю, республика Алтай, где компания Активити выполнила роль проектировщика. Данная электростанция установленной мощностью 100 кВт, была построена и введена в эксплуатацию.

В сфере гидроэнергетики компания Активити выполнила проектирование Солонешенской малой гидроэлектростанции в с. Солонешное Алтайского края с установленной мощностью 1,2 МВт. Данный проект не был реализован.

Что касается ветроэнергетики, то эта область возобновляемой энергетики является основной для ООО «Активити». Была проведена оценка ветрового ресурса для более чем 150 площадок. Суммарная установленная мощность ветроэлектростанций на этих площадках может составить более 2,5 ГВт. Установлено более 30 ветроизмерительных комплексов (ВИК) как на территории Российской Федерации, так и в сопредельных государствах. Проведены обоснования инвестиций для 17 ВЭС общей установленной мощностью 458 МВт. Разработана проектная документация 8 ВЭС общей мощностью 46 МВт. Выполнены строительно-монтажные работы пяти ВЭС, вторая очередь строительства одной из этих ВЭС недавно завершена и в данный момент ведутся пуско-наладочные работы. Суммарная мощность установленных ВЭС составляет более 2,2 МВт.

ООО «Активити» предоставляет полный комплекс услуг в сфере ветроэнергетики, начиная от первоначальной идеи, заканчивая строительством и введением в эксплуатацию готовых объектов. Рассмотрим подробнее весь спектр услуг.

### **Ветромониторинг**

Ветромониторинг - это проведение инструментальных измерений различных атмосферных параметров, необходимых для ветроэнергетических расчётов. Проведение ветромониторинга необходимо по двум основным причинам. Первая - финансовая, для подтверждения выработки проектируемой ВЭС и, соответственно, дохода от продажи электроэнергии. Это информация, на которую опирается инвестор, принимающий решение о вкладывании средств в реализацию конкретного проекта или кредитная организация, принимающая решение о выдаче кредита под строительство ВЭС. Вторая -



техническая, для производителя ветроэнергетических установок (ВЭУ), который должен определить оптимальную модель ВЭУ для данной площадки с точки зрения нагрузок и выработки электроэнергии. Ветромониторинг проводится в соответствии с международными стандартами, такими как IEC-61400-12 (ГОСТ Р 54418.12.1-2011). Компания «Активити» создала собственное производство решётчатых метеорологических мачт высотой до 80 метров для проведения ветромониторинга.

### **Ветроэнергетические расчёты**

По результатам проведения годового цикла ветромониторинга проводятся расчёты. В первую очередь проводится анализ и оценка качества исходных данных, затем проводится корреляция с данными многолетних измерений. На следующем этапе производится моделирование ветрового ресурса на всей площадке и строятся карты распределения средней скорости ветра, энергии ветра и выработки ВЭУ. Производятся расчёты повторяемости скоростей ветра и эта повторяемость аппроксимируется двухпараметрической функцией Вейбулла, также рассчитывается повторяемость направления ветра и строятся розы ветров, рассчитываются экстремальные скорости ветра, интенсивность турбулентности, вертикальный профиль ветра и другие параметры. Результатом ветроэнергетических расчётов является оценка выработки электроэнергии предполагаемым ветропарком с учётом различных потерь.

### **Выбор площадки размещения ВЭС**

При выборе площадки строительства ВЭС оцениваются следующие основные параметры:

- статус земельных участков;
- наличие ветроэнергетического ресурса;
- условия строительства;
- условия технологического присоединения к энергосистеме;
- транспортная доступность;
- экологические ограничения;
- авиационные требования;
- прочие ограничения.

### **Выбор ВЭУ**

Первоочередным параметром при выборе ВЭУ является соответствие её класса, согласно стандарта IEC-61400-1, таким ветровым характеристикам площадки, как экстремальная скорость ветра, интенсивность турбулентности и т.д. Для российской действительности крайне актуальным является климатическое исполнение ВЭУ. Разновидность одной и той же ВЭУ в стандартном климатическом исполнении (работа при температуре не ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ ) может не окупиться из-за длительных простоев по температурным ограничениям, в отличие от такой же ВЭУ, но в исполнении для холодного климата (cold climate, с увеличенным рабочим диапазоном при температуре до  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже). Помимо вышперечисленных параметров рассматриваются гарантированные производителем кривая мощности ВЭУ и её уровень технической готовности. Эти параметры влияют на оценку выработки ВЭС. Также оцениваются массо-габаритные параметры составных элементов ВЭУ, которые влияют на возможность доставки и монтажа ВЭУ.

### **План размещения ВЭУ**

При размещении ВЭУ на площадке строительства принято руководствоваться следующими принципами:

- максимизация выработки;

- минимизация турбулентности;
- минимизация отклонения потока;
- минимизация уклонов поверхности;
- соблюдение ограничений по размещению вблизи объектов инфраструктуры: здания, дороги, ЛЭП, трубопроводы;
- соблюдение санитарных норм в местах с нормируемыми показателями шума;
- оптимизация строительных работ.

### **Оценка воздействия на окружающую среду**

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) включает в себя оценку воздействия на геологическую, почвенную и водную среды, а также атмосферный воздух и растительный и животный мир. Рассчитываются шумовое воздействие, мелькание тени и визуальное воздействие, вибрация и отходы от строительной деятельности.

### **Обоснование инвестиций**

Одним из важнейших этапов разработки и реализации проекта ВЭС является проведение обоснования инвестиций. На этом этапе проводится оценка окупаемости проекта, для чего в финансово-экономическую модель закладываются данные о расчётной выработке электроэнергии ВЭС, капитальных и операционных затратах, тарифе на электроэнергию и сценарные условия развития экономики, а также кредитные условия в случае использования заёмных средств. В результате расчётов в финансово-экономической модели определяются чистый приведённый доход (ЧПД), внутренняя норма доходности (ВНД), срок окупаемости и дисконтированный срок окупаемости. Общим итогом проведения обоснования инвестиций являются выводы о технической возможности и экономической целесообразности строительства ВЭС. В случае принятия положительного решения о реализации проекта ВЭС следующим этапом является разработка проектно-сметной документации.

### **Проектно-сметная документация**

На данном этапе проводятся инженерные изыскания (геодезические и геологические), разрабатываются проектная и рабочая документации по строительной части (дороги, монтажные площадки, фундаменты, вспомогательные здания и сооружения). Кроме того разрабатываются проектная и рабочая документации по электрической части, которые включают в себя схему выдачи мощности и внутреннюю электрическую часть ВЭС.

Разработанная документация должна пройти Государственную экспертизу и получить необходимые согласования. ООО «Активити» разработана проектная документация для 8 ВЭС, из которых 5 проектов успешно прошли рассмотрение Госэкспертизы, 1 проект получил положительное заключение Главгосэкспертизы России и ещё 2 проекта в настоящий момент находятся на рассмотрении Главгосэкспертизы России. После получения положительного заключения экспертизы могут начинаться строительно-монтажные работы.

### Строительно-монтажные работы



Специалистами ООО «Активити» на текущий момент построено 5 ветроэлектростанций на территории Российской Федерации. Компания обладает всеми необходимыми свидетельствами и сертификатами для проведения полного цикла работ по ветроэнергетике и другим видам возобновляемой энергетики.

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ И НОВЫЕ  
ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВ И ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ  
ENERGY SAVING DRYING TECHNOLOGY AND NEW OPPORTUNITIES FOR  
INCREASING OF POWER EFFICIENCY IN USE OF BIOFUELS**

**Батенин В.М., Ковбасюк В.И., Попель О.С.**

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Российская Федерация

**Batenin V.M., Kovbasyuk V.I., Popel O.S.**

Joint Institute for High Temperature RAS, Moscow, Russia

Термин биотопливо используется здесь не только по отношению к биогазу или жидкому топливу, но и к твердому. И в отличие от ископаемых источников органического сырья, запасы фитомассы возобновляются в результате деятельности высших растений. Ежегодно на нашей планете образуется около 200 млрд. т растительной целлюлозосодержащей биомассы. Биосинтез целлюлозы - самый крупномасштабный синтез в прошлом, настоящем и будущем. И наша задача – максимально эффективно использовать этот резерв в энергетике, сохраняя планету.

Среди других возобновляемых источников энергии преимуществом биотоплива и отходов является значительно большая независимость от климатических и погодных факторов, т.е. их можно использовать при безветрии и в темное время суток, отключая за ненужностью для экономии. Но хотя ресурсы этого топлива безграничны, они не всегда легко доступны или удобны, например при транспортировке. Их ключевым недостатком является, как правило, высокая влажность, затрудняющая эффективное использование при сжигании и, особенно, при газификации. А именно газификация, как показывает мировой опыт исследований применения биотоплив, необходима для эффективного замещения ископаемого топлива на существующих тепловых электростанциях (как показано в Лахти, Финляндия [1]) или для использования в перспективных энергетических установках с газовыми турбинами. Притом традиционная сушка исключительно энергоемка – на испарение влаги надо затратить энергию, эквивалентную нагреву пара этой влаги до 1200°C. Этот процесс трудно интенсифицировать, существует опасность возгорания, а отходы могут загрязнять атмосферу токсичными или дурно пахнущими веществами.

В ОИВТ РАН эти проблемы предложено решать за счет энергосберегающей сушки перегретым паром под давлением. При этом пар испаряемой влаги отводят на привод тепловой машины для производства полезной работы, что компенсирует расход тепла на испарение влаги. Физические принципы традиционной сушки в сравнении с энергосберегающей иллюстрирует  $T-s$  диаграмма для пара осушаемой влаги на рис.1.

Здесь  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  – соответственно температуры окружающей среды, испарения влаги при обычной сушке, в камере сушки перегретым паром и дополнительного перегрева пара. Линии нагрева и испарения пара  $a-b-b'$  относятся к традиционной сушке,  $a-c-c'-d$  к сушке перегретым паром с его перегревом, и производству работы -  $d-e$  (условно, как в изэнтропическом процессе). Источником нагрева являются продукты сгорания или иной источник тепла с температурой выше линии нагрева (не показано). Если мы рассматриваем обычную сушку, пар влаги сбрасывается в атмосферу, и энергия теряется. В камере замкнутого объема пар находится под давлением, существенно выше атмосферного, и при его выводе в тепловую машину оказывается возможным получить полезную работу – этот процесс тождественен широко используемому в энергетике циклу Ренкина. При этом решаем задачу защиты паровой турбины от загрязнений, а также шлюзования материала на входе и выходе камеры сушки.

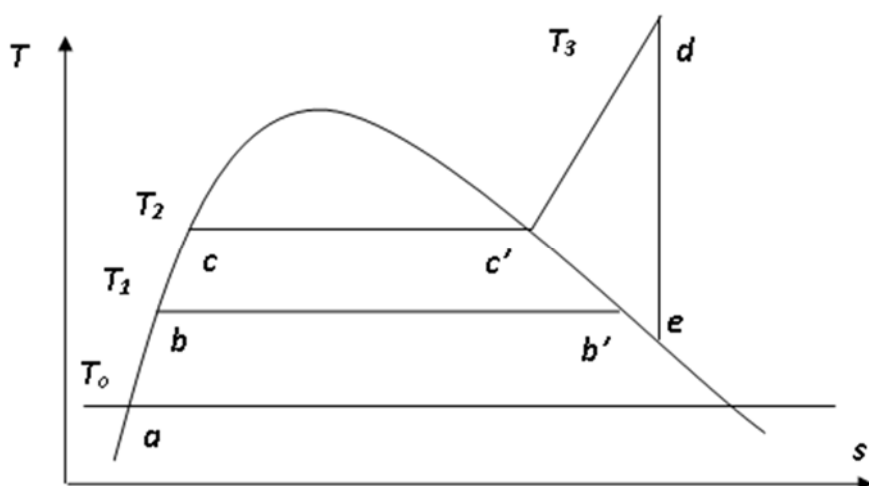


Рис. 1.  $T$ - $s$  диаграмма рабочего процесса выпаривания влаги из сырья

Паровая турбина здесь является тепловой машиной для производства работы. Детальный расчет позволяет оптимизировать цикл и определить, что при давлениях свыше 1,6 МПа работа цикла обеспечит 25% превращения теплоты «на сушку» в полезную работу. Пар на выходе конденсируют, а неконденсируемые компоненты удаляют на сжигание. Таким образом осуществляется сушка биотоплив или отходов, при том, что неприятные или опасные компоненты отходов могут быть контролируемо удалены на сжигание. Что дает такая сушка. Во-первых, пар как теплоноситель с высокой теплоемкостью позволяет интенсифицировать сушку, а повышенное давление – уменьшить габариты проточных элементов. Можно увеличить температурные перепады и не опасаться возгораний, добиваясь практически полного удаления влаги, а также поднять температуру до уровня торрефикации (torrefaction), заходя даже в область низкотемпературного пиролиза. Только на этом можно сэкономить время и деньги, поставляя на рынок осушенные и гидрофобизированные высококалорийные чипсы и пеллеты, и не занимаясь транспортировкой балластной влаги. Во-вторых, за этой сушкой стоит решение другой, исключительно важной и актуальной проблемы утилизации антропогенных отходов, в том числе ТБО с хлорорганикой, осадка сточных вод и т.д. Мир уже имеет опыт решения такого рода проблемы через сушку отходов в США, в Нью-Йорке, что позволило поднять температуру на мусоросжигающем заводе до уровня выше требований Европейской Комиссии на бездиоксиновое сжигание за счет роста теплотворной способности отходов. Сегодня уровень температур оптимизируют также за счет сжигания дополнительного топлива. Это не уменьшает выбросов в атмосферу, и не экономично. Эту проблему решает новая сушка, но хотя она известна с 1976 г (патент США 3946495), лишь за счет усовершенствований, разработанных в ОИВТ РАН, можно реально рассчитывать на ее использование взамен применяемых экстенсивных методов. Но подобные же проблемы стоят и в агросекторе – сушка для использования или удаления отходов животноводства или переработки урожая. Заметим, что всюду выше в качестве тепловой машины рассматривалась паровая машина. Это не лучшее решение, особенно при использовании установок сушки небольшого масштаба, где собственно к.п.д. производства энергии не так важен, как возможность мобильности, простоты обслуживания, защиты окружающей среды. В прошлом для сельскохозяйственных нужд использовалось такое устройство, как локомобиль – паропоршневая машина, не требовательная к топливу. Она могла бы быть установлена вблизи мест сбора/получения сырья (лесосеки). Это актуально!

Наконец, и это представляется очень важным, главным предназначением новой сушилки можно считать газификацию биотоплив. Прежде всего, появляется универсальная возможность использования чистого топлива практически для любых целей, при том что большая часть поллютантов может быть удалена еще на стадии получения синтез-газа за счет связывания их абсорбентами (в частности,  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{CaO}$  в пылевом реакторе или в реакторе кипящего слоя), а пыль удалена «мокрой» очисткой или в циклоне. Впрочем, биотопливо характеризуется низким содержанием серы и других загрязнений. Что же касается отходов, то в испытаниях по улавливанию серы даже очень высоких концентраций в продуктах сгорания в диапазоне температур  $700 - 900^\circ\text{C}$  при атомарном соотношении  $\text{Ca/S}$  порядка и выше 2 остаточное содержание  $\text{SO}_2$  всегда оставалось существенно ниже допустимых норм ЕС [2]. Высушенное и диспергированное топливо вместе с паром после сушилки при давлении, характерном для камеры сушилки, отправляют в газификатор, и это не только упрощает проблему вывода топливной массы из камеры

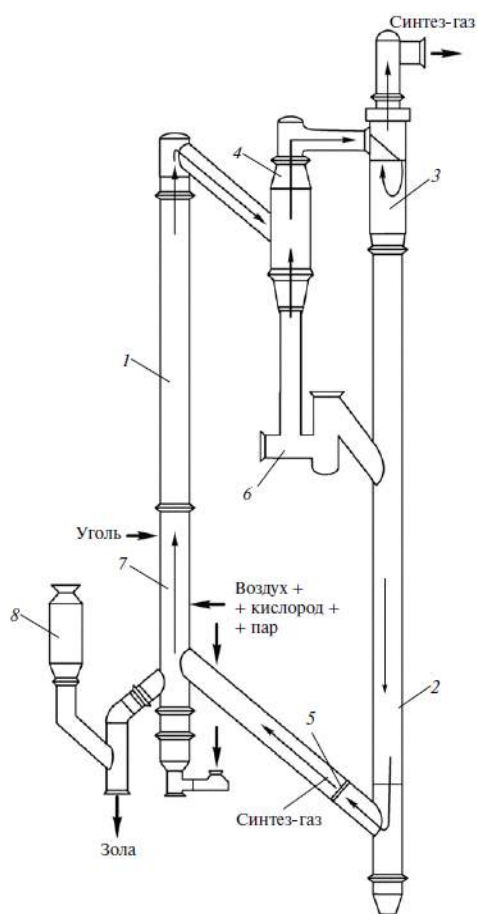


Рис 2. Схема газификатора с восходящим потоком несущего газа

### Список литературы

1. Lahti Energia Oy, Лахти (Финляндия)
2. Батенин В. М., Ковбасюк В. И., Кретова Л. Г., Медведев Ю. В. Пылевой реактор обжига известняка. Теплофизика высоких температур, 2015, том 53, № 2, с. 301–311
3. Батенин В. М., Ковбасюк В. И. О технологии эффективного использования влажных топлив. Теплофизика высоких температур, 2015, том 53, № 3, с. 475–477
4. Ольховский Г.Г. Газификация твердых топлив в мировой энергетике (обзор), Теплоэнергетика 2015 №7, с. 3-11

**ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МИРА ДО 2020  
ГОДА  
DEVELOPMENT FORECAST OF RENEWABLE ENERGY IN THE WORLD UNTIL  
2020**

<sup>1</sup>Безруких П.П., <sup>2</sup>Безруких П.П. (мл),  
<sup>1</sup>д.т.н., зав. отделением ОАО «ЭНИН»  
<sup>2</sup>инж., старший менеджер ПАО «Лукойл»

<sup>1</sup>Bezrukikh P.P., Bezrukikh P.P.(Jr)  
Ph.D., Head of department of Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (ENIN).  
<sup>2</sup>Senior manager, Power projects prospective development, OIL COMPANY "LUKOIL"

Определены темпы развития отдельных отраслей возобновляемой энергетики в мире и ведущих странах мира за период 2004-2014 годы, оценен ход реализации и вероятность достижения целевого показателя программы по ветроэнергетике «Wind Force-10», показана роль отдельных стран в использовании отдельных видов ВИЭ, предложены три сценария развития возобновляемой энергетики на период до 2020 года, определена доля возобновляемой энергетики в общем производстве электроэнергии в мире на базе сценариев мирового энергетического агентства.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, ветровые, геотермальные, солнечные и гидравлические электростанции, биоэнергетика, темпы роста, сценарии развития, доля ВИЭ, энергетическая стратегия.

**Keywords:** renewable energy, wind, geothermal, solar and hydroelectric power plant, bioenergy, growth rates, development scenarios, the share of renewable energy, energy strategy

Близится конец 2015 года, и близится «момент истины» для многих прогнозов экономического развития, в том числе и прогнозов развития отдельных видов возобновляемой энергетики. Тем не менее, авторы взяли на себя смелость предложить прогноз по возобновляемой энергетике на 2015 и 2020 годы. Тем более, что в распоряжении находится достаточно достоверная база о фактических темпах развития по всем значимым видам возобновляемой энергетики (ВЭ) мира за период 2004-2014 годов. К сожалению, в нашем прогнозе отсутствует вклад России из-за отсутствия достоверной статистики и планов реализации постановлений правительства РФ по развитию ВЭ.

Вызывает сожаление факт, что в энергетической стратегии России (ЭС-2035) вопрос развития возобновляемой энергетики представлен в «завуалированном виде». Так в приложении 6 «Значение индикаторов реализации Стратегии», предусматривающем увеличение производства энергоресурсов по сравнению с 2014 годом, представлен индикатор «Увеличение производства энергоресурсов за счет ВИЭ и атомной энергии на 12 % к 2020 году и 65 % к 2035 году». Таким образом о прогнозируемой доле ВИЭ можно только догадываться.

### **Существующее состояние использования ВИЭ в мире**

Численные и динамические характеристики возобновляемой энергетики мира за период 2004-2014 годов представлены в таблице 1.

Основной вклад в общую величину установленной мощности электростанций на базе ВИЭ (657 ГВт) вносят три вида электростанций: ВЭС – 370 ГВт, ФЭС – 177 ГВт и БиоЭС – 93 ГВт.

Безусловным лидером по темпам является установленная мощность фотоэлектрических станций (ФЭС) – 52,5%. Достаточно неожиданно после десятилетнего «затишья» начали развиваться солнечные тепловые электростанции башенного типа и с параболоцилиндрическими концентраторами, в результате темп роста мощности этих станций составил 27,1 %. Это понятно, если принять во внимание довольно низкую стартовую величину – 0,4 ГВт.

Темпы роста мощности ВЭС (22,65 %) в значительной мере определяет темп роста электрических станций на базе ВИЭ (22,7 %).

Таблица 1 Динамика показателей возобновляемой энергетики мира [1]

Показатель	Значение показателя по годам			Средне-годовой процент роста за период 2004-2014 гг.*	Увеличение в 2014 году к 2013 году, %*
	2004	2013	2014		
Новые годовые инвестиции, млрд. дол. США	45	232	270	19,62	16,37
Мощность на базе ВИЭ (без ГЭС), ГВт	85	560	657	22,7	17,32
Мощность на базе ВИЭ (с ГЭС), ГВт	800	1578	1712	7,9	8,49
Мощность ГЭС, ГВт	715	1018	1055	3,97	3,63
Мощность на базе биомассы, ГВт	<36	88	<b>93</b>	9,95	5,68
Производство электроэнергии на базе биомассы, ТВт·ч	227	396	433	6,67	9,34
Мощность геотермальных электростанций, ГВт	8,9	12,1	12,8	3,7	5,78
Мощность фотоэлектрических электростанций, ГВт	2,6	138	<b>177</b>	<b>52,5</b>	<b>28,26</b>
Мощность солнечных тепловых электростанций, ГВт	0,4	3,4	4,4	27,1	29,41
Мощность ветростанций, ГВт	48	319	<b>370</b>	<b>22,65</b>	<b>15,99</b>
Мощность солнечных водонагревательных систем, ГВт (тепл.)	86	373	406	16,79	8,85
Годовое производство этанола, млрд. литров	28,5	87,8	94	12,67	7,06
Годовое производство биодизеля, млрд.литров	2,4	26,3	29,7	28,6	12,93
Количество стран, с установленными целями по ВИЭ	48	144	164	13,07	13,89

\* Расчеты авторов

С достаточно высоким темпом (16,79 %) росла мощность водонагревательных систем в основном на базе солнечных коллекторов различного типа.

Последний столбец табл.1, характеризующий темпы роста в 2014 году к 2013 году, отражает бесспорные факты, что по мере увеличения объема любого вида продукции темпы роста с какого-то момента начинают падать, хотя абсолютная величина прироста продолжает расти, и что кризисные явления в экономике разных стран отрицательно влияют и на темпы роста возобновляемой энергетики. За небольшим исключением темпы роста в 2014 году снизились. Но именно эти данные, на наш взгляд, должны лечь в основу прогнозов на 2020 годы.



Однако следует иметь в виду, что в текущем 2015 году и последующие годы на темпы роста возобновляемой энергетики начинают оказывать существенное влияние много разнонаправленных факторов, поэтому авторы считают, что в 2015 году должен наступить «момент истины», т.е. подтвердить или опровергнуть темпы роста 2014 года, а значит и прогнозы как сторонников, к которым относятся авторы статьи, так и противников развития возобновляемой энергетики.

В пользу оптимистических прогнозов говорят в частности данные таблицы 2, в которой указаны первых пять стран по различным индикаторам использования ВИЭ. Спектр стран достаточно широк: страны северные и южные, малые и большие, богатые и бедные, развитые и развивающиеся. Но неизменно присутствуют страны, определяющие мировую экономику: Китай, США, Индия, Германия, Япония, Бразилия. Таблица 2 – единственная таблица по ВИЭ в международных обзорах, где упоминается Россия, имея в виду развитие большой гидроэнергетики.

В целом, в мире доля различных источников при производстве электроэнергии на конец 2014 года выглядит следующим образом [1]: ископаемое (истощаемое) топливо – 67 %, атом – 10,2 %, возобновляемые источники – 22,8%, в том числе: ГЭС – 16,6 %; ветер, солнце, биомасса, ГеоЭС и прочие ВИЭ – 6,2 %. Среди «новых» (т.е. без ГЭС) ВИЭ лидирует ветер – 3,1 %. Прирост доли ВИЭ в энергобалансе фактически зависит от трех технологий: ветроэнергетика, фотоэнергетика и использование биомассы.

С другой стороны, развитие ветроэнергетики, фотоэнергетики и использование биомассы, в основном, определяется семью странами мира, в которых мощность всех электростанций на базе ВИЭ на конец 2014 года составила: Китай (153 ГВт), США (105 ГВт), Германия (86 ГВт), Италия (32 ГВт), Испания (32 ГВт), Япония (31 ГВт), Индия (31 ГВт), Доля указанных стран в общей установленной мощности (657 ГВт) составляет 71,5 % или 470 ГВт.

### **О прогнозе развития ветроэнергетики мира**

Одним из ранних и долгосрочных прогнозов в области ветроэнергетики является Программа «Wind Force – 10», целью которой ставилась задача достижения к 2020 году производства электроэнергии на ВЭС в объеме 10 % от общего производства. Программу в 1997 году разработали Европейская ветроэнергетическая ассоциация (EWEA), форум по энергетике и развитию Дании (Forum for Energy and Development) и международная организация Гринпис (Greenpeace International). Поставленная задача повлекла необходимость для авторов Программы разработки прогноза общего производства электроэнергии в мире по годам и на 2020 год (27351 ТВт·ч), годового производства на ВЭС (2966,6 ТВт·ч) и установленной мощности (1209,5 ГВт). Для достижения этого показателя за оставшиеся 6 лет средний темп роста должен быть не менее 21,8%, что явно нереально.

Международное Энергетическое Агентство в 2011 году опубликовало прогнозы в форме 3-х сценариев, по которым общее производство электроэнергии должно составить в 2020 году: по первому сценарию – 27881 ТВт·ч, по второму – 28569 ТВт·ч и по третьему – 26535 ТВт·ч. Как видим, данные первого сценария практически совпали с прогнозом программы «Wind Force – 10». В сценариях МЭА доля ВИЭ, а не только ветра, составила соответственно **8,4 % - 7,2 % -10,1 %** от общего производства электроэнергии в мире в 2020 году.

По данным статистики МЭА (IEA) производство электроэнергии в мире увеличилось с 18138,3 ТВт·ч в 2005 году до 23300 ТВт·ч в 2013 году. Это означает, что среднегодовой прирост производства электроэнергии за этот период равняется **3,2 %** к предыдущему году. С учётом этого показателя авторами предложены 3 сценария роста производства электроэнергии исходя из трех значений среднегодового прироста: а) 3,0 % б) 2,6 % в) 2,0 %. Тогда производство электроэнергии в мире в 2020 году достигнет:

по сценарию «а» - 28656 ТВт·ч, по сценарию «б» - 27886 ТВт·ч и по сценарию «в» - 26764 ТВт·ч. Эти показатели довольно близки к значениям, полученным в сценариях МЭА.

Для определения доли ВИЭ, в том числе и энергии ветра, в общем производстве электроэнергии в мире, авторами были проведены расчеты, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 2. Пять первых стран по установленной мощности и производству электроэнергии и тепла на базе ВИЭ на конец 2014 г. [1]

Индикаторы	1	2	3	4	5
	<b>Электроэнергия</b>				
Установленная мощность электростанций на базе ВИЭ (включая ГЭС)	Китай	США	Бразилия	Германия	Канада
Установленная мощность электростанций на базе ВИЭ (без ГЭС)	Китай	США	Германия	Испания/ Италия	Япония Индия
Установленная мощность на человека (среди первых 20 стран, без ГЭС)	Дания	Германия	Швеция	Испания	Португалия
Производство электроэнергии на биомассе	США	Германия	Китай	Бразилия	Япония
Мощность геотермальных электростанций	США	Филиппины	Индонезия	Мексика	Новая Зеландия
Мощность ГЭС	Китай	Бразилия	США	Канада	Россия
Производство электроэнергии на ГЭС	Китай	Бразилия	Канада	США	Россия
Солнечные тепловые электростанции с концентраторами	Испания	США	Индия	Объед. Арабские Эмираты	Алжир
Мощность фотоэлектрических станций	Германия	Китай	Япония	Италия	США
Мощность ФЭС на человека	Германия	Италия	Бельгия	Греция	Чешская Республика
Мощность ветроэлектрических станций (ВЭС)	Китай	США	Германия	Испания	Индия
Мощность ВЭС на человека	Дания	Швеция	Германия	Испания	Ирландия
	<b>Тепло</b>				
Мощность солнечных водонагревательных коллекторов	Китай	США	Германия	Турция	Бразилия
Мощность солнечных водонагревательных коллекторов на человека	Кипр	Австрия	Израиль	Барбадос	Греция
Мощность геотермальных тепловых станций	Китай	Турция	Япония	Исландия	Индия
Мощность геотермальных тепловых станций на человека	Исландия	Новая Зеландия	Венгрия	Турция	Япония

Таблица 3 Результаты расчета прогноза развития возобновляемой энергетики мира до 2020 года (без ГЭС)

Вид электростанций	2010 г. (факт)			2015 г.				2020 г.			
	Мощность, ГВт	Киум*	Производство электроэнергии, ТВт·ч	Кгод, % 2014/2013	Мощность, ГВт	Киум*	Производство электроэнергии, ТВт·ч	Кср.год, % 2020/2015	Мощность, ГВт	Киум*	Производство электроэнергии, ТВт·ч
Ветроустанци и (ВЭС)	198	0,197	341	16,0	429	0,25	939	10	690	0,25	1511
								13	790		1730
								15	863		1890
Фотолэктрические станции (ФЭС)	40	0,12	42	30,0	230	0,12	242	15	462	0,13	526
								20	572		651
								25	702		799
Солнечные тепловые электростанции (CSP)	1,1	0,15	1,4	20	5	0,15	6,5	10	8	0,15	10,5
								12	8,8		11,5
								15	10		13
Электростанции на биомассе (БиоЭС)	64,9	0,55	313	6	98	0,53	456	3	113	0,53	524
								5	125		580
								10	158		733
Геотермальные электростанции (ГеоЭС)	11	0,75	72,3	6	13,5	0,75	88,5	3	16	0,75	105
								5	17		112
								10	22		144
Итого	315		769,7		775,5		1728		1289		2676
									1513		3084
									1755		3579

\* Киум – коэффициент использования установленной мощности

На момент составления нашего прогноза международное энергетическое агентство опубликовало данные по установленной мощности электростанций на базе основных видов ВИЭ, в том числе и ГЭС в 2004-2014 годах.

Конечные данные по прогнозу определяются двумя показателями: коэффициентом использования установленной мощности (Киум) и коэффициентом среднегодового прироста мощности (Кср.год), определение которых произведено на базе отчетных данных за 2010, 2013 и 2014 годы.

Прогноз на 2015 год составлялся на базе Киум и Кср.год в 2014 году по отношению к 2013 году по каждому виду ВИЭ с небольшой коррекцией в сторону уменьшения темпов.

Прогноз на 2020 год составлен с учетом темпов развития использования каждого вида ВИЭ для трех вариантов: медленного развития, развития как обычно и ускоренного развития. При этом за основу принимались значения коэффициентов в 2015 году.

Определение доли ВИЭ при трех вариантах прогнозов развития производства электроэнергии всеми электростанциями и трех вариантах производства электроэнергии электростанциями на базе ВИЭ превращается в многовариантную задачу.

В первом приближении проведем оценку доли производства электроэнергии на базе ВИЭ по средним значениям. Среднее значение производства электроэнергии в мире по трем вариантам равно **27768 ТВт·ч**. Среднее значение производства электроэнергии на базе ВИЭ по трем вариантам равно **3113 ТВт·ч**. Следовательно, с большой вероятностью доля ВИЭ в производстве электроэнергии (без ГЭС) составит **11,2 %**.

Максимальная доля ВИЭ соответствует наибольшему значению производства на базе ВИЭ (**3579 ТВт·ч**) и наименьшему значению общего производства электроэнергии (**26764 ТВт·ч**) и равна **13,4** процента.

Минимальная доля ВИЭ соответствует обратному соотношению соответственно **2676 ТВт·ч** и **28656 ТВт·ч** и равна **9,3 %**.

Доля ветра в общем производстве электроэнергии составит: минимальная – **5,3 %**, средняя – **6,1 %**, максимальная – **7 %**.

### Выводы

1. Отдельные отрасли возобновляемой энергетики мира (солнечная энергетика и ветроэнергетика) развиваются темпами, превышающими темпы роста производства электроэнергии традиционными электростанциями и темпы развития мировой экономики в 5-10 и более раз.

2. Установленная мощность электростанций на базе ВИЭ на конец 2014 года достигла **657 ГВт**, что составляет около **11 %** от общей установленной мощности порядка **5800 ГВт**, а доля производства электроэнергии на базе ВИЭ составила в 2014 году порядка **6,2 %** (доля ветра **3,1%**).

3. По прогнозу, составленному авторами, в 2020 году доля возобновляемой энергетики в общем производстве электроэнергии в мире увеличится до **9÷13 %**, в том числе ветроэнергетики до **5÷7 %**.

### Список литературы

1. REN21. Renewable Energy Policy Network or the 21-st Century. Renewables. Global Status Report. 2004 ÷ 2015.
2. П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл), С.В. Грибков, Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание / под общей редакцией П.П. Безруких. - М.: «ИнтехэнергоИздат», «Теплоэнергетик», 2014, -304 С.

## О ТЕХНИЧЕСКОМ РЕГЛАМЕНТЕ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ABOUT THE TECHNICAL REGULATION FOR ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES

**Безруких П.П.<sup>1</sup>, Мальцева А.В.<sup>1</sup>, Рустамов Н.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ОАО ЭНИН имени Г.М. Кржижановского, Москва, Россия)

<sup>2</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия)

**Bezrukikh P.P.<sup>1</sup>, Maltseva A.V.<sup>1</sup>, Rustamov N.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>G.M. Krzhizhanovsky OJSC ENIN, Moscow, Russia

<sup>2</sup>M.V. Lomonosov MSU, Moscow, Russia

**Key words:** technical regulation, standardization, national standards, renewable energy sources, technical committees

Базовым нормативным документом национальной системы технического регулирования в Российской Федерации является Федеральный Закон от 27 декабря 2002 года №184-ФЗ «О техническом регулировании» (с последующими дополнениями и изменениями), который стал отправной точкой создания новой, современной системы, учитывающей, требования действующих международных положений и правил. Для обеспечения выполнения указанного закона организовано Федеральное Агентство по техническому регулированию и метрологии (Указ Президента Российской Федерации от 20 мая 2004 года №649 «Вопросы структуры федеральных органов исполнительной власти»). Постановление Правительства Российской Федерации от 17 июня 2004 г. № 294 «О Федеральном Агентстве по Техническому регулированию и метрологии» и распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 ноября 2004 года №1421-р «О технических регламентах» определили важнейшие задачи и направления деятельности Федерального Агентства (ныне «Ростехрегулирование» или «Росстандарт»).

Техническое регулирование - правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных и добровольных (двухуровневая система) требований к продукции или к связанным с ними процессам [1].

В соответствие с Федеральным Законом «О техническом регулировании» система технического регулирования призвана обеспечить интересы и требования государства в продвижении товаров и услуг, стимулировании экономического развития, защиты жизни и здоровья граждан, окружающей среды, материальных ценностей, достижения энергоэффективности и ресурсосбережения

Техническое регулирование осуществляется в трех направлениях:

- техническое законодательство;
- стандартизация;
- проверка соответствия.

Развитие такой современной инновационной отрасли как возобновляемая энергетика нуждается в обеспечении мерами государственного технического регулирования, что проявляется в разработке новых нормативно-правовых и методических документов, образующих основу национальной системы технического регулирования в этой области.

В системе действующих нормативных правовых документов государственного технического регулирования в Российской Федерации нет технического регламента по возобновляемой энергетике, поэтому основными нормативными документами регулирования развития энергетике на возобновляемых источниках являются стандарты различного уровня действия – региональные, национальные и стандарты организаций. Существуют всего несколько региональных (межгосударственных) стандартов по

возобновляемой энергетике, поэтому наиболее действенными в Российской Федерации являются национальные стандарты [2].

Стандарт - документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения [3].

С принятием нового Федерального Закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ "О стандартизации в Российской Федерации", нормативно-правовая база работ по стандартизации, ранее включающая упомянутый закон «О техническом регулировании» и Распоряжение Правительства РФ от 24.09.2012 № 1762 «Об одобрении

концепции развития национальной системы стандартизации РФ на период до 2020 года», получила существенное дополнение.

Первые работы по стандартизации в области возобновляемой энергетики были начаты в 90-е годы прошлого столетия и на сегодняшний день в Российской Федерации действуют 87 национальных стандартов в области возобновляемой энергетики (без учета стандартов по традиционной гидроэнергетике). В числе этих стандартов есть переводные и адаптированные к условиям страны международные стандарты. Упомянутые 87 стандартов не могут обеспечить полноценное государственное регулирование во всех направлениях энергетики на возобновляемых источниках. Следовательно, разработка национальной системы стандартов для этой отрасли энергетики находится в начальной стадии. Но работы в этой сфере неуклонно активизируются, и количество стандартов увеличивается возрастающими темпами. Следует отметить, что к настоящему времени часть стандартов устарела и существует необходимость их переработки [2].

Основной организационной структурой Федерального Агентства по техническому регулированию и метрологии, призванной формировать и реализовывать национальные программы по стандартизации являются технические комитеты Ростехрегулирования, каждая из которых имеет свою область деятельности и свою тематику.

После реорганизации специализированного ТК 330 «Процессы, оборудование и энергетические системы на основе возобновляемых источников энергии» приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 сентября 2014 г. № 1322 «О реорганизации технических комитетов по стандартизации в области электроэнергетики» поле деятельности этого ТК передано ТК 016 «Электроэнергетика», кроме того стандарты по разным видам ВИЭ можно продвигать через ТК 179 «Твердое минеральное топливо», ТК 349 «Менеджмент отходов». Но отметим, что ТК 349, имея отдельную обширную тему по вопросам управления отходами, эпизодически предлагает темы стандартов по использованию ВИЭ; ТК 179 только в последние годы обратился к теме ВИЭ, представив к утверждению переводные стандарты, а активность ТК 016 невозможно оценить, поскольку деятельность этого технического комитета в сфере использования ВИЭ только начинается и работы по стандартизации в электроэнергетике – основной области деятельности ТК, достаточно многочисленны и требуют больших усилий. Таким образом, даже организационные работы по стандартизации в области использования ВИЭ находятся в состоянии, нуждающемся в неотложных мерах по улучшению [4,5,6].

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» национальные стандарты создаются для поддержания технических регламентов – основных нормативных правовых документов технического законодательства, представляющих собой Федеральные Законы обязательного исполнения.

В последние годы развивается практика создания технических регламентов в

статусе технических регламентов Таможенного союза и после их утверждения принимаются как технические регламенты стран участников сообщества независимых государств СНГ.

Выше было отмечено, что в настоящее время нет технического регламента по возобновляемой энергетике, но создание такого регламента в связи с активным развитием энергетики на возобновляемых источниках становится назревшей и актуальной задачей.

В настоящее время разработан проект технического регламента по возобновляемой энергетике и настоящий доклад призван привлечь внимание энергетического сообщества и государственных органов к тому, что решение о принятии такого регламента практически назрело и ожидает своего принятия.

Проект регламента разработан сотрудниками ОАО ЭНИН имени Г.М.Кржижановского при участии сотрудников НИЛ ВИЭ географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова с учетом мнений многих ученых и энергетиков, занимающихся вопросами технического регулирования в этой отрасли.

Объектом регламента являются станции, установки и устройства на базе возобновляемых источников энергии и их компоненты, предназначенные для применения в энергетике.

Регламент разработан в целях защиты жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества; охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений; предупреждения действий вводящих в заблуждение приобретателей, в том числе потребителей; обеспечения энергетической эффективности и ресурсосбережения

Требования Регламента распространяются на электрическое и тепловое оборудование отечественного и зарубежного производства, поставляемого на российский рынок.

В Регламенте устанавливаются минимально необходимые требования к станциям, установкам и устройствам на базе ВИЭ с учётом риска причинения вреда, обеспечивающие:

- безопасность излучений;
- биологическую безопасность;
- взрывобезопасность;
- механическую безопасность;
- пожарную безопасность;
- термическую безопасность;
- электрическую безопасность;
- электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;
- промышленную безопасность.

Регламент предусматривает наличие доказательств соответствия станций, установок и устройств на базе ВИЭ требованиям, обеспечивающим надёжное функционирование станций, установок и устройств на базе ВИЭ в составе объектов энергетики и электрических и тепловых установок потребителей.

Регламент устанавливает порядок и схемы подтверждения соответствия вышеуказанным требованиям.

Требования Регламента направлены на достижение энергетической эффективности и ресурсосбережения в энергетической отрасли.

Проект регламента содержит следующие разделы и шесть приложений:

1. Общие положения
2. Объекты технического регулирования
3. Основные понятия, термины и определения

4. Положение для размещения станций, установок и устройств на базе ВИЭ на рынке
5. Ввод в эксплуатацию
6. Требования по безопасности
7. Требования к информации для потребителей
8. Применение стандартов
9. Идентификация станций, установок и устройств на базе ВИЭ
10. Подтверждение соответствия
11. Методические положения (руководства), содержащие правила и методы исследований (испытаний) и измерений
12. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований регламента
13. Переходные положения

Приложение 1. Перечень станций, установок и устройств на базе ВИЭ, в отношении которых установлены требования регламента

Приложение 2. Перечень оборудования и комплектующих изделий, используемых в станциях, установках и устройствах на базе ВИЭ, в отношении которых требования установлены в других специальных регламентах

Приложение 3. Требования безопасности, относящиеся к станциям, установкам и устройствам на базе ВИЭ

Приложение 4. Процедуры подтверждения соответствия требованиям регламента

Приложение 5. Состав и описание схем сертификации

Приложение 6. Правила проведения подтверждения соответствия станций, установок и устройств на базе ВИЭ

Принятие регламента позволит придать структурную завершенность системе нормативных правовых и методических документов технического регулирования развития энергетики на возобновляемых источниках, обеспечивая государственное управление отраслью.

### Список литературы

1. Белобрагин В.Я. Основы технического регулирования. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2008, 424 стр.
2. Рустамов Н.А. Стандартизация для развития энергетики на возобновляемых источниках // Стандарты и качество, № 6(936), 2015, стр. 38-40.
3. Белобрагин В.Я., Зажигалкин А.В., Зворыкина Т.И. Основы стандартизации. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2015, 464 стр.
4. Рустамов Н.А. Вопросы технического регулирования развития возобновляемой энергетики в России // Энергетик, № 2, 2014, стр.48-49
5. Рустамов Н.А. Техническое регулирование в биоэнергетике России // Мир стандартов, 2014, № 6, стр. 56-59
6. Рустамов Н.А. О систематизации национальных стандартов в энергетике возобновляемых источников // Мир стандартов, 2014, № 7, стр.60-63



## РАЗРАБОТКА ДЕШЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ Si С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Бобыль А.В., Теруков Е.И.**

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Анализ тенденций развития рынка солнечной энергетики показывает, что конкурентно способными будут солнечные элементы (СЭ) с удельной стоимостью существенно менее 0.5 \$/Вт. В качестве перспективных технологий можно выделить, во-первых, использование монокристаллического кремния (с-Si) с эффективностью не менее 20%. Недостатком является высокая стоимость пластин с-Si, до 50 % стоимости СЭ. Поэтому и во вторых, актуальными являются технологии менее эффективных СЭ, но не критичных к стоимости сырья, например, двухкаскадные и трехкаскадные тонкопленочные СЭ, либо они же в комбинации с использованием дешевых мультикристаллических подложек, слоев.

Существенные преимущества среди технологий по первому направлению имеет НІТ технология (Heterojunction with Intrinsic Thin layer), базирующаяся на формировании гетероперехода при помощи тонких пленок аморфного кремния (a-Si:H), нанесенных на поверхность пластины с-Si. Эти СЭ обладают всеми преимуществами, в том числе классических СЭ на основе с-Si, включая рекордные на сегодняшний день лабораторные эффективности для с-Si и НІТ 24,7 и 25, 6 %, соответственно. Важно, что НІТ СЭ изготавливаются с использованием низкотемпературных процессов (плазмохимии). Это позволяет снизить толщину пластины до 100 мкм, которая является критической для классических СЭ. Так как на этих толщинах высокотемпературное формирования в них р-n- перехода (диффузия и ионная имплантация) приводит к их деформации, что затрудняет сборку СЭ в модули. Лидерами этих работ являются Panasonic, Meyer Burger, TetraSun. ФТИ им. А.Ф. Иоффе и « НІЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе» на промышленно-экспериментальном оборудовании разработаны СЭ по НІТ-технологии с эффективностью более 22 % с использованием пластин размером 156x156 мм.

Относительно второго направления необходимо заметить, что на первый взгляд очевидным путем является использование дешевых мультикристаллических подложек. Однако реально, их удельная стоимость уменьшается не более 5% по сравнению с классическими СЭ на основе с-Si. Ключевым здесь является наличие операции механической нарезки подложек Si. Технологически более сложным и перспективными является использование тонких мультикристаллических Si слоев, нанесенных на механически прочные подложки (стекло, керамика), поскольку для эффективной работы СЭ достаточно толщины кремния порядка 10 мкм. Существует несколько подходов формирования Si слоев:

- лазерная кристаллизация слоев аморфного Si (Institute Silicon Photovoltaics, Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Kekuléstr, Germany) [1];

- использование стеклянной подложки, на которой размещают пластины кристаллического кремния (40 мкм), и сборка полномасштабного модуля (Interuniversity Microelectronics Centre, IMEC, Leuven, Belgium ) [2];

- получение слоев Si термическим распылением предварительно отожжённых порошков металлургического Si (SINTEF MK, Forskningsveien 1, 0314 Oslo, Norway) [3];

- спин-офф технология с использованием слоя пористого Si и эпитаксии на нем слоев S, толщиной менее 50 мкм. (Fraunhofer Institute for Solar Energy systems (ISE), Freiburg, Germany) [4].

Для примера, последний вариант в принципе может быть реализован в промышленном масштабе, а стоимость эпитаксиального слоя кремния может быть

уменьшена в 10 раз. Процесс включает: -электрохимическое формирование на Si пластине слоя пористого Si; -водородный отжиг; -перераспределение водорода в пористом слое с формированием на поверхности сплошного слоя, а на интерфейсе - пористого слоя, -эпитаксиальный рост слоя, его отделение от подложки и перенос на прочную основу.

В ФТИ им.А.Ф. Иоффе с 80-х годов проводятся работы по исследованиям аморфных гидрогенизированных полупроводников, по разработке технологий солнечных элементов на их основе. Часть работ проводилась в тесной кооперации с иностранными партнерами из Германии (Hahn-Maitner Institut, ), Франции ( Ecole Polytechnique), Oerlikon Solar (Швейцария), Next Energy (Германия), Meyer Burger (Швейцария) и др. В « НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе » на промышленно-экспериментальном оборудовании разработан тонкопленочный микроморфный СЭ с эффективностью более 10 % размеров 110x130 см, разработан НИТ СЭ с эффективностью более 22 % с использованием пластин размером 156x156 мм. Ниже кратко изложены результаты этих исследований.

### **Исследования тонкопленочных микроморфных СЭ.**

Одним из актуальных и важных направлений исследований СЭ на основе пленок  $\alpha$ -Si:H и  $\mu$ c-Si:H является изучение процессов фотоиндуцированной (световой) деградации [5]. Это явление тесно связано с эффектом снижения фотопроводимости при длительном освещении (эффект Стаблера-Вронского).

В качестве объекта исследования были выбраны двухпереходные ФП со структурой  $\alpha$ -Si:H/ $\mu$ c-Si:H, изготовленные по модифицированной технологии Oerlikon Solar Ltd (Швейцария) [5]. Размеры тестовых образцов составляли 100 × 100 мм, в которых методом лазерного скрайбирования выделялась фотоактивная часть размером 60 × 66 мм с площадью открытой поверхности 37,95 см<sup>2</sup>, состоящая из 10 фотоэлектрических ячеек равной площади, соединенных последовательно. Проводились исследования фотоиндуцированной деградации при температурах 298, 328 и 353 К (Рис. 1.).

Длительность светового воздействия на СЭ на рисунках отображена в приведенном к потоку 1 X масштабе времени. При приведении временного масштаба учитывалось, что динамика изменения параметров ФП пропорциональна квадрату интенсивности облучения, т.е. при облучении светом с эквивалентной интенсивностью 5 X, скорость световой деградации увеличивается в 25 раз, а при интенсивности 10 X – в 100 раз.

Из рисунка 1 видно, что для СЭ, облучавших при температуре 298 К насыщение фотоиндуцированной деградации достигалось после 200 часов облучения в приведенном масштабе времени. При этом нет существенного различия для образцов, облучавшихся светом интенсивностью 1 X и 10 X. Для образца, облучавшегося при температуре 328 К насыщение достигалось после 60 часов облучения. Деградация образца, облучавшегося при 353 К, не наблюдалась. Полученные экспериментальные данные были использованы для оценки величины изменения концентрации свободных (оборванных) связей после насыщения фотоиндуцированной деградации от температуры, при которой она протекала.

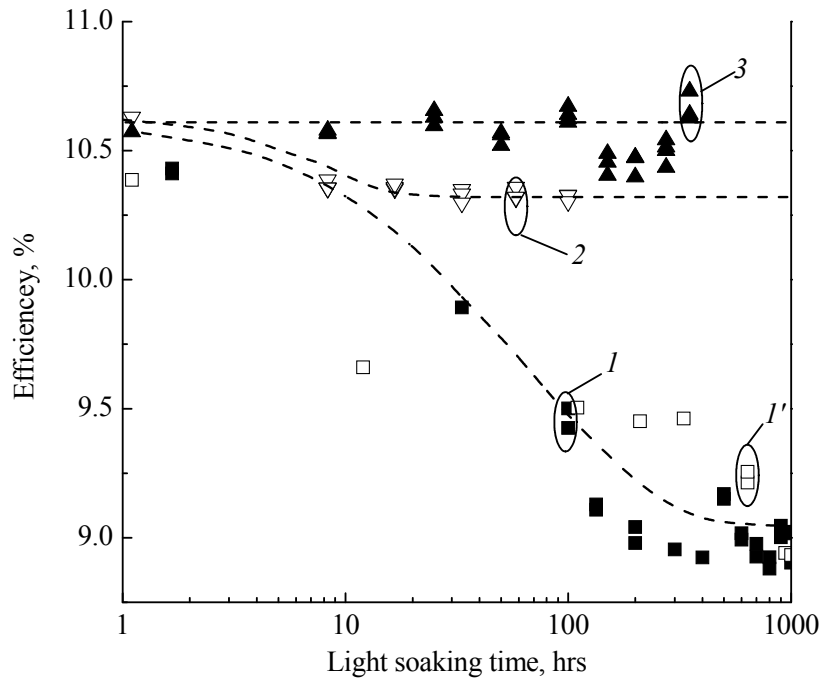


Рис. 1. КПД исследованных  $\alpha$ -Si:H/ $\mu$ c-Si:H ФП в процессе фотоиндуцированной деградации в приведенном масштабе времени при различных температурах и интенсивностях облучения: 1,1' – 298 К; 2 – 328 К; 3 – 353 К. Символы 1 соответствуют данным, полученным при интенсивности облучения 10 X, а 1' – интенсивности 1 X.

Вольтамперные характеристики СЭ аппроксимировались формулой, учитывающей последовательное соединение десяти двухпереходных однопериодных ячеек и преобладание рекомбинационного тока в ФП с p-i-n структурой:

$$V = \frac{20kT}{q} \ln \left[ \frac{(I_{ph}^{\alpha-Si} - I)(I_{ph}^{\mu c-Si} - I)}{(I_r^{\alpha-Si} I_r^{\mu c-Si})} + 1 \right] - IR, \quad (1)$$

где  $V$  – напряжение ФП;  $I$  – его ток;  $I_{ph}^{\alpha-Si}$ ,  $I_r^{\alpha-Si}$  и  $I_{ph}^{\mu c-Si}$ ,  $I_r^{\mu c-Si}$  – плотности фототоков и рекомбинационных токов  $\alpha$ -Si:H и  $\mu$ c-Si:H субэлементов, соответственно;  $R$  – последовательное сопротивление ФП;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $q$  – элементарный заряд.

Было показано, что деградация  $\mu$ c-Si:H субэлемента по фототоку является более низкой по сравнению с  $\alpha$ -Si:H субэлементом. Была рассчитана энергия активации, обеспечивающая изменение коэффициента при увеличении температуры от 298 до 328 К, составившая  $E_a = 0.68$  эВ. Полное подавление фотоиндуцированной деградации в слое  $i$ - $\alpha$ -Si:H наблюдается при низких температурах,  $\sim 345$  К. В рамках модели предполагается, что большая доля водорода находится в полупроводнике в виде метастабильных комплексов Si-H-H-Si. Образование свободных связей происходит из-за разрыва слабой связи Si-Si при непосредственной близости к ней метастабильного комплекса Si-H-H-Si. Следом за разрывом слабой связи Si-Si разрушается метастабильный комплекс, и образуются пара свободных связей и пара гидрогенизированных связей Si-H. При высоких температурах ( $> 345$  К) происходит обратный процесс – залечивание дефектов.

## Исследования НІТ СЭ.

### 1. Оптимизация параметров НІТ СЭ.

Улучшение эксплуатационных характеристик СЭ является актуальной задачей успешного развития солнечной энергетики. Эффективность современных гетеропереходных тонкопленочных солнечных элементов – НІТ СЭ, изготовленных на основе монокристаллического кремния, значительно превышает 20 %. Так, в [6] сообщается о создании НІТ–элементов с КПД, равным 25,6 % в условиях АМ1.5. Однако, согласно оценкам, сделанным в [7], максимальное теоретическое значение эффективности кремниевых фотопреобразователей при отсутствии концентрации солнечного света составляет около 30 %. Для достижения предельных показателей КПД, очевидно, необходимо интенсифицировать исследования, направленные на оптимизацию параметров полупроводниковых структур ФЭП.

Нами предложен подход к расчету оптимальных параметров НІТ СЭ [8], ключевой особенностью которых является низкая скорость рекомбинационных процессов по сравнению с прямозонными полупроводниками. Показано, что при сравнительно небольших концентрациях основных носителей заряда  $N_d$  ( $\sim 10^{15}$  см<sup>-3</sup>) концентрация избыточных носителей заряда может быть сравнимой или большей  $N_d$ . В этом случае величина КПД  $\eta$  не зависит от  $N_d$ . При более высоких значениях  $N_d$  зависимость  $\eta(N_d)$  определяют две противоборствующие тенденции. Одна из них способствует росту величины  $\eta$  с увеличением  $N_d$ , а другая, связанная с рекомбинацией Оже, ведет к уменьшению  $\eta$ . Было определено оптимальное значение  $N_d \sim 2 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, при котором величина  $\eta$  такого элемента максимальна. Показано, что  $\eta_{\max}$  на 1.5 – 2 % превышает значение  $\eta$  при  $10^{15}$  см<sup>-3</sup>.

### 2. Экспериментальные исследования НІТ СЭ.

Экспериментальные исследования проводились на образцах, структура которых изображена на рис. 2 [9]. Уровень легирования монокристаллической кремниевой подложки и время жизни носителей заряда при рекомбинации Шокли-Рида-Холла соответственно равны  $N_d = 10^{15}$  см<sup>-3</sup> и  $\tau_{SR} \approx 1.5$  ns. Площадь прибора составляла около 4.34 см<sup>2</sup>. Исследуемый образец размещался в криостате на терморегулируемом основании, обеспечивающем контролируемое изменение температуры в диапазоне от 80 К до 420 К. Измерения нагрузочных ВАХ СЭ проводились в условиях облучения постоянным световым потоком от имитатора солнечного излучения класса ААА (имитатор SS – 80АА) с шагом по температуре 20К. В результате измерений были получены температурные зависимости тока короткого замыкания  $I_{sc}$ , напряжения холостого хода  $V_{oc}$ , фактора заполнения  $FF$  и максимальной выходной мощности  $P_{max}$ . (рис. 3).

В широком температурном интервале от 80 до 420 К измерены температурные зависимости фотоэлектрических характеристик гетеропереходных (p)a-Si/(i)a-Si:H/(n)c-Si солнечных элементов на основе монокристаллического кремния. Напряжение холостого хода ( $V_{oc}$ ), фактор заполнения ( $FF$ ) вольт-амперной характеристики (ВАХ) и максимальная выходная мощность ( $P_{max}$ ) достигают предельных значений при 200 – 250 К, на фоне монотонного роста тока короткого замыкания в диапазоне температур от 80 К до 400 К. При более низких температурах происходит их уменьшение. Теоретически обосновано, что снижение показателей фотоэлектрического преобразования энергии при нагреве структуры от 250 К до 400 К связано с экспоненциальным ростом собственной проводимости. При температурах ниже 200 К обнаружено изменение формы ВАХ, приводящее к падению  $V_{oc}$ . Обсуждены возможные причины уменьшения  $V_{oc}$ ,  $FF$  и  $P_{max}$ .

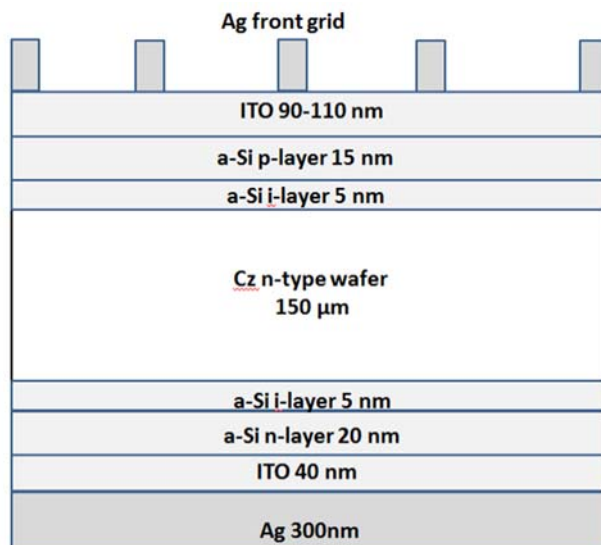


Рис. 2. Схематическое изображение НИТ – СЭ.

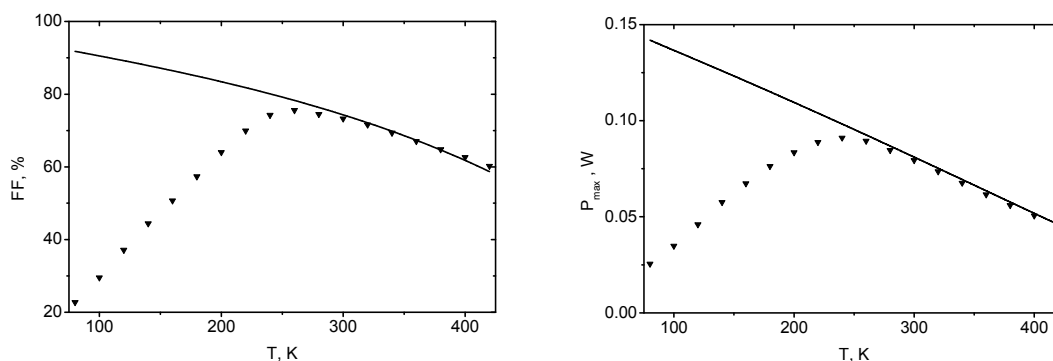


Рис. 3. Температурные зависимости фактора заполнения (FF) ВАХ и максимальной выходной мощности. Точки – эксперимент, линия – теория.

После достижения температурного максимума при дальнейшем охлаждении СЭ наблюдается появление явно выраженного перегиба на ВАХ, приводящего к снижению  $V_{oc}$  и  $FF$  (см. рис. 3), и как следствие к падению  $P_{max}$ . Одна из причин спада  $V_{oc}$  связана с включением при низких температурах туннельного рекомбинационного тока. О существенной роли туннельного рекомбинационного тока, свидетельствует, в частности, форма ВАХ при температурах ниже 180 К, соответствующая вольт-амперным характеристикам гетеропереходов, приведенных в [10]. На понижение  $FF$  и  $P_{max}$  влияет еще и рост последовательного сопротивления структуры при низких температурах, связанный с увеличением контактного сопротивления [11].

### 3. Поиск перспективных комбинаций.

Был проведен анализ возможности создания тандемных гетеропереходных тонкопленочных НИТ СЭ с эффективностью фотопреобразования выше, чем в лучших образцах однопереходных НИТ структур [12]. Вследствие малых времен жизни носителей заряда и высокой степени компенсации использование аморфного Si в тандемных НИТ СЭ не может обеспечить рекордные показатели КПД. Определены ключевые параметры материала широкозонного р–n-перехода, расположенного с фронтальной стороны структуры тандемного СЭ, позволяющие достичь эффективность фотопреобразования выше 25% в условиях AM1.5. Было показано, что для  $V_{oc} = 0.775V$  максимальный КПД не превышает 25%, т. е. преимущество тандемного НИТ элемента перед одиночным

практически отсутствует. Значения  $\eta > 25\%$ , можно достичь при  $V_{oc}$ , равных 0.98, 1.09 и 1.2V, и временах жизни носителей заряда  $\tau_{SR} - 10^{-10}$ ,  $10^{-9}$  и  $10^{-8}$  s соответственно, причем величина  $J_{sc}$  должна быть выше

$15^{-19} \text{mA/cm}^2$ . Поиск подходящего материала с характеристиками, обеспечивающими высокие значения КПД СЭ, является актуальной задачей. Возможно, он будет получен синтезом тройных или четверных полупроводниковых соединений. По величине  $E_g$  и значениям времен жизни  $\tau_{SR}$  перспективными представляются СЭ на основе перовскитов.

Таким образом, для разработки дешевых высокоэффективных солнечных элементов на основе Si с использованием плазмохимических технологий необходимо использование дешевых мультикристаллических подложек. Перспективными является использование тонких мультикристаллических Si слоев, нанесенных на механически прочные подложки (стекло, керамика), поскольку для эффективной работы СЭ достаточно толщины кремния порядка 10 мкм. Возможным является создания тандемных гетеропереходных тонкопленочных НТ СЭ с эффективностью фотопреобразования выше, чем в лучших образцах однопереходных НТ структур (>25 %). Высокие значения КПД на основе Si, вероятно, будут получены по технологии тройных или четверных полупроводниковых соединений.

Работа поддерживается проектом Минобрнауки №14.607.21.0075, RFMEFI60714X0075.

### Список литературы

1. S. Kühnappel, N.H. Nickel, S. Gall, M. Klaus, C. Genzel, B. Recha, D. Amkreutz. Thin Solid Films 576 (2015) 68–74
2. [http://www.imec-in.in/in\\_en/careers/phd/energy/advanced-ultra-thin-crystalline.html](http://www.imec-in.in/in_en/careers/phd/energy/advanced-ultra-thin-crystalline.html)
3. [http://cordis.europa.eu/result/rcn/53211\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/53211_en.html)
4. N. Milenkovic, M. Drießen, E. Gust, S. Janz, S. Reber. Energy Procedia 55(2014), p.552.
5. В.М. Емельянов, А.В. Бобыль, Е.И. Теруков, О.И. Честа, М.З. Шварц. Письма в ЖТФ, 2013, том 39, вып. 20, с.40.
6. K. Masuko, M. Shigematsu, T. Hashiguchi et al. IEEE Journal of Photovoltaics, 4 (6), 1433, (2014)
7. W. Shockley, H. J. Queisser. J. Appl. Phys., 32, 510 (1961).
8. А.В. Саченко, Ю.В. Крюченко, В.П. Костылев, И.О. Соколовский, А.С. Абрамов, А.В. Бобыль, И.Е. Панайотти, Е.И.Теруков. Метод оптимизации параметров гетеропереходных фотоэлектрических преобразователей на основе кристаллического кремния. Письма ЖТФ, 2015, послана в печать.
9. А.В. Саченко, Ю.В. Крюченко, В.П. Костылев, Р.М. Коркишко, И.О. Соколовский, А.С. Абрамов, А.В. Бобыль, И.Е. Панайотти, Е.И.Теруков, А.С. Титов, М.З. Шварц. Исследование влияния температуры на характеристики гетеропереходных солнечных элементов на основе кристаллического кремния. Письмо в ЖТФ, 2015.
10. Donnelly J.P., Milnes A.G.// Proc. IEEE. 1966.V. 113. P. 1468-1476.
11. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices, John Wiley and Sons, 2007.
12. А.В. Саченко, Ю.В. Крюченко, А.В. Бобыль, В.П. Костылев, Е.И. Теруков, Д.А. Богданов, И.Е. Панайотти, И.О. Соколовский, Д.Л. Орехов. Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 10, с.42.

**СОЗДАНИЕ АССОЦИАЦИИ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ  
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ И ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В ЦЕЛОМ, КАК  
ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ СЕГМЕНТОВ ЗЕЛЁНОЙ ЭКОНОМИКИ, В ТОМ  
ЧИСЛЕ «ЗЕЛЁНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ», С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ БИОРЕСУРСОВ**

**Бугаенко Н.И.**

Представитель ТП «Биоэнергетика» в Восточной Сибири, Президент Восточно-Сибирской ассоциации биотехнологических кластеров, Красноярск, Россия

В усложнившейся международной ситуации обеспечение устойчивого развития огромной территории в условиях снижения численности населения при неразвитой инфраструктуре усложнилось. Но эта ситуация предоставила России шанс ускоренного развития отечественной научно-технологической и производственной базы биоэкономики в целом и биоиндустрии в частности при опоре в значительной мере на свои возможности. При всём широком спектре возобновляемых источников энергии (ВИЭ), одной из самых доступных и понимаемых для российского менталитета отдалённых и изолированных территорий является энергия разноотраслевой биомассы. Необходимость и целесообразность её использования диктуется не только экономической, но и экологической привлекательностью для бизнеса. Это было подчёркнуто в выступлении Президента РФ В.В. Путина 29.09.15 года на 70-й сессии Генеральной ассамблеи ООН. *«Среди проблем, которые затрагивают будущее всего человечества, – и такой вызов, как глобальное изменение климата. Мы заинтересованы в результативности климатической конференции ООН, которая состоится в декабре в Париже. В рамках своего национального вклада к 2030 году планируем ограничить выбросы парниковых газов до 70–75 процентов от уровня 1990 года», «Речь должна идти о внедрении принципиально новых природоподобных технологий, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и позволяют восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой. Это действительно вызов планетарного масштаба», «Нам необходимо объединить усилия и прежде всего тех государств, которые располагают мощной исследовательской базой, заделами фундаментальной науки».*

Это выступление было продолжением его личного положительного отношения к этой важнейшей экологической проблеме и способам её решения. Именно В.В. Путин подписал Распоряжение за №1-р от 08.01.09 г. в отношении ВИЭ, и он же подписал комплексную Программу развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года («БИО-2020»).

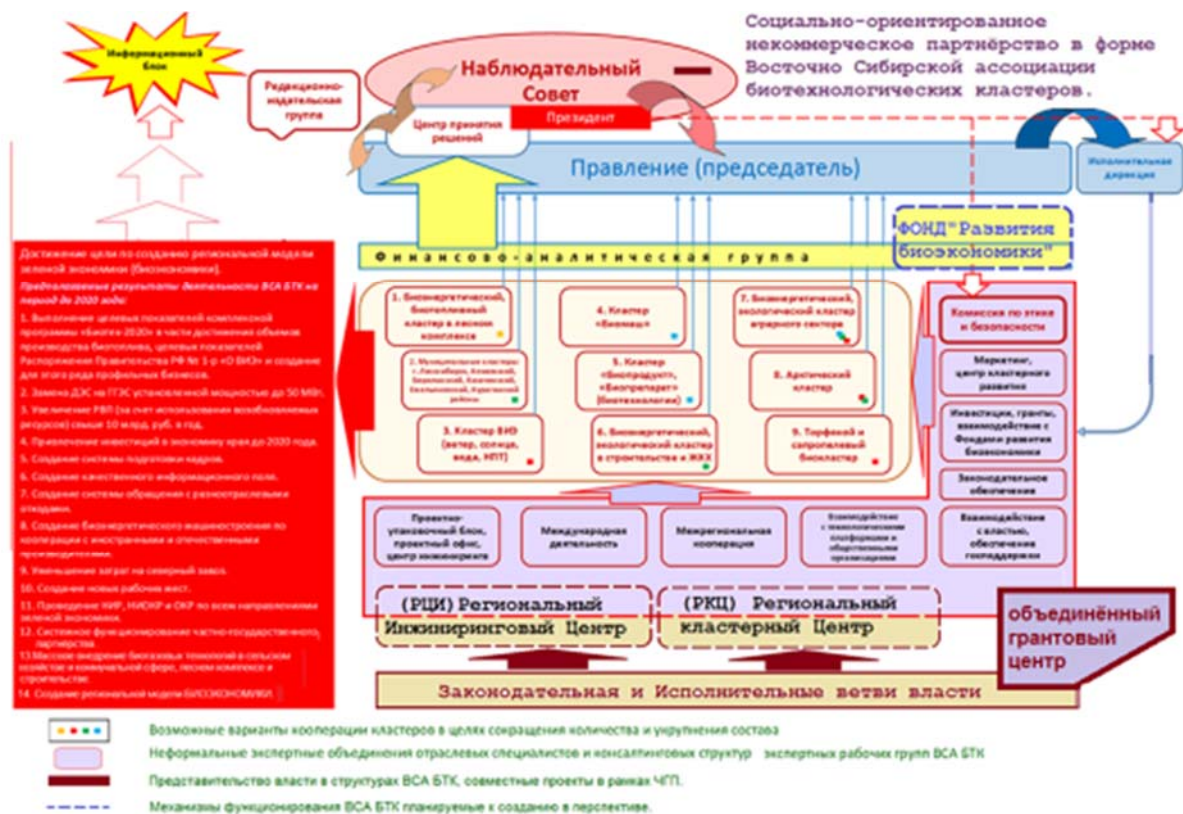
Программа «БИО-2020» не имеет аналогов в современной истории России. По своему масштабу и значению для страны она может быть сравнима с атомным и космическим проектами прошлых лет. Ожидаемый результат выполнения Программы – решение актуальных социально-экономических проблем страны в целом и регионов в частности, что в свою очередь повысит мировую конкурентоспособность страны. По своему разноотраслевому характеру и предназначению Программа сравнима с планами пятилеток, а ряд постановлений Правительства РФ предоставляет механизмы её реализации. Так Постановление Правительства РФ за №779 от 31.07.15 года не только подтвердило правильность нашего развития по кластерному типу, но и определило конкретные параметры промышленных кластеров и объёмы государственной поддержки для участников этих кластеров. В Постановлении особая роль отведена внутренней и межрегиональной кооперации, внедрению научных разработок, их капитализации, созданию новых профессий и подготовке кадров.

Красноярский край в этой работе занимает достойное место и лидерские позиции по ряду направлений в разных отраслях. Эти достижения основаны на умении красноярцев объединяться в своих устремлениях для решения конкретных проблем.

Особую важность представляют возможности биотехнологий в условиях географических, климатических, сырьевых и демографических особенностей нашей территории.

Тема рационального использования природных ресурсов в Красноярском крае развивается с начала 2000-х и на сегодняшний день получила понимание практически всех участников жизнеобеспечения и социально-экономического развития края.

Наряду с решением стратегических проблем рационального и полного использования природных ресурсов, министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края и другие профильные министерства большое внимание уделяют взаимодействию с профильными общественными и бизнес структурами, а также федеральными структурами, участвующими в реализации Программы развития Биотехнологий в РФ на период до 2020 года.



В декабре 2014 года в Восточной Сибири появилось новое некоммерческое сообщество, объединяющее на первом этапе свыше ста участников и выполняющее функционал «Единого окна» и «Лифта на федеральный и муниципальные уровни» в частно-государственном партнёрстве по выполнению задач, поставленных программой Биотех-2020.

Это объединение складывалось более десяти лет и получило название Восточно-Сибирская ассоциация биотехнологических кластеров (ВСА БТК).

В сфере использования возобновляемых ресурсов, включая обращение с отходами, кластерный подход наиболее эффективен. Наши кластеры – это объединение усилий участников проекта какой-либо отраслевой направленности для запуска нового промышленного производства. К примеру, в аграрном секторе отходы жизнедеятельности домашних животных могут быть не только продуктом,



загрязняющим окружающую среду, но и полезным сырьевым ресурсом, из которого можно извлекать в газ, получать энергию и органические удобрения прямого применения или использовать как компонент сложных органоминеральных удобрений для улучшения плодородия почв.

В этой связи в настоящее время формируется Агробиокластер, в котором объединены сельхозтоваропроизводители и промышленники.



Вторым по готовности является «Биотопливный Кластер», который включает в себя производителей различных видов биотоплива, производителей биоэнергетического оборудования, экспортёров, строителей, коммунальные структуры, науку, образовательные учреждения и общественные формирования.

Третий кластер «Экострой» имеет своей целью применение не только всего нового и энергоэффективного в малоэтажном домостроении, но и внедрение новой идеологии строительства синхронно с формированием новой психологии потребителей рынка жилья.

Планируется формирование «Торфяного кластера», для создания которого уже сформирован Консорциум из пяти (на данный момент) участников. Кластер имеет целью создание в России сегментов Торфяной отрасли «нового поколения».

Важную, а зачастую основную роль в этой работе отводится частно-государственному партнерству (ЧГП). В нашем регионе эта работа уже начала приносить свои плоды. Силами трёх институтов и ВСА БТК выигран федеральный конкурс на создание Инжинирингового центра, в течении трёх лет этими и другими участниками ВСА БТК выиграны конкурсы на получение девяти грантов.

В регионе сложилась уникальная ситуация, когда в решении вопросов, связанных с разноотраслевыми биотехнологиями, практически отсутствуют обычные российские проблемные отношения власти и бизнеса. Более того, в разрабатываемую стратегию социально-экономического развития Красноярского края на период до 2030 года темы, направления и конкретные проекты, связанные с биотехнологиями, включаются в отраслевые разделы и в разделы по макрорайонам.

Этого успеха мы смогли достигнуть в рамках частно-государственного партнерства при активном сотрудничестве с Технологическими платформами. Таких платформ на сегодняшний день более двадцати, но наиболее активно на рынке биотехнологий и использования возобновляемых ресурсов работает ТП «Биоэнергетика», которая не только является экспертной площадкой для частно-государственного партнерства федерального и регионального уровней, но и инициировала создание Евразийской биотехнологической платформы.

По словам президента ассоциации, край уже в течение нескольких лет активно использует возобновляемые природные ресурсы в разных отраслях экономики края.

В Красноярском крае на сегодняшний день в рамках разработанного Минприроды и экологии проекта программы по развитию биоэнергетики в лесном комплексе можно отметить активность Бирилюсского, Кежемского, Емельяновского, Берёзовского районов, в аграрном секторе – Сухобузимского, Козульского, Северо-Енисейского, Богучанского, Курагинского и других районов.

Край определил для себя ряд целевых показателей, наиболее ярким из которых является намеченный объём производства пеллет и других видов твёрдого биотоплива. В 2020 году этот объём должен достигнуть около 3 млн. тонн в год, что будет вкладом в объём 18 млн. тонн в год, определённых Программой Биотех-2020. Опережающими темпами развивается биоэнергетическое машиностроение, что в свою очередь активно формирует внутренний рынок биотоплива. Только одна компания ZOTA производит и продаёт свыше 1000 бытовых котлов, использующих биотопливо, в год. Всего компания, являясь российским лидером, делает свыше 20 тысяч угольных котлов и около 10 тыс. электрических.

Мощным обещает стать биогазовое направление. На сегодня в стадии завершения биогазовая установка, построенная компанией «Сангилен+» по итальянской технологии. ВСА БТК совместно с Кировскими, Ленинградскими и Крымскими партнёрами планирует строительство нескольких крупных биогазовых комплексов в рамках «Агробиокластера», основной целью которого предполагается вывод на российский рынок нового продукта из ряда ОМУ (органических удобрений). Как было выше указано, значительный сегмент занимают технологии переработки ТБО.

Особая роль отводится формированию качественного информационного поля, начало которому было положено ещё в 2005 году в виде проведения ряда тематических конференций. Следующим этапом стало объединение информационных площадок всех основных профессиональных и отраслевых общественных структур. Для этого в 2011 году было подписано Соглашение о создании Объединённой комиссии по биотехнологиям и возобновляемым ресурсам. В настоящее время наша ассоциация, которая создавалась на основе Соглашения, проводит целевые мероприятия в формате рабочих совещаний на красноярских площадках шести отраслевых форумов, включая Красноярский Экономический Форум.

Для биотехнологий такой площадкой определился Международный биотехнологический форум Биокиров-2015, который превращается в основное российское биотехнологическое мероприятие. В рекомендации Форума Биокиров-2015 были внесены ряд предложений, в том числе:

1. Активизировать и синхронизировать законодательскую деятельность в регионах для обобщения опыта, конкретных результатов и формирования российской законодательной базы «зелёной экономики».

2. Для достижения целевых показателей программы БиоТех-2020 в части производства пеллет в объёме 18 млн. тн. к 2020 году, рекомендовать Правительству РФ принятие специальных тарифов на перевозку экспортных объёмов пеллеты, что может увеличить ВВП только по одному показателю на 1,5 трлн. руб. к 2020 году.

3. Рекомендовать Госдуме РФ принять ряд законодательных мер, ужесточающих экологическую дисциплину с одновременным стимулированием комплексного решения проблемы обращения с отходами регионов в целом и бизнеса в частности.

4. Всем участникам рынка биотехнологий и использования всего спектра возобновляемых природных ресурсов синхронизировать и координировать свои действия с целью минимизации и даже исключения дублирования технологических предложений, неэффективной межрегиональной и внутриотраслевой конкуренции. Для

этого развивать основные межрегиональные информационно –практические экономические форумы.

Красноярский край прилагает большие усилия в деле развития биотехнологий и тем не менее для региона достойным примером для подражания является Кировская область, республика Татарстан, Чувашия, где местные власти понимая важность использования возобновляемых природных ресурсов приняли и реализуют комплексные программы по развитию биотехнологий.

## АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Чернов Д.А.

Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический институт»

### Введение

Одним из существенных факторов развития распределенных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) является определение взаимного влияния параметров различных генерирующих, передающих и потребляющих энергоустановок на режим локальной энергетической системы (энергоузла). В настоящее время существует достаточно большое количество расчетных данных об эффективности использования установок на основе ВИЭ в составе генерирующих источников локальных энергосистем. Оценки эффекта замещения гарантирующих дизельных энергоустановок (ДЭУ) колеблются от 15% до 60% годового расхода топлива ДЭУ. Более подробное исследование взаимного влияния параметров элементов локальных энергосистем показало, что диапазон замещения ДЭУ ветряными или солнечными энергоустановками значительно уже. Однако так как всеобъемлющее исследование этого вопроса не было проведено, возникли существенные трудности в использовании рекомендаций разных авторов в части оценки эффективности ветродизельных энергетических комплексов в составе энергоузлов распределенных энергосистем.

Для получения количественных оценок влияния различных параметров энергоустановок, прежде всего ветряных и дизель-генераторных, на показатели эффективности их работы в локальных энергосистемах было проведено исследование влияния двух параметров, характеризующих гибридные энергетические комплексы (ГЭК) с ВИЭ: высоты башни ветроустановки (ВЭУ) и взаимного влияния графиков потребления электроэнергии и выработки ветродизельного энергокомплекса на экономию дизельного топлива.

### Влияние высоты башни на годовую выработку ВЭУ

На ранних стадиях проектирования ГЭК рассматриваются всевозможные типы ВЭУ по климатическому исполнению и классам безопасности, возможности их транспортировки и монтажа, транспортной доступности площадки для спецтехники, использование которой необходимо при определенных параметрах ВЭУ. Выбор ВЭУ производится по результатам проведения технико-экономического анализа с учетом всех перечисленных выше факторов.

В связи с тем, что рассматриваются различные ВЭУ с разной высотой башни, требуется расчет параметров вертикального профиля ветра. В данном исследовании расчет вертикального профиля ветра проводился на основе данных ближайшей аэрологической станции, включенных в СБД «Вертикальный профиль ветра» [1, 3].

Оценка годовой выработки электроэнергии одиночной ВЭУ  $\mathcal{E}_{\text{ВЭУ}}(T)$  производится для стандартной плотности воздуха  $1,225 \text{ кг/м}^3$  без учета суммарных потерь электроэнергии от генератора ВЭУ до точки присоединения к сети (потери по технической готовности, на обледенение, гистерезис и др.):

$$\mathcal{E}_{\text{ВЭУ}}(T) = \sum_{i=1}^k N_{\text{ВЭУ}}(V_i^h) \cdot \Delta t_i, \quad (1)$$

где  $k$  – количество наблюдений скорости ветра за время  $T$ ;  $\Delta t_i$  – интервал времени (равный 1 часу);  $T$  – период времени, обычно один год;  $V_i^h$  – модельная скорость ветра на высоте башни ВЭУ  $h_6$ ;  $N_{\text{ВЭУ}}$  – мощность ВЭУ, определяемая по энергетической

характеристике ВЭУ  $N_{ВЭУ}(V)$  из СБД «Современное ветроэнергетическое оборудование» [2].

Для оценки эффективности ВЭУ обычно рассчитывается коэффициент использования установленной мощности  $K_{иум}$  за год.

Заводы-изготовители указывают несколько значений высоты башни ВЭУ. С одной стороны, увеличение высоты башни приводит к дополнительным капитальным вложениям на изготовление ВЭУ, ее транспортировку и монтаж, с другой - к увеличению выработки электроэнергии за счет использования ветрового потока с большей среднегодовой скоростью.

Ниже приведены результаты анализа изменения относительного прироста годовой выработки электроэнергии ВЭУ от высоты башни на примере трех характерных мест расположения ВЭУ марки 1,5 SLE (GeElectric) (см. рисунок 1):

1. с сильным ветром: побережье Баренцева моря – МС Мурманск;
2. с «хорошим» ветром: побережье Баренцева моря – МС Кандалакша;
3. со слабым ветром (на суше) – МС Сортавала.

Относительный прирост энергии определяется по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{i,(i+1)} = \frac{\mathcal{E}_{(i+1)} - \mathcal{E}_i}{\mathcal{E}_{(i+1)}} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $i$  – высота от поверхности земли,  $\mathcal{E}_i$  – годовая выработка ВЭУ на высоте  $i$ .

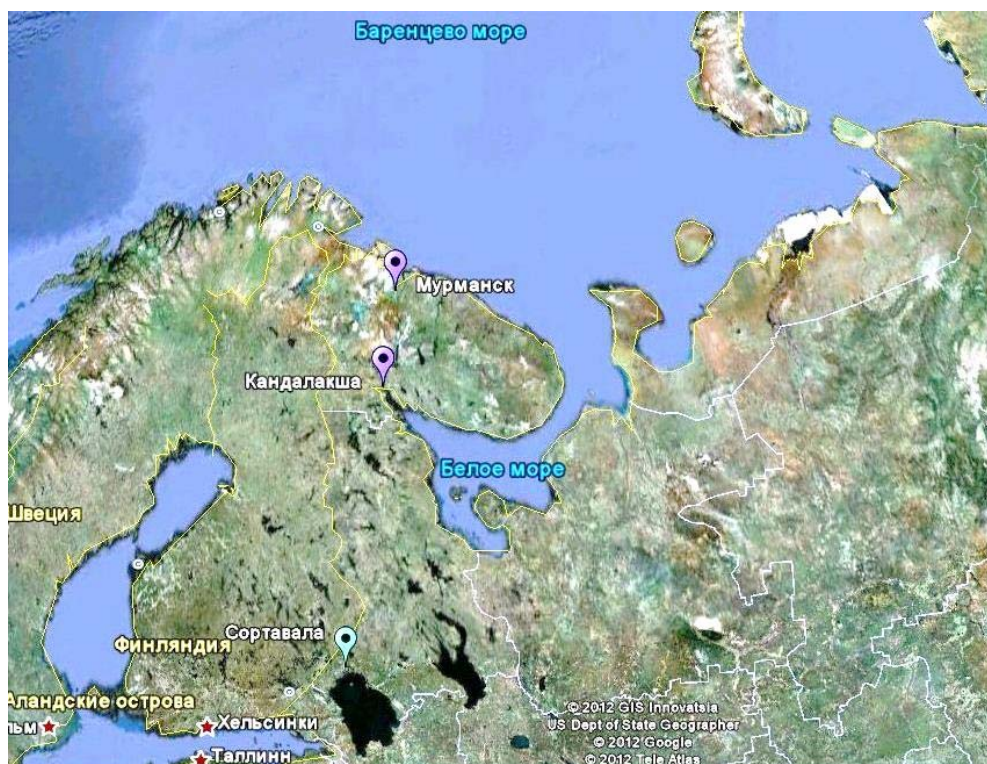


Рисунок 1 – Расположение трех выбранных метеостанций (МС)

На площадках выбранных МС представлены: на рисунке 2 многолетние повторяемости скорости ветра (1999г.-2013г.) на высоте 10 м; на рисунке 3 зависимости среднегодовой скорости ветра от высоты по данным СБД «Вертикальный профиль ветра»: на рисунке 4 зависимости прироста годовой энергии ВЭУ модели 1,5 SLE (GeElectric).

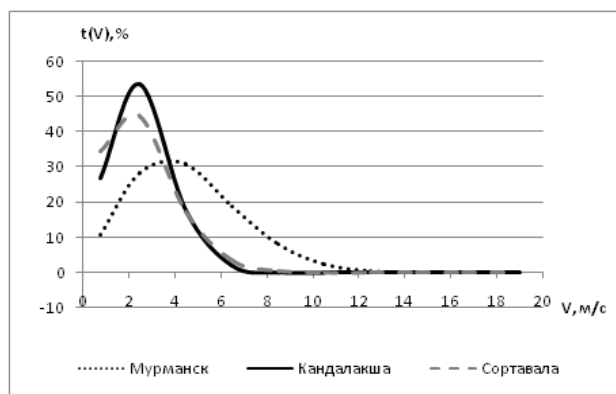


Рисунок 2 – Повторяемость скорости ветра на площадках МС (на высоте 10 м)

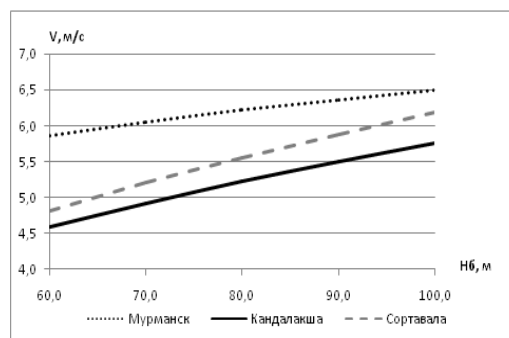


Рисунок 3 – Зависимости среднегогодовой скорости ветра от высоты (по данным СБД «Вертикальный профиль ветра»)

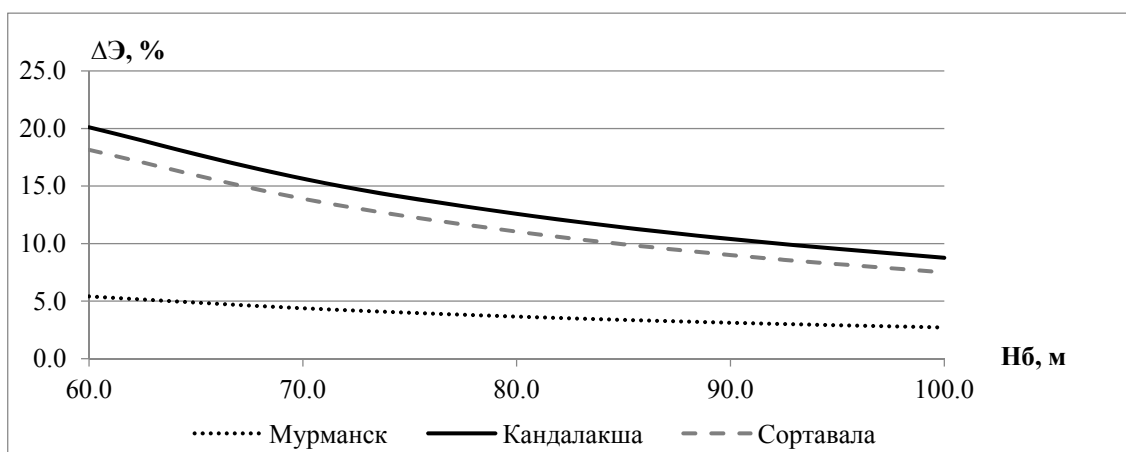


Рисунок 4 – Зависимости прироста годовой энергии ВЭУ марки 1,5 SLE (GeElectric) от высоты башни ( $H_б = 50 \div 100$  м)

Из приведенных данных следует, что наиболее чувствительны к увеличению годовой выработки с ростом  $H_б$  места на суше со слабым ветром, в которых увеличение высоты башни, естественно, приводит к росту годовой выработки  $\mathcal{E}_{ВЭУ}^{год}(\%)$ . Для районов же с сильным ветром увеличение высоты башни не приводит к существенному росту годовой выработки. В диапазоне изменения  $H_б$  от 60 до 100 м (см.рис.4) все зависимости близки к линейным.

Наиболее существенно влияние высоты башни на годовую выработку ВЭУ в районах со слабым ветром. В районах с сильным ветром, начиная с некоторой высоты, увеличение высоты башни становится нецелесообразным, а в некоторых случаях может привести даже к снижению выработки ВЭУ. Окончательно выбор высоты башни рассматриваемой ВЭУ может быть сделан после проведения технико-экономических расчетов с учетом дополнительных затрат на более высокую башню и дополнительного эффекта от прироста годовой выработки электроэнергии.

### Исследование взаимного влияния графиков потребления и выработки ВЭС

Важным показателем, необходимым для оценки эффективности ветродизельного комплекса (ВДК), является величина замещения выработки энергии ДЭУ выработкой ВЭС. Для расчета показателей эффективности и целесообразности строительства ВДК,

разработана математическая модель комплекса, с помощью которой проведены расчеты замещения выработки ДЭУ.

Для разработки математической модели ВДК использованы следующие данные:

- Осреднённые за 10 минут значения выработки ВЭС;
- Осреднённые за 10 минут значения выработки электрической и тепловой энергии в рассматриваемом населенном пункте;
- Основные характеристики ДЭУ: количество, мощность, допустимая минимальная нагрузка, зависимость между электрической и тепловой мощностью;
- Потери на регулирование реактивной мощности (в размере 4% от рабочей мощности ВЭС).

В основе расчета лежит баланс активной мощности локальной энергосистемы в каждом 10-минутном интервале за год.

Результатами расчета являются:

- выработка ДЭУ;
- выработка ВЭУ;
- отдача ВЭУ по электроэнергии;
- отдача ДЭУ по электроэнергии;
- отдача ВЭУ по теплу;
- отдача ДЭУ по теплу;
- свободная энергия от ВЭУ.

Расчётная модель построена по данным проектируемого ВДК на о. Попова.

В настоящее время электроснабжение о. Попова осуществляется от дизельной электростанции (ДЭС), технические характеристики которой приведены ниже, в состав которой входят 3 дизельных генератора (ДГ) общей мощностью 1,7 МВт. На примере 6 моделей ВЭУ с количеством  $n_{ВЭУ}$  от 2 до 700 шт. (параметры ВЭУ приведены в табл.1) проводится оценка эффекта замещения гарантирующих ДЭС.

Таблица 1. Информация о планируемых к установке ВЭУ на площадке о. Попова

Параметр	Komai KWT33 -300	Vergnet GEV MPC 30-275	Vergnet GEV MPR 30-275	Vestas V27	GHRepower FD21-100	Vestas V29
Номинальная мощность, кВт	300	275	275	225	100	225
Диаметр ротора, м	33	30	30	27	21,5	29
Высота башни, м	41,5	55	32	30	37	31,5
Среднегодовая скорость ветра на высоте башни, м/с	6,4	6,7	6,1	6	6	6,1
Количество ВЭУ	2÷200	2÷300	2÷350	2÷200	2÷700	2÷200

На основе данных метеостанции получен 10-ти минутный ряд осредненных значений выработки в период с мая 2009 по май 2010 г. Ряды выработки ВЭС получены с использованием программного комплекса WindPro в общей сложности для шести вариантов ВЭУ на двух площадках размещения и максимального количества ВЭУ с учетом их отключения при низкой температуре.

На рисунках 5 и 6 показана величина замещения выработки ДЭУ и свободная энергия рассматриваемых вариантов ВЭУ во всём диапазоне изменения мощности для каждого варианта.



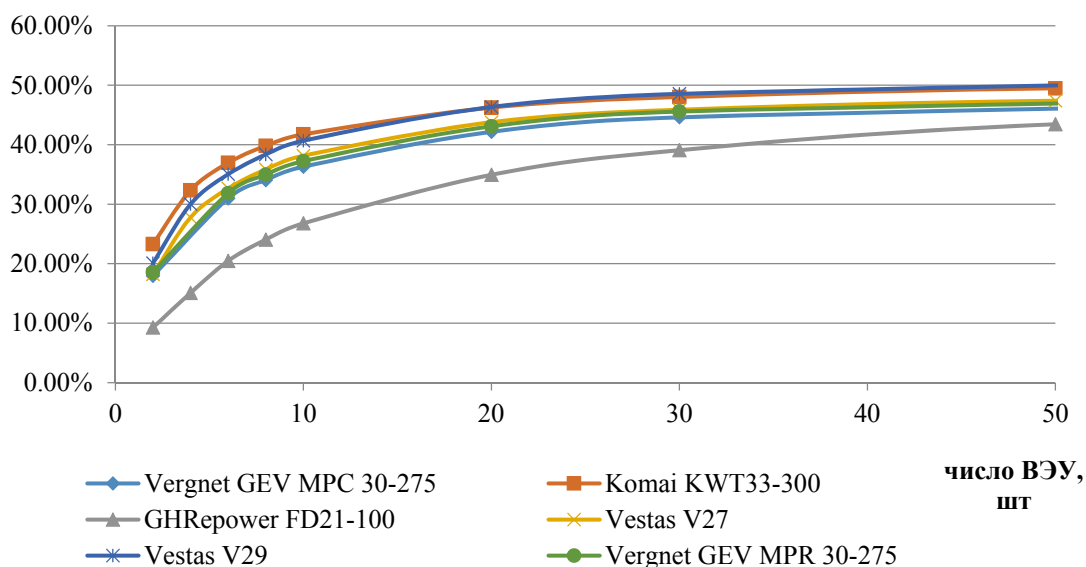


Рисунок 5 –Замещение электроэнергии ВЭС, % от годового потребления

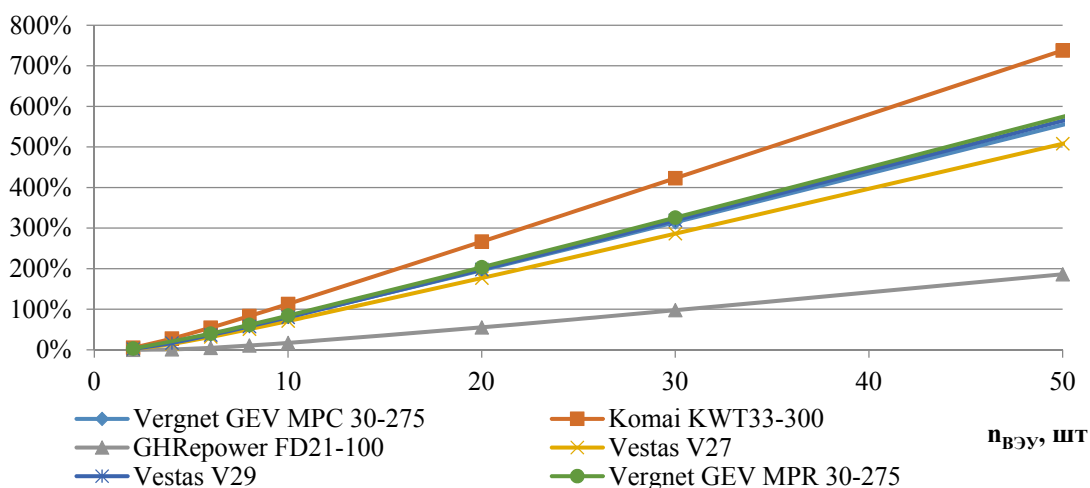


Рисунок 6 –Свободная электроэнергия ВЭС, % от годового потребления электроэнергии

При рассмотрении различных вариантов ВЭУ замещение выработки ДЭУ для всех вариантов не превышает (48,2 - 57,3) %. Это объясняется тем, что величина замещения электроэнергии ВЭС определяется двумя факторами: энергетической характеристикой ВЭУ, формой графика потребления и согласованностью графика потребления и поступления ветрового ресурса.

Для каждых суток года было определено количество часов  $T_{сут}$ , когда выполняется условие  $P_{ген i}^{ВЭС} < P_{потреб i}$ ,  $i$  – 10-минутный интервал времени. Период  $T_{сут}$  был разбит на интервалы длиной  $\Delta t_{сутj} = 1$  час,  $j$  – порядковый номер интервала,  $j = 1 \dots 24$ . Тогда частота  $P(T_{сут})$  в  $\Delta t_{сутj}$ -ом интервале будет определяться по формуле:

$$P(\Delta t_{сутj}) = \frac{m_j}{n + 1}, \quad (3)$$



где  $m_j$ , о.е.– число значений величины  $T_{сут}$ , попадающих в  $\Delta t_{сутj}$ -ый интервал;  $n$ , о.е. – общее число значений  $T_{сут}$  за рассматриваемый период времени, (в нашем примере рассматривается 1 год и  $n = 365$ ).

Анализ расчётов, характеризующих вероятность непрерывной работы ДЭС заданной продолжительности в течение суток, позволили сделать следующие выводы:

- гарантия выдачи мощности ВЭС в зависимости от состава оборудования ВДК составляет менее 5%;

- внутрисуточная неравномерность выдачи мощности ВЭУ предполагает неоднократные переключения режимов работы ДЭС, что требует учёта особенностей оборудования ДЭС.

Анализ полученных результатов показал, что при небольших значениях установленной мощности ВЭС (небольшом числе установленных ВЭУ  $n_{ВЭУ}$ ) часто возникают продолжительные ( $T \rightarrow 1$  сутки) периоды беспрерывной работы ДЭС. При увеличении числа установленных ВЭУ  $n_{ВЭУ}$  доля замещения ДЭС увеличивается и приближается к 50% максимума потребления, а свободная энергия увеличивается прямо пропорционально числу ВЭУ  $n_{ВЭУ}$  в составе ВЭС. Таким образом можно говорить о наличии некоторого оптимального числа установленных ВЭУ  $n_{ВЭУ}$ , при котором эффект увеличения замещения ДЭС компенсируется отрицательным эффектом роста свободной энергии.

### Выводы

Проведенное исследование показало, что с ростом высоты башни ВЭУ относительный прирост годовой энергии и среднемноголетнего  $K_{иум}$ , начиная с некоторой высоты, замедляется, причем характер изменения прироста годовой энергии на одних и тех же площадках идентичен для различных вариантов ВЭУ, т.е. зависимость годовой выработки от высоты башни ВЭУ определяется, прежде всего особенностями поступления первичной энергии и не зависит от модели ВЭУ.

Величина установленной мощности ВЭС и число входящих в её состав ВЭУ определяют режим работы ДЭС, при этом неограниченный рост установленной мощности ВЭС не приводит к полному замещению выработки ДЭС, и составляет порядка 50% максимума потребления.

Гарантия выдачи мощности ВЭС в зависимости от состава оборудования ВДК составляет менее 5%. Внутрисуточная неравномерность выдачи мощности ВЭУ предполагает неоднократные переключения режимов работы ДЭС, что требует учёта особенностей оборудования ДЭС.

### Список литературы

1. Свидетельство о гос. регистрации базы данных №2012620870. Специализированная база данных «Вертикальный профиль ветра» / Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Чернов Д.А.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2012620870. Специализированная база данных «Современное ветроэнергетическое оборудование» / Дерюгина Г.В., Мельник Н.А., Пугачев Р.В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» - №2013620783; опубл. 03.07.2013.
3. Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В., Шестопалова Т.А. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие / – М.: Издательство МЭИ, 2012 г.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОПОДПОРНЫХ И ВОДОВОДАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОБИЛЬНОГО РЕГУЛИРУЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ РУКАВНОГО ТИПА ДЛЯ ВОДО- И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Годин М.А.

ООО «Импульс», г. Новочеркасск, Россия

Наибольшим гидропотенциалом в Российской Федерации обладают районы Дальнего Востока, Сибири, Северного Кавказа, Крыма. Наиболее рационально использовать энергию малых рек в указанных выше регионах за счёт строительства малых и микроГЭС, количество которых уменьшилось в 80–е годы в 94 раза по сравнению с концом 60–х годов XX столетия, а темпы роста строительства новых и восстановление существующих возросли в настоящее время незначительно. К наиболее важным преимуществам малых и микроГЭС относятся: меньшее воздействие на водные ресурсы по сравнению с крупными гидроэлектростанциями; снижение потери электроэнергии за счёт приближения энергопотребителей к источникам энергоснабжения, так как на территории водосбора малых рек находится около 90% сельских предприятий и населённых пунктов, а также около 40% городских [1].

Для более полного использования ресурсов малых водотоков автором разработана конструкция мобильного регулирующего сооружения рукавного типа (МРСРТ) (рис. 1) [2].

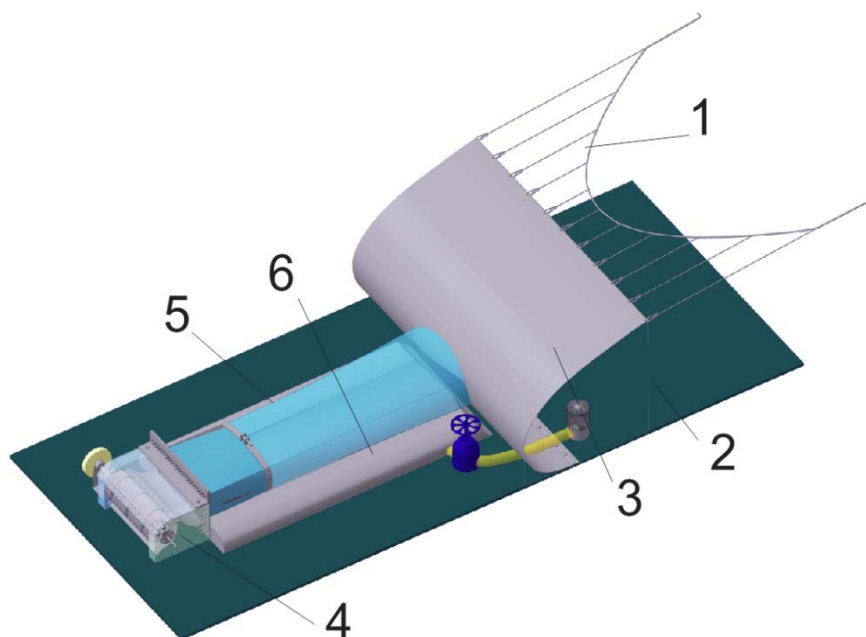


Рис. 1. Конструкция МРСРТ: 1 – вантовая система; 2 – гибкий флютбет; 3 – водоподпорная оболочка; 4 – гидроагрегат; 5 – гибкий рукав; 6 – водонаполняемая оболочка

Данная конструкция позволяет создать временный водохозяйственный узел для децентрализованного водо- и энергоснабжения малых населённых пунктов и предприятий.

Для широкого внедрения в практику гидроэнергетического строительства подобных конструкций требуется разработка методов расчётного обоснования её элементов, проведения имитационного моделирования и подтверждения его результатов на натуральных и физических моделях.

Применение имитационного моделирования (ИМ) позволило воспроизвести поведение исследуемых элементов от различных факторов воздействия во времени. Имитационные модели были созданы с применением программного продукта SolidWorks использующего метод конечных элементов и конечных объёмов [3].

Аналитические зависимости и методы расчёта основания и вантовой системы мембранно-вантовой плотины известны.

Однако, для водоподпорных оболочек, являющихся основным элементом мембранно-вантовой плотины, необходимо провести ИМ и получить на его основе расчётное обоснование их параметров.

Сложность статического расчёта водоподпорных оболочек (незамкнутых мягких оболочек) состоит в том, что зависимости, описывающие гидродинамические нагрузки и функции, отражающие форму оболочки и её НДС, взаимосвязаны неявно.

Для определения начальных форм незамкнутой водоподпорной оболочки используется аналитический метод расчёта с применением эластик Эйлера. В этом методе, задаваясь углами крепления основания и гребня незамкнутой водоподпорной оболочки, определяется её периметр  $L$  в зависимости от нагрузки со стороны верхнего бьефа.

Существующие аналитические положения для гибких рукавов обеспечивают только приближённые решения моделирования в условиях больших перемещений. В то же время программный комплекс SolidWorks позволяет рассчитывать методом итерационного приближения модели с геометрической нелинейностью, в том числе с учётом гидродинамического воздействия и взаимодействия с контактной поверхностью. Также данный метод позволяет определить предельно-допустимые деформации рукава, осуществить определение допустимых параметров, а также критериев выбора конструкции и его размеров.

Для определения формообразования рукава необходимо определить параметры поперечных сечений используя аналитические зависимости.

Исследуемая физическая модель имеет следующие параметры: длина рукава - 1,6 м; ширина водоподпорной оболочки – 1,0 м и периметр в поперечном сечении 0,8 м. Края водоподпорной оболочки не были закреплены и за счёт специальных уплотнений позволяли ей перемещаться вдоль зеркальных стенок лотка без утечек. Основание рукава опиралось на водонаполняемую оболочку (рис. 1) чем обеспечивалась его устойчивость.

При определении формы и НДС рукава вводим следующие допущения: оболочка рукава устанавливается на жёстком, горизонтальном основании; нерастяжима, не имеет веса и наполняется несжимаемой жидкостью.

Имитационное моделирование проводилось в программе SolidWorks Simulation, учитывающей деформацию материала водоподпорной оболочки и рукава (рис. 2).

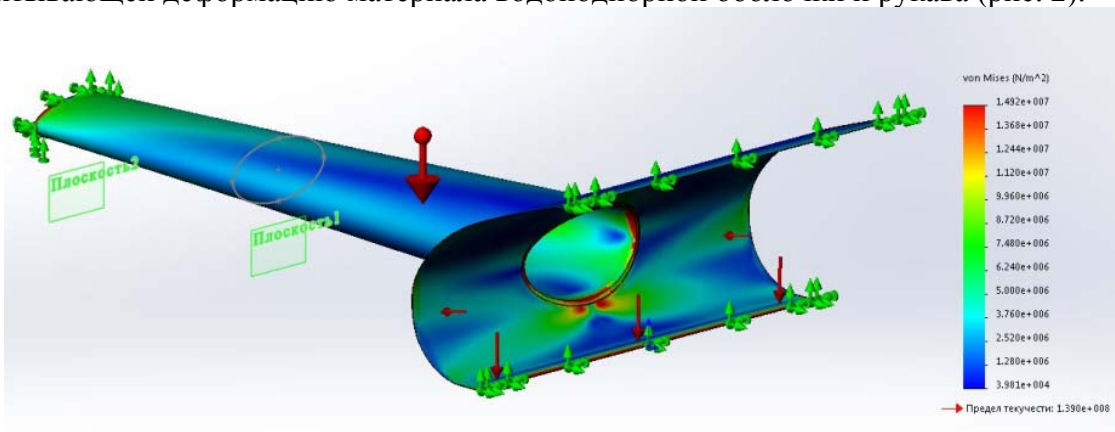


Рис. 2. Максимальные напряжения по von Mises при статической нагрузке с использованием параметров физической модели при напоре 0,5 м

В результате проведения имитационного моделирования получена начальная форма основных элементов конструкции МРСРТ, распределение максимальных напряжений, что позволило внести коррективы в техническое решение заключающиеся в: изменении высоты закрепления рукава; добавлении рёбер жесткости в местах закрепления рукава к водоподпорной оболочке и гидроагрегату; поддержании давления в водонаполняемой оболочке кратного 0,6 от напора в верхнем бьефе.

Для определения скоростной структуры потока для этой же модели был использован SolidWorks Flow Simulation предназначенный для проведения гидродинамического анализа (рис. 3).

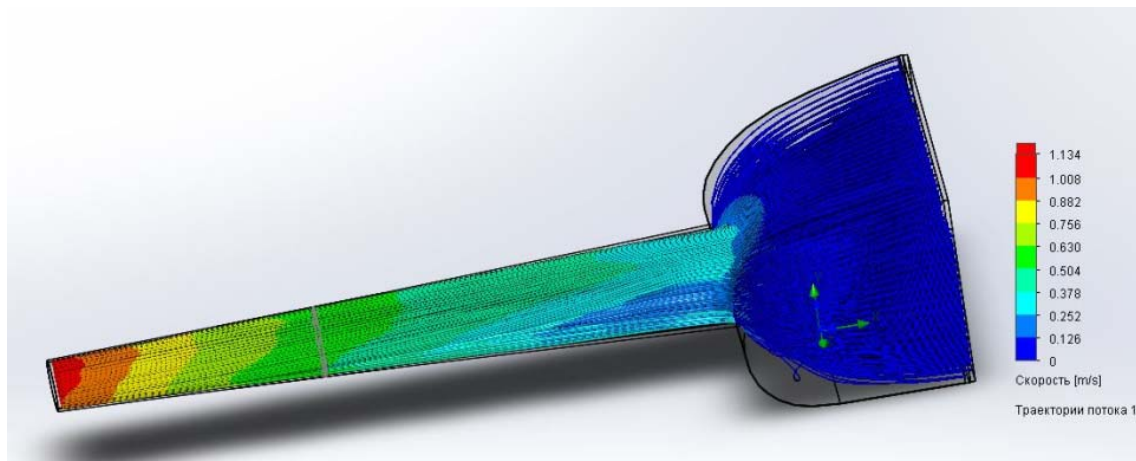


Рис. 3 Скоростная структура потока для расхода  $0,016 \text{ м}^3/\text{с}$  проходящего через проточные элементы конструкции МРСРТ

На основе результатов имитационного моделирования с учётом динамики потока были выявлены эксплуатационные режимы по регулированию уровней воды в верхнем бьефе, исключая захват воздуха и образования зон пониженного давления.

Для натурных испытаний был выбран Ольгинский полигон Ростовской области, а в качестве объекта децентрализованного энергоснабжения фермерское хозяйство.

Параметры натурной конструкции были следующие: перекрываемый пролет 5 м; создаваемый напор 1,1 м; расход  $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ .



Рис. 4 Натурные испытания МРСРТ на Ольгинском полигоне Ростовской области для энергоснабжения фермерского хозяйства:

а) в сложенном виде; б) вид со стороны верхнего бьефа

Сравнение имитационного моделирования и натурных исследований МРСРТ показало достаточную сходимость по напряжениям и деформациям, расхождение результатов составило менее 10 %.

Экономическая эффективность от внедрения МРСРТ мощностью 2 кВт составила 120 тыс. руб. по сравнению с традиционной схемой включающей: грунтовую плотину и

пропеллерную турбину в качестве гидроагрегата. В дальнейшем имеются перспективы внедрения данных конструкций для децентрализованных потребителей малой энергоёмкости, расположенных на территории водосбора малых водотоков.

### Список литературы

1. Годин М.А. Разработка и научное обоснование МПСКН рукавного типа. Гидротехническое строительство Материалы региональной научно-технической конференции. 2011. С. 28-33.
2. Мобильное гидроэнергетическое сооружение рукавного типа. Кашарин Д.В., Годин М.А. патент на изобретение RUS 2413050 23.10.2009.
3. Годин М.А., Годин П.А. Численное моделирование гидравлических условий работы микроГЭС рукавного типа. Информационные технологии в образовании и консультационной деятельности в сельскохозяйственном производстве материалы международной научно-производственной конференции. Ростовский институт переподготовки кадров агробизнеса. Новочеркасск, 2011. С. 61-65.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ –  
ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКИ И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ  
ФОНДА «ЭНЕРГИЯ БЕЗ ГРАНИЦ»  
FUEL CELLS BASED POWER UNITS R&D AND COMMERCIALIZATION – THE  
MAIN STREAM FOR “ENERGY BEYOND BORDERS” FUND**

**Голодницкий А.Э., Брусницын А.Н.**  
Фонд «Энергия без границ»

**Golodnitskiy A.E., Brusnitsyn A.N.**  
“Energy beyond borders” Fund

Обусловленный развитием цивилизации рост энергопотребления при исчерпаемости ископаемых энергоносителей, возрастание их стоимости и близкая к предельной экологическая нагрузка побуждают человечество предпринимать усилия по повышению эффективности преобразования энергии первичных источников в электрическую и развивать альтернативные способы ее производства.

Современная электроэнергетика базируется на так называемых машинных способах преобразования энергии – в них тепловая энергия сгорания топлива преобразуется в механическую энергию вращения, которая в электрогенераторе превращается в электрическую. Наиболее эффективные из действующих энергоустановок большой – 570 - 1515 МВт, мощности, работающих по парогазовому циклу, продемонстрировали рекордный для машинных преобразователей КПД 60 - 62 %, и этот уровень является близкими к предельной экономически целесообразной величине на обозримом горизонте развития технологий.

Альтернативой машинным преобразователям энергии являются относящиеся к способам прямого преобразования энергии топливные элементы (ТЭ) – электрохимические устройства, использующие водород, монооксид углерода либо газообразные органические топлива и кислород воздуха для выработки электрической и тепловой энергии. Процесс производства электроэнергии в топливных элементах значительно более эффективен, чем в тепловых машинах. Кроме того, в ТЭ нет движущихся частей и минимизирована роль сжигания топлива, что делает процесс бесшумным и экологически чистым.

Энергетические установки на основе топливных элементов (ТЭУ) позволят радикально – до 60 %, увеличить КПД преобразования химической энергии топлива в электрическую в диапазоне как малых мощностей в простом и когенерационном циклах, где КПД машинных преобразователей кратно ниже, так и больших мощностей в гибридном цикле с газотурбинными, паросиловыми и парогазовыми установками – до 75 %, обладая при этом очень высокими экологическими характеристиками.

Промышленная отрасль ТЭ становится все более стабильной и готовой к массовому внедрению. Это поддерживается растущим интересом крупных компаний к использованию ТЭ и инвестициям в связанные с ними технологии. В последние годы ТЭУ все активнее внедряются на мировом рынке. С 2007 по 2013 г. объемы реализации возросли в 5,8 раза, достигнув в 2013 г. объема продаж 215,3 МВт, из которых 186,9 МВт (86,8 %) пришлось на стационарные энергетические установки, рост реализации которых идет опережающими темпами.

В связи с этим развитие технологий топливных элементов в России стало одним из приоритетных направлений инвестирования для Фонда поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности «Энергия без границ», созданного в сентябре 2011 г. с целью поддержки перспективных направлений НИОКР в области

энергоэффективности и энергомашиностроения и имеющего в настоящее время в инвестиционном портфеле более 50 проектов.

### **Предпроектные исследования**

С целью получения объективной картины текущего состояния исследований, разработки конструкций и технологий производства энергетических установок на основе топливных элементов для централизованной энергетики, распределенной энергетики и индивидуальных потребителей, определения и анализа перспективных направлений развития, разработки и обоснования комплекса мероприятий по развитию научно-технических работ и коммерциализации деятельности по созданию ТЭ и ТЭУ в России, Фондом «Энергия без границ» с привлечением ведущих российских ученых была выполнена НИР «Аналитический обзор мировых достижений в области создания и использования топливных элементов и энергоустановок на их основе и рекомендации по их разработке и внедрению в России» [1].

В обзоре рассмотрено и проанализировано современное состояние разработок в области материалов, технологии изготовления и конструкции пригодных для применения в стационарных энергетических установках видов ТЭ, ТЭУ, в том числе гибридных (ГЭУ), деятельность ведущих мировых и отечественных разработчиков и производителей ТЭ и ТЭУ на их основе, а также методы испытания и оборудование испытательных центров и лабораторий. Представлены результаты технико-экономических, маркетинговых и патентных исследований ТЭ и ТЭУ, определены перспективные области использования, даны рекомендации по их применению в традиционной энергетике, в малой и распределенной энергетике, в иных перспективных областях. Разработан примерный план развития научно-технических работ и коммерциализации деятельности по созданию ТЭ и ТЭУ в России с предложениями создания консорциума исполнителей. Приложены результаты патентных исследований и проект технического задания на разработку сертификационного испытательного центра. Ниже приведены основные результаты проведенного исследования.

Проведенный анализ мировых, в том числе отечественных, достижений в области создания и использования ТЭ и ТЭУ показал возможность в обозримом будущем формирования нового технологического уклада в энергетике на базе электрохимических технологий производства и аккумулирования энергии со значительно более высокой эффективностью использования химической энергии топлива и меньшим негативным влиянием на экосистему. Это позволит при сохранении значения централизованной энергетики увеличить долю распределенной генерации и децентрализованного энергоснабжения, а также решить проблемы эффективного использования наиболее масштабных природных энергоресурсов – солнечной и ветровой энергии, характеризующихся стохастической энергоотдачей.

В развитых странах наблюдается устойчивая тенденция активизации разработок энергетических установок на основе топливных элементов и реальный прогресс в этой области. Значительное количество национальных и международных научно-исследовательских программ, в том числе в формате государственно-частного партнерства, направленных на более глубокое понимание процессов и разработку технологий, патентная активность, приближают технический прорыв в повышении характеристик ТЭ и ТЭУ. Программы коммерциализации реализуются в большинстве случаев также при финансовой и законодательной поддержке государства. Рост производства и совершенствование технологий неизбежно приведут к радикальному снижению стоимости ТЭУ, являющейся пока сдерживающим фактором их более широкого применения.

Это, наряду с большой потенциальной емкостью российского рынка ТЭУ, оцененной на период до 2035 года только для сектора децентрализованного



энергоснабжения в 55 ГВт электрической мощности и 131 тыс. Гкал/час тепловой в когенерационном цикле, может служить основанием для развертывания в стране крупномасштабных НИОКР в области топливных элементов. Целью этих работ должно стать формирование отечественной научно-технической школы разработки топливных элементов и энергетических установок на их основе, создание на базе отечественных ТЭ энергоустановок различных циклов, мощности и назначения, конкурентоспособных с лучшими мировыми образцами.

Для обеспечения возможности поддержания передовых позиций и конкурентоспособности на внутреннем и международном рынках производство ТЭУ должно быть полностью – от высокотехнологичной переработки сырья для производства топливных элементов до изготовления конечной продукции, локализовано в России на высокоавтоматизированных промышленных предприятиях, обеспечивающих массовое производство продукции с минимальными издержками.

Актуальной является и задача формирования крупномасштабного рынка ТЭУ, в частности, путем реализации соответствующих демонстрационных проектов и активного использования методов государственной поддержки.

Применительно к стационарным энергетическим установкам наиболее перспективным видом ТЭ представляются твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), развитие которых идет опережающими темпами. Это обусловлено высокой эффективностью преобразования химической энергии топлива в электрическую, экологической чистотой, возможностью использования, помимо водорода, широкого спектра газообразных и жидких природных и синтетических углеводородных топлив при не столь высокой требовательности к их чистоте, стабильностью характеристик во времени, простотой, компактностью и относительно невысокой стоимостью, возможностями встраивания в когенерационный и гибридный циклы. Благодаря высоким рабочим температурам ТОТЭ возможно радикальное по сравнению с традиционными энергоустановками повышение КПД в термодинамическом цикле гибридных энергоустановок. Электрический КПД ГЭУ с ТОТЭ уже в обозримом будущем может достигнуть 75 %, а коэффициент использования химической энергии топлива, благодаря полезному использованию остаточного тепла, – 90 %.

В краткосрочной перспективе большинство разработчиков стационарных ТЭУ простого и когенерационного (КТЭУ) циклов нацелены на диапазон мощности 1 – 5 кВт, поскольку именно этот уровень наиболее востребован емким рынком индивидуальных потребителей, небольших коммерческих предприятий и автономных источников энергии для отдаленных и труднодоступных мест, источников питания спецназначения. В этих сегментах рынка у топливных элементов по критерию эффективности практически нет конкурентов.

ТЭУ и КТЭУ в диапазоне электрических мощностей до 1 МВт могут быть востребованы для районной распределенной генерации, промышленных и больших коммерческих предприятий. В этом диапазоне возможно использование и ГЭУ с микро-ГТУ, однако при мощностях до 200 кВт ТЭУ простого цикла и КТЭУ не уступают существенно более сложным ГЭУ по термодинамической эффективности. Повысить эффективность использования КТЭУ можно и встраиванием в установки тригенерационного цикла.

ТЭУ больших мощностей – 10 – 100 МВт, как простого и когенерационного циклов, так и наиболее эффективного гибридного цикла с ПГУ, ГТУ и ПТУ, целесообразно использовать в централизованной электроэнергетике и распределенной генерации районного и городского масштаба. Поскольку в установках гибридного цикла кратно большая часть энергии вырабатывается ТЭУ, а КПД турбомашин в области небольших мощностей низок и достигает высоких значений начиная с уровня мощности порядка десятка мегаватт, для высокоэффективных ГЭУ необходимо создание ТЭУ,



превосходящих выбранный машинный преобразователь по мощности в 2 – 4 раза. На сегодняшний же день существенным препятствием для достижения большой единичной мощности ТЭУ является пока еще невысокая плотность энерговыделения ТОТЭ и батарей ТОТЭ. Поэтому материаловедческие исследования, поиск конструктивных и технологических решений, которые позволили бы повысить плотность энерговыделения, обеспечить высокую стабильность свойств и стойкость к термоциклированию, являются актуальнейшими задачами.

Разработку и коммерциализацию ТЭУ целесообразно вести на условиях государственно-частного партнерства. Это удобно для бизнеса, поскольку позволяет снизить риски, которые неизбежно сопровождают разработку новых технологий. Но это выгодно и государству, так как позволяет привлечь значительные частные ресурсы в разработку передовых технологий и, следовательно, в обеспечение научно-технологического лидерства страны в данной области.

Необходимо стремиться к выделению разработки топливных элементов и энергоустановок на их основе в специальную государственную программу ввиду ее особой важности, а при формировании и организации выполнения программы использовать программно-целевой подход и индикативное планирование с разработкой «дорожных карт».

### **Подготовка национальной программы разработки и коммерциализации ТЭУ**

В России разработкой ТЭ и ТЭУ занимается более десятка организаций, как самостоятельно, так и в кооперации между собой. Наиболее широко исследования и разработки ТЭ в России проводились во второй половине прошлого века; в начале нового тысячелетия активность, в связи с сокращением финансирования, снизилась. Тем не менее, можно констатировать, что сформированы научно-технические школы и накоплен опыт, вселяющие уверенность в возможности, при надлежащей координации работ и финансировании, формирования отечественного консорциума для разработки и создания в разумные сроки высокоэффективных и надежных ТЭ и ТЭУ.

Большая емкость отечественного рынка для ТЭУ и реальные возможности существенного улучшения их технико-экономических показателей с достижением превосходства над альтернативными техническими решениями уже сейчас могут служить основанием для развертывания в стране крупномасштабных НИОКР в области топливных элементов. Целью этих работ должно стать создание отечественных ТЭУ различной мощности и областей применения, конкурентоспособных с лучшими мировыми образцами, и высокоавтоматизированных промышленных технологий, обеспечивающих массовое производство ТЭУ с минимальными издержками, высокую эффективность и надежность.

В рамках государственно-частного партнерства разработана и реализуется программа создания технологии изготовления ТОТЭ планарной конструкции и мощностного ряда энергетических установок на их основе, включая гибридные, инициированная ОАО «Интер РАО» и Фондом «Энергия без границ». Целью реализации программы является создание промышленной технологии изготовления высокоэффективных высоконадежных ТОТЭ и ТЭУ на их основе для последующего серийного производства энергетических установок в диапазоне мощностей 0,5 – 5,0 кВт, в том числе когенерационного цикла, и формирование научной, технологической и производственной базы для создания ТЭУ большой мощности (от мегаватт до сотен мегаватт), в том числе гибридных с электрическим КПД на уровне 75 %. Программа предусматривает создание ТЭУ силами отечественных разработчиков и организацию полного цикла изготовления на расположенных в России предприятиях из российских же материалов и комплектующих. Это обеспечит потенциальную возможность

достижения и поддержания передового технического уровня продукции и конкурентоспособной цены.

Первая стадия программы (2014 – 2016 гг.) – проект «Разработка лабораторной масштабируемой технологии изготовления ТОТЭ планарной конструкции и концепции создания на их базе энергетических установок различного назначения и структуры, включая гибридные, с изготовлением и испытаниями маломасштабного экспериментального образца энергоустановки мощностью 500 – 2 000 Вт», реализуется в форме государственно-частного партнерства в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» при участии Фонда «Энергия без границ» в качестве индустриального партнера. Проект выполняется консорциумом в составе: ФГБУН «Институт физики твердого тела РАН» (ИФТТ РАН), г. Черноголовка, (головной разработчик), филиала «ЦНИИ судовой электротехники и технологий» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (ЦНИИ СЭТ), Санкт-Петербург, (главный конструктор), с привлечением Химфака МГУ им. М.В.Ломоносова (катодных материалов ТОТЭ), ЗАО «НЭВЗ-КЕРАМИКС», Новосибирск, (разработка технологии изготовления ТОТЭ), ЗАО «Неокон», Москва, (технология изготовления скандий содержащих порошков).

На стадии опытно-конструкторских работ и коммерциализации (2017 – 2018 гг.) – планируется осуществить разработку конструкторской документации, изготовление и испытания опытных образцов высокоэффективных экологически чистых энергетических установок на природном газе с твердооксидными топливными элементами, а в 2019 году поставить энергетические установки на серийное производство на заводе-изготовителе – ООО «Завод электрохимических преобразователей» (ЗЭП), начать их выпуск и поставку серийной продукции потребителям.

Целевые параметры создаваемых ТЭУ.

Характеристики ТОТЭ размером 100x100 мм и батареи ТОТЭ:

- удельная мощность ТОТЭ, мВт/см<sup>2</sup> – > 250
- плотность постоянного тока ТОТЭ, мА/см<sup>2</sup> – > 200
- рабочая температура ТОТЭ и батареи ТОТЭ, °С – от 800 до 850
- мощность ТОТЭ, Вт – > 21
- габариты батареи ТОТЭ, мм – < 150x150x150
- мощность батареи ТОТЭ, Вт – > 500
- масса батареи ТОТЭ, кг – < 20
- рабочее напряжение батареи ТОТЭ, В – от 15 до 20

Характеристики ТЭУ:

- мощностной ряд, кВт – от 0,5 до 5
- вид топлива – природный газ
- рабочая температура, °С – от 800 до 850
- КПД на экономичном режиме, % – < 50

По инициативе ПАО «Интер РАО», для включения в перечень национальных проектов, формируемый в рамках реализации распоряжения Правительства Российской Федерации от 03.07.2014 г. №1217-р, Фондом «Энергия без границ» в качестве дальнейшего развития работ по программе подготовлен и направлен в рабочую группу по отбору национальных проектов проект «Создание типоразмерных рядов энергетических установок мощностью 0,5-5 кВт и 0,2-1 МВт на основе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ)».

Проект предусматривает проведение НИОКР – в 2015 – 2016 гг. выполнение описанной выше прикладной НИР в рамках ФЦП, затем ОКР по разработке

конструкторской документации, изготовлению и испытаниям опытных образцов высокоэффективных экологически чистых ТЭУ на природном газе с ТОТЭ типоразмерного ряда 0,5-5,0 кВт (в 2017-2018 гг.) и типоразмерного ряда 0,2-1,0 МВт (в 2018 – 2020 гг.).

Коммерциализация проекта (2018-2020 гг.) предусматривает постановку энергетических установок на серийное производство с полным циклом изготовления – от переработки сырья для производства топливных элементов до изготовления конечной продукции в России – первоначально на имеющихся резервах производственных мощностей предприятий, входящих в описанный выше консорциум, с последующим расширением за счет создания высокоавтоматизированных участков по мере роста масштабов производства, выпуск и поставку серийной продукции потребителям, формирование инжиниринговых и сервисных компаний, подготовку кадров, проведение маркетинговых и рекламных мероприятий, организацию демонстрационных зон, подготовку мер государственной поддержки, включая адаптацию нормативной правовой базы, обеспечивающей возможность использования результата и стимулирование массового внедрения ТЭУ на внутреннем рынке и экспорта ТЭУ, как высокотехнологичной продукции.

Бюджет проекта оценивается в 1 450 млн. рублей при соотношении размера бюджетных средств к внебюджетным 60/40 %.

Целевые параметры создаваемых типорядов ТЭУ:

- КПД типоряда ТЭУ мощностью 0,5 – 5,0 кВт, % > 50
- КПД типоряда ТЭУ мощностью 0,2 – 1,0 МВт, % до 60
- коэффициент использования химической энергии топлива (КИТ) % до 90
- ресурс, ч >40 000
- удельная стоимость при серийном производстве, \$/кВт <2 000

Проект прошел рассмотрение на НТС Минпромторга России.

С уверенностью можно утверждать, что на сегодняшний день не известна иная экономически целесообразная технология, способная конкурировать по эффективности и экологической чистоте с топливными элементами. Энергетика и промышленность стран, которые первыми осваивают крупномасштабное производство такой продукции с конкурентной стоимостью жизненного цикла и надежностью, получают глобальные преимущества на многие годы вперед.

#### Список литературы

1. С.И. Бредихин, А.Э.Голодницкий, С.Я.Истомин, И.А. Карпова, В.П. Ковалевский, Б.Ф.Реутов, А.В.Туркин, С.П.Филиппов. «Аналитический обзор мировых достижений в области создания и использования топливных элементов и энергоустановок на их основе и рекомендации по их разработке и внедрению в России». Отчет о НИР, 717 стр., 2015 г. Москва, Фонд «Энергия без границ».

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МИРОВОГО ОКЕАНА В РОССИИ

Горлов А.А.

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

В новой Морской доктрине, недавно утвержденной Президентом РФ, намечено решение следующих долгосрочных задач: «освоение инновационных технологий выработки электрической энергии с использованием приливно-отливных явлений, прибрежных приводных ветров и ветровых волн, температурного градиента воды, термальной энергии и течений, а также тепловой калорийности биомассы водорослей» [1]. К этим задачам можно добавить также энергетику градиентов солености и плавучих солнечных установок, ВИЭ для движения океанских судов и ряд других новых направлений. Россия омывается тринадцатью морями, ее водная граница простирается на 40 тыс. км., площадь морских пространств, находящихся под суверенитетом или юрисдикцией РФ, составляет около 7,5 млн. кв. км. Совокупные энергетические морские ресурсы в нашей стране колоссальны, особенно в Арктическом и Дальневосточном бассейнах. Важно также, что в последние годы возрождается российское присутствие в Мировом океане. В настоящем докладе рассматриваются наиболее важные зарубежные тренды и проекты, морские энергетические ресурсы нашей страны и имеющийся научно-технологический задел в этом перспективном для российской энергетической и судостроительной промышленности новом сегменте экономики - возобновляемой энергетики глубоководного шельфа, морей и океанов (энергетики Мирового океана - ЭМО) [2]. В последние годы за рубежом уже внедрены десятки морских демонстрационных и коммерческих энергоустановок. Наблюдается тенденция роста единичных мощностей типового ряда автономных энергетических блоков ЭМО и размещение их все дальше от берега в открытом океане. Из отдельных блоков достаточно быстро и поэтапно можно составлять энергетические фермы мощностью в сотни мегаватт, а также их удобно поднимать при ремонте или переставлять в другое место. Важно, что для создания таких блоков и ферм применяются уже не сложные проекты прибрежного гидроэнергетического строительства, а оффшорные или океанские судостроительные и подводные технологии. Стремительно формируется новый мировой сектор рынка ЭМО в десятки миллиардов долларов, в котором участвуют ведущие зарубежные энергетические, судостроительные, военно-промышленные и финансовые компании. Разработка и внедрение установок ЭМО проводится в рамках программ низкоуглеродной технологической энергетики ведущих стран мира, направленных на переход от централизованной генерации крупных традиционных тепловых и атомных электростанций к децентрализованной выработке электроэнергии от распределенной сети ВИЭ. Наблюдаемые тренды в ЭМО характерны для инновационного технологического сценария энергетического развития (быстрый рост числа различных автономных ВИЭ, развитие дальних линий передачи электроэнергии, развитие технологий «умных» сетей, внедрение комплексов «природный газ, ВИЭ и блоки хранения энергии и т.п.) с сочетанием стагнационного сценария (значительное использование государственного, нормативно-регулятивного и системного управления). Например, десять стран ЕС с инвестиционной программой на сумму около 30 миллиардов евро планируют создать к 2030 году электрическую сеть ( Smart Grid) в Северном море, которая позволит объединить сухопутные ветровые, солнечные ВИЭ и традиционные установки всех этих стран с морскими установками энергии ветра, волнения и приливных течений.

*Ветер в море.* Только в Европе уже к 2020 году ожидается рост установленных мощностей стационарных оффшорных ветровых установок по сравнению с уровнем

2014 года в Великобритании на 7 ГВт, Германии на 6 ГВт, Нидерландах, Франции, Дании в каждой стране на 2 ГВт, что обеспечит суммарную мощность таких ВИЭ до 28 ГВт. В омывающих Великобританию водах было выявлено десятки зон, из них девять глубоководных, пригодных для установки морских ветровых ферм суммарной мощностью более 40 ГВт, призванных обеспечить годовой доход порядка 8 млрд. GBP. А проект морской фермы London Array, состоящей из 341 ВЭУ мощностью до 3 МВт, удаленных на 22 км от побережья, суммарной мощностью 1000 МВт является одним из самых больших в мире и обеспечит снижение объема выбросов углекислого газа почти на 2 млн. тонн в год [2]. По прогнозам компании RenewableUK к 2020 году в Великобритании коммерческая стоимость энергии от оффшорного ветра будет составлять 100 GBP /МВт-ч. На встрече министров энергетики 23 стран мира в 2012 году было подписано соглашение о сотрудничестве в разработке морских ветровых технологий в водах с глубинами более 60 метров, где от установленной мощности обеспечивается отдача намного выше, чем в береговых водах. Размещение плавучих ВЭУ в открытом океане решает основную проблему ветроэнергетики, связанную с недостатком свободных и дорогих площадей на суше. Компания Principle Power (США) первой разработала инновационный проект плавучей ВЭУ WindFloat и провела испытания установки мощностью 2 МВт в Атлантическом океане в 200 км от берегов Португалии. Главное достижение компании – это создание полупогружных стабилизирующих поплавков, обеспечивающих устойчивость огромной ветровой установки в любую погоду. За весь период морских испытаний крен не превышал 7 градусов. В США уже выделено 47 млн. USD для создания к 2017 году энергетической фермы из 5-ти плавучих ветровых установок, мощностью по 6 МВт каждая у побережья Орегона в районе с глубинами 350 м. Ряд других зарубежных стран также активно разрабатывает свои плавучие ветровые установки. Эксперты прогнозируют, что переход ветровой энергетики в открытое море будет сопоставим с бумом нефтегазовой промышленности в 70-х годах, когда углеводородное сырье начали добывать со дна океана. Наибольшие ветровые ресурсы в России сосредоточены на побережьях и в акваториях северных и восточных морей, особенно во льдах и на островах Арктики, где особенно перспективно использование ветровых ферм мощностью 100–200 МВт на плавучих или льдоустойчивых платформах [2].

*Ветровое волнение.* Волновой энергетикой занимаются десятки компаний по всему миру. Одним из наиболее успешных проектов является волновой буй PowerBuoy компании Ocean Power Technologies (OPT) вследствие использования подводных и океанских технологий, обеспечивших путем автоматической настройки эффективную работу энергоустановки в постоянно меняющихся условиях окружающей среды (от минимальной высоты волны и до максимального волнения, например, в условиях урагана Ирена). С 2012 года совместно с корпорацией Lockheed Martin началось создание у берегов США первого энергетического волнового парка, состоящего из сотен таких буюв мощностью 150 кВт каждый, с планируемой общей мощностью 50 МВт. Аналогичный проект с заявленной мощностью 100 МВт и стоимостью 66 млн. USD, реализуется у побережья Австралия. Планируется экспорт этих технологий по всему миру. Компания OPT продолжает расширение своей линейки энергобуюв. Недавно в Шотландии закончились морские испытания нового буя «Mark 3 PowerBuoy», длиной 43,5 м и диаметром поплавок 11,5 м, общим весом 180 т. Реально была получена мощность 866 кВт при высоте 6 м. Сейчас компания OPT разрабатывает гигантский буй «Mark4 Power Tower», единичной мощностью 2,4 МВт. Крупные проекты волновых энергетических ферм реализуют также шотландская компания Pelamis (150 МВт) при поддержке энергетической компании E.ON, корпорация DCNS (16 МВт) и ряд других фирм [3]. Капитальные расходы на создание волновых ферм к 2020 году оцениваются в 3000 EUR /кВт, а выровненная стоимость электроэнергии (LCOE) для волновой фермы

мощностью 10 МВт составит по данным IRENA около 330 EUR/МВт-час и к 2030 году ожидается снижение этой величины до 115-200 EUR/МВт-час. В России волновая энергетика имеет большие перспективы. Так, например, удельная мощность энергии волнения составляет для Баренцева моря – 29 кВт/м, а для Охотского – 30 кВт/м. Беренгово море характерно сильными и продолжительными штормами с высотой волн до 14-16 м. Значительная волновая активность наблюдается осенью и зимой также в Черном и Каспийском морях [2,3].

*Приливные течения.* Одним из очень перспективных направлений ЭМО стала энергетика приливных течений на шельфе, реализация коммерческих проектов которой обеспечивают также необходимый задел для использования в будущем энергии разнообразных течений непосредственно в морях и океанах. Океанские приливы характерны надёжной предсказуемостью. Большими потенциальными ресурсами приливной энергии располагают многие страны и, важно отметить, среди них почти все государства содружества БРИКС (Бразилии, Россия, Индия и Китай). В последние годы за рубежом быстрыми темпами стали развиваться технологии, позволяющие использовать кинетическую энергию приливо - отливных течений непосредственно в потоке без сооружения специальных трудоёмких и дорогостоящих плотин [2,4]. Лопасти подводных турбин совершают всего около десяти оборотов в минуту, поэтому отсутствует негативное воздействие на окружающую среду. Такие подводные энергоблоки, мощностью от нескольких мегаватт, можно собирать на небольших заводах и верфях, тиражировать большими сериями, легко перевозить в избранную точку акватории и, главное, быстро устанавливать на любом грунте практически без специальных долговременных трудоёмких изысканий с малым объемом подготовительных работ. К настоящему времени различными компаниями уже создано более 40 демонстрационных и коммерческих установок энергии приливных течений. Первая в мире коммерческая подводная установка энергии течений SeaGen компании МСТ мощностью в 1,2 МВт при скорости течения 2,4 м/с была подключена к энергосистеме Великобритании в 2008 году. А в настоящее время в Шотландии компания МСТ с помощью концерна Siemens, купившего около 90% её акций, намерена развернуть 66 подобных турбин суммарной мощностью 99 МВт. Британская компания Atlantis Resources Co при финансовой поддержке американского банка Morgan Stanley создала подводную установку AR1000 мощностью 1,0 МВт, высотой 23 м и массой 1300 т, которая устанавливается на дне на массивной раме и состоит из двух гидротурбин с диаметром рабочего колеса 18 м, каждая с тремя лопастями. Недавно компания при поддержке оборонного концерна Lockheed Martin (США) и норвежской энергетической компании Statkraft приступила к реализации крупнейшего в Европе проекта «MeuGen», предполагающего создание у побережья Шотландии энергетической подводной фермы конечной суммарной мощностью 398 МВт. Ещё один крупный проект компания Atlantis пытается развивать в Индии, где совместно с местной компанией GPCL планирует создание в заливе Каче подводной энергетической фермы мощностью в 250 МВт. Компания имеет совместные проекты и с Китаем. Британская компания Lunar Energy Ltd создала подводную турбину мощностью 1,2 МВт и разрабатывает новую установку мощностью уже в 2,4 МВт. В настоящее время эта компания при поддержке концерна E.ON подписала ряд соглашений о намерениях в Северной Америке, Великобритании, Канаде, Австралии и Китае, а также меморандум с корейскими компаниями Hyundai и Midland о создании у берегов Южной Кореи крупнейшей приливной подводной фермы мощностью 300 МВт и стоимостью около 500 млн. GBP. Вообще в Корее решили идти альтернативным путем: в удобном створе строят плотинную ПЭС, а в пяти других местах с большими скоростями приливных течений, например в акватории Incheon, энергетические фермы мощностью до 200 МВт каждая на базе новых технологий. Тоже самое наблюдается в Канаде и Великобритании. Прогнозируемая выровненная

стоимость электроэнергии (LCOE) на 2020 год для установок энергии приливных течений составляет по данным IRENA около от 170 до 250 EUR/МВт-час. В настоящее время при участии корпорации DCNS и энергетической компании EDF создается на глубине 115 метров шельфа Франции первая в мире коммерческая подводная энергетическая ферма, состоящая из четырех подводных турбин OpenHydro мощностью 2 МВт каждая. В 2014 года компания OpenHydro подписала договор с компанией Alderney Renewable Energy (ARE), о создании в водах острова Олдерни энергетической фермы в 300 МВт, состоящей из 150 подводных турбин. Планы корпорации при поддержке энергетических холдингов Alstom и GDF Suez распространяются также на острова Великобритании, побережье Северной Ирландии, канадский залив Фанди, залив Пьюжен Саунд в США и заливы Индии, а в перспективе и по всему миру. Подобные коммерческие установки имеются в Великобритании, США, Норвегии и других странах. Еще более 25 лет назад в ИО АН СССР были созданы и испытаны в натуральных условиях макеты первых подобных свободнопоточных преобразователей на базе ротора Савониуса и различных вариантов лопастных турбин для автономных буйковых океанских станций малой мощности. Интересно отметить, что недавно шотландской компанией Nautricity была объявлена инновационной, очень похожая на нашу, технология подводной турбины CoRMaT мощностью 500 кВт, использующей два ротора с лопастями, вращающимися в разные стороны. Силовой блок этой турбины также расположен в маслозаполненном боксе [4]. В наших Баренцевом и Охотском морях скорости течений достигают 2,5 м/с, а в горле Белого моря и в проливах между Курильскими островами даже до 4-6 м/с [2]. Большие скорости течений до 2 м/с, а в отдельных проливах до 5 м/с наблюдаются и в Беренговом море. В этих акваториях возможна установка, в том числе и подо льдом, энергетических ферм, состоящих из десятков подводных блоков единичной мощностью до 2 МВт каждый. Очевидно, что в условиях нынешнего острого дефицита финансирования инвестиционных программ Минэнерго, появляется необходимость серьезного пересмотра проектов развития приливной энергетики в России с привлечением независимых экспертов для оценки экономической и экологической эффективности различных технологий. Возможно, что при использовании автономных подводных турбин совместно с плотинными проектами или отдельно от них, во всех планируемых местах Баренцева, Белого и Охотского моря будет получена необходимая суммарная установленная мощность при гораздо меньших временных и финансовых затратах, чем от реализации только ранее разработанных проектов ПЭС. Кроме того, отсутствие необходимости привязки к конкретным створам, выбранным в результате длительных разнообразных изысканий, позволит постепенно устанавливать сети распределенных подводных турбин дополнительной мощности и в других различных местах этих и Беренгово морей, в том числе и подо льдом. Это может позволить обеспечить быструю окупаемость инвестпрограмм за счет договоров на поставку мощности с многочисленными отдельными потребителями, расположенными вдоль побережья. Такой подход может стать ключевым для развития инфраструктуры и нефтегазового комплекса Арктического и Дальневосточного регионов, особенно после недавнего возвращения по решению ООН статуса Охотского моря в качестве полностью российского [4].

*Тепло океана в тропиках.* Среди возобновляемых источников только тепловая энергия океана, определяемая разницей температуры поверхностных и глубинных вод, в тропической зоне доступна стабильно и непрерывно круглый год [5,6]. Поэтому, даже в периоды низких цен на природное топливо, исследования по этому направлению ЭМО проводились постоянно десятками компаний различных стран. В Японии экспериментально исследовались новые циклы Калина и Уэхара для тепловых преобразователей (ОТЕС), в США разрабатывались гибридные схемы ОТЕС и проводились испытания трубопроводов, насосов и теплообменников, на полигоне

Института океанских технологий (NIOT) в Индии изучались новые элементы ОТЕС. Концерн Lockheed Martin уже более 40 лет планомерно занимается разработками технологий плавучих ОТЕС мощностью до 100 МВт для баз ВМС США около Гавайев, в водах Пуэрто-Рико, на островах Диего-Гарсия, Маршалловых островах и острове Гуам, а также и в коммерческих целях. Максимальный коэффициент эффективности ОТЕС не превышает 8%, но до сих пор было достигнуто менее 3 %. Поэтому основной задачей развития таких технологий является повышение эффективности установок за счет совершенствования теплообменников и других основных элементов, снижения собственных затрат, разработки экономичных способов создания и размещения в океане трубопроводов холодной воды. Для планомерного исследования элементов ОТЕС на острове Гавайи в 80-х годах был создан береговой центр «Национальная энергетическая лаборатория» (NELHA), оснащенный системой подачи воды с глубины по нескольким трубопроводам. В 1991 году автор настоящего доклада от ИОАН СССР подписал соглашение с Институтом Океанографии Кубы о создании на острове Международной лаборатории Энергетики океана, аналогичной NELHA, но изменившаяся политическая ситуация перечеркнула этот проект. В 2013 году концерн LM подписал соглашение с пекинской компанией Reignwood о создании на юге Китая уже к 2017 году первой в мире коммерческой плавучей ОТЕС мощностью 10 МВт. Большие планы также у французской корпорации DCNS, которая приступила к работам по проектам ОТЕС мощностью до 10 МВт для на острове Реюньон в Индийском океане, на тихоокеанского острова Таити, а также на острове Мартиника в Карибском регионе. Корпорация разработала долгосрочную программу по всем направлениям возобновляемой ЭМО и для её реализации создала специальный инжиниринговый Центр в г. Брест. Активно ведутся также работы в области тепловой ЭМО в Японии, Южной Кореи, Нидерландах, Малайзии, Филиппинах и ряде стран Африки. Важно, что помимо электроэнергии, ОТЕС может производить большие объемы пресной воды, в которой человечество нуждается все острее. Так, например, гибридные ОТЕС мощностью 50 МВт могут давать 62 тыс. м<sup>3</sup> воды в день, что обеспечивает потребности около 30000 человек. Кроме того, 100 МВт ОТЕС может путем электролиза производить около 32 тонн в сутки жидкого водорода для использования его в качестве экологически чистого топлива. В настоящее время капитальные затраты для ОТЕС замкнутого цикла мощностью 10 МВт оцениваются в среднем около 10 тыс. долл. США за кВт, а выровненная стоимость электроэнергии (LCOE) от них около 200 долл.США за МВт-час. Одна ОТЕС мощностью 100 МВт может производить количество энергии за год эквивалентное сжиганию 1,3 млн. баррелей нефти, что обеспечит снижение выбросов углекислого газа на 500 млн. тонн и экономию 130 млн.долл. США при цене на нефть около 100 долл.США за баррель. Развитие новых технологий и преимущество ОТЕС инновациям в нефтяной и газовой промышленности делает их конкурентоспособными, особенно на фоне роста стоимости природного топлива и электроэнергии в развивающихся прибрежных государствах и на отдаленных островах. Этому также способствует необходимость обеспечения экологической безопасности и геополитические причины. Всего в мире к настоящему времени насчитывается более 22 мест, где уже реально проектируются или создаются установки ОТЕС [5,6]. Важно, что близко к этим местам находятся районы Мирового океана выделенные России для добычи конкреций, сульфидных руд и кобальтовых корок.

*Тепловая энергия океана высоких широт.* В российской Арктике осенью, зимой и весной наблюдаются значительные разности температуры между относительно теплой подледной водой и морозным наружным воздухом, что может быть также использовано для производства электроэнергии или водорода. Например, в акватории Новосибирских островов за год бывает всего 2 - 4 дня с температурой воздуха выше минус десяти



градусов, а в некоторых местах Полярного океана температура достигает зимой 50 градусов Цельсия. При разности температур в 10 градусов доступная удельная мощность составит примерно 8 кВт / кв. м, при 20 градусов - 60 кВт / кв. м и при 30 градусов - 125 кВт / кв. м [1,5,6]. В СССР проводились исследования по этому направлению и был разработан ряд проектов. Несмотря на многие недостатки АОТЕС, зарубежные достижения в области развития ОТЕС для тропиков позволяют более оптимистично оценивать возможности их создания и внедрения в Арктике и Антарктике.

*Микроэнергетика океана.* Одной из главных задач концепции ФЦП «Мировой океан» на 2016-2031 годы является «развитие научного потенциала, позволяющего удовлетворять приоритетные нужды России в сфере исследования Мирового океана». Ещё более четверти века назад в ИОАН СССР была разработана концепция «микроэнергетики океана», направленная на обеспечение энергоснабжения автономных средств долговременных океанологических исследований за счет возобновляемой энергии океана [7,8]. Сегодня уже подводные и поверхностные аппараты большими сериями используются за рубежом в Международных программах ЕС исследования океана GROOM и PLACON и Глобальной программе океанских наблюдений GOOS. К ним относится, например, подводный аппарат - беспилотник SLOCUM (США) с глубиной до 1,5 км, использующий тепловую энергию океана, что обеспечивает его непрерывную работу в течение нескольких лет. Аппарат этого типа совершил автономное плавание через Атлантический океан за 221 дней. На целом ряде поверхностных аппаратов используется возобновляемая энергии океана, например, солнечная и ветровая энергия на британском морском беспилотнике «С-Enduro», волновая и солнечная энергии на американском аппарате «Wave Glider» и т.д. Возобновляемая ЭМО, в сочетании с новейшими коммуникационными, подводными и судостроительными технологиями, позволяет создавать не имеющие аналогов морские робототехнические средства и системы для долговременных непрерывных наблюдений, сбора и передачи данных. Фактически это обеспечивает новую парадигму проведения долговременных высококачественных исследований и наблюдений в прибрежной зоне, морях и океанах без использования очень дорогих по затратам судов и кораблей для накопления и использования информации в ЕСИМО, а также для охраны морской границы России [7, 8]. Если условно считать, что Россия будет проводить всеми ведомствами хотя бы только десять двухмесячных экспедиций научно-исследовательскими судами за год, то суммарные расходы на топливо составят при этом порядка 15 млн.долл.США, не считая стоимости ущерба от выхлопных газов. Соответственно, замена хотя бы половины этих судов беспилотниками с высокой автономностью, стоимостью порядка 300 тыс.долл. США каждый, может дать общую экономию около 8 млн.долл.США в год. Но, фактически, для решения всех задач новой ФЦП «Мировой океан» в масштабе страны понадобится гораздо больше судов и большей суммарной длительности их использования, поэтому перспективы экономии за счет автоматизации океанологических исследований просто огромны.

Анализ глобального рынка ЭМО показывает, что зарубежные компании ведут активную работу по экспорту своих технологий в различные страны мира и расширения там своего геополитического влияния. Целесообразно также и нам оценить возможности научно-технической кооперации в этой области со странами БРИКС. В фундаментальных исследованиях и НИР по проектам ЭМО участвовали ИОАН СССР, ИПМТ ДВО АН СССР, ЭНИН им. Г. М. Кржижановского, МЭИ, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО АН СССР, МФТИ и ряд других организаций страны, но в современной России такие работы, кроме как в приливной энергетике, целенаправленно практически не ведутся до сих пор. Однако анализ зарубежных технологий и ревизия оставшихся материалов работ прошлых лет может обеспечить сегодня начальный научно-технический задел для быстрого развития всех направлений возобновляемой

ЭМО с позиций политики импортозамещения, энергосбережения и инновационной экономики, что также может значительно повысить уровень занятости специалистов промышленного сектора. Развитие ЭМО в нашей стране может быть перспективно для создания в Арктике и на Дальнем Востоке автономной роботизированной сети мониторинга нефтегазовых акваторий и охраны морской границы России, развития там экологически чистой инфраструктуры, размещения в Мировом океане плавучих пунктов материально-технического обеспечения судов и кораблей, энергообеспечения районов добычи сульфидных руд, кобальтовых корок и конкреций, экспорта технологий ЭМО и, особенно, с геополитической точки зрения. Необходимо рассматривать проекты ЭМО как единое целое, а не отдельно «Отделом энергетики» и отдельно «Отделом Мирового океана», что практикуется еще со времен ГКНТ СССР. Для этого требуется широкая межведомственная координация разработок в области физической и оперативной океанологии, традиционной и возобновляемой энергетики, подводной и океанской техники, оффшорных и судостроительных технологий, электромашиностроения и новейших современных материалов, надежных и долговечных в морской среде, что могло бы стать одной из главных задач экспертного сообщества Научного совета РАН по нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, ТП «Освоение океана», ТП «Перспективные технологии возобновляемой энергетики» и ТП «Малая распределенная энергетика». Для реального развития всех направлений ЭМО в России наиболее эффективным было бы учреждение заинтересованными институтами государственной власти, компаниями и корпорациями Инжинирингового центра «Энергетика Мирового океана» при поддержке ФАНО и Минобрнауки, подобного многочисленным организациям такого рода имеющимся уже во Франции, Японии, США, Великобритании и других ведущих зарубежных странах.

#### Список литературы:

2. Морская доктрина Российской Федерации, Журнал «Морская политика России», № 13, М, 2015 г., стр.54
3. Горлов А.А. Возобновляемая энергетика Мирового океана, Журнал РАН «Энергия: экономика, техника, экология», № 4, М, 2014 г., стр.9- 15
4. Горлов А.А. Энергия ветрового волнения, Журнал РАН «Энергия: техника, экономика, экология». № 2, М, 2015 г., стр.30-40
5. Горлов А.А. Возобновляемая энергетика океанских течений, Журнал РАН «Энергия: экономика, техника, экология». № 11, М, 2014 г., стр.30-39
6. Горлов А.А. Тепловая энергия Мирового океана. Материалы Второго международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности», (REENFOR 2014), М, 2014 г., стр.121-129
7. Горлов А.А. Энергетика тепла океана, Журнал РАН «Энергия: экономика, техника, экология». № 10, М, 2015 г.
8. Горлов А.А. Возобновляемые источники энергии для повышения экономической эффективности исследований Мирового океана. Материалы Первого международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности (REENFOR 2013)», М, 2013 г., стр.129-133
9. Gorlov A.A. Renewable energy sources for enhancement of World Ocean investigations efficiency, Energy Bulletin, Sustainable Energy Development, International Centre under the auspices of UNESCO, № 18, М, 2014 г., pp.13-30

**ВЕТРО - ДИЗЕЛЬНЫЕ И ВЕТРО-СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ  
ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАК ОСНОВА  
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ  
WIND -DIZEL COMPLEXES OF UNINTERRUPTED POWER SUPPLY AS  
FUNDAMENTALS OF THE DISTRIBUTED POWER**

**Грибков С.В., Безруких П.П.**

<sup>1</sup>ФГУП ЦАГИ им.проф. Н.Е. Жуковского

<sup>2</sup>ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского»

**Gribkov S.V., Bezrukih P.P.**

<sup>1</sup>The Central Aerohydrodynamic Institute named after N.E. Zhukovsky (TsAGI)

<sup>2</sup>JSC G.M. Krzhizhanovsky Power Engineering Institute

В статье рассматриваются вопросы организации энергоснабжения удаленных поселений, на примере поселений Кольского полуострова, и прочих объектов неценовой зоны от ветро - дизель-генераторных и с применением аккумуляторных накопителей энергии. Приводятся блок-схема, уравнения баланса энергии при работе только ветроустановки и совместной её работы с дизель - генератором, а так же диаграммы рабочих процессов в ветро-дизельной системе автономного электроснабжения. Приводятся экономические показатели эффективности применения ветро-дизельной системы гарантированного электроснабжения.

In article questions of the organization of power supply of remote settlements, on the example of settlements of the Kola Peninsula, and other objects of not price zone from a wind - diesel-generator and with use of accumulator stores of energy are considered. The equations of balance of energy are given the flowchart, during the operation only of the wind turbine and its joint work about the diesel - the generator, and also charts of working processes in wind-diesel system of autonomous power supply. Economic indicators of efficiency of use of wind-diesel system of the guaranteed power supply are given.

**Ключевые слова:** дизель-генератор, ветро-дизельные комплексы, ветро-солнечно-дизельные комплексы, гарантированное электроснабжение, ВЭУ, аккумулирование энергии, системы электроснабжения, возобновляемые источники энергии

**Keywords:** the diesel generator, wind-diesel complexes, ветро - solar and diesel complexes, the guaranteed power supply, VEU, accumulation of energy, system of power supply, renewable power

Основным источником электроснабжения удаленных поселений неценовой зоны мощностью до 100 кВт являются дизель-генераторные установки, для функционирования которых необходим завоз дизельного топлива и масла. Объемы завозимого топлива весьма значительны и составляют десятки и сотни тонн. Учитывая, что удаленные поселения находятся зачастую и в труднодоступных местах, то значительную часть стоимости топлива начинают составлять транспортные расходы. Например, стоимость топлива в селах Каневка и Краснощелье Ловозерского района Мурманской области достигает до 62 руб/т, а это далеко не самые удаленные поселения России. А к таким районам можно отнести практически все Северные территории России, острова, Дальне-Восточные территории, Камчатку, Курильские острова, Краснодарский, Красноярский край, Республику Саха, Коми-Пермяцкий Национальный округ, даже некоторые территории центральной России - Калмыкию, Ставропольский край, и др.

Вместе с тем, вблизи этих поселений или в них самих имеют значительные ветроэнергетические потенциалы, составляющие более 5,5 м/с, что является вполне достаточным для эффективной работы ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Рассмотрим, в качестве примера, одно из таких удаленных поселений Кольского полуострова Терского района - малочисленное поселение Пялица. Электроснабжение, которого осуществлялось от дизель-генераторов: АД-16С-Т400-2Р «Азимут» мощностью 16 кВт и АД-30 мощностью 30 кВт, работающих поочередно в зависимости от нагрузки всего по восемь часов сутки. На рисунке 1 показана диаграмма энергопотребления жителями поселения Пялица.

На рисунке 2 представлены графики круглогодичной ветровой ситуации и суточной активности ветров в районе поселения Пялица.

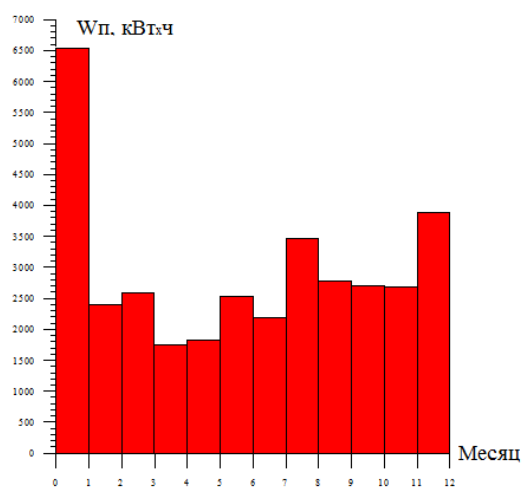


Рис. 1 Энергопотребление поселения Пялица по месяцам в 2012 году

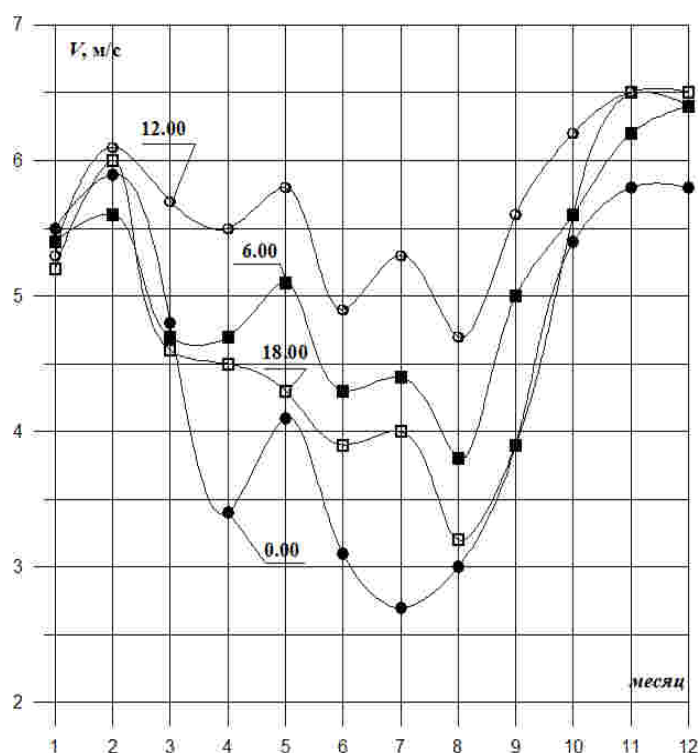


Рисунок 2 Ветровая ситуация в районе поселения Пялица Терского района Мурманской области

Для таких удаленных поселений весьма эффективным окажется применение ветродизельных комплексов. Использование накопителей энергии в ветряный периоды суток позволит обеспечить питание потребителей и в безветренное время суток, а применение в качестве резервного источника питания дизель-генератора обеспечит и гарантированное электроснабжение вне зависимости от климатических условий. Кроме того, рост энерговооруженности поселения позволит увеличить численность поселения, которое занимается рыболовством, сельским хозяйством и сбором даров леса.

Структурная схема такого ветро-дизельного комплекса гарантированного электроснабжения представлена на рисунке 3.

В зависимости от ветровой ситуации и от выбранного алгоритма работы первичных источников энергии - ВЭУ и дизель-генератора, зависит уровень замещения работы дизель-генератора и, соответственно, уровень экономии топлива. С этой точки зрения наиболее перспективным является режим работы ВЭУ и дизель-генератора работающих на заряд аккумуляторной батареи, состоящей из одной или нескольких параллельно соединенных групп последовательно соединенных нескольких аккумуляторов. Контроль заряда аккумуляторов от ВЭУ осуществляется контроллером заряда аккумуляторов КЗА ВЭУ, а от дизель-генератора - КЗА ДГ. Питание потребителей энергии постоянного тока осуществляется непосредственно от аккумуляторной батареи, а переменного тока через инвертор. При работающем дизель - генераторе питание нагрузки происходит от дизель-генератора. Выбор источника питания осуществляется автоматом ввода резерва АВР. При работе дизель-генератора осуществляется и заряд аккумуляторов до номинального значения напряжения аккумуляторов, или несколько меньшего, что позволяет обеспечить экономию топлива, и продолжить дальнейший заряд аккумуляторов в случае появления ветра от ВЭУ.

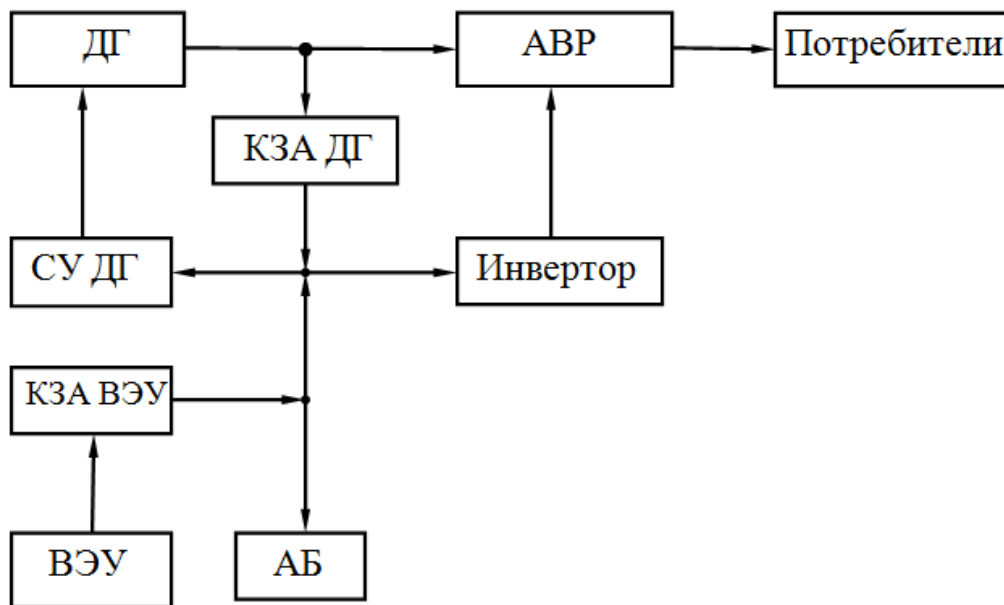


Рис. 3 Блок-схема ветро-дизельной комплекса

Величина выходной мощности ВЭУ -  $P_{ВЭУ}$  определяется геометрическими размерами ветроколеса установки - площадью ометаемой поверхности ветроколеса  $S_{ом}$ , качеством ветроколеса, т.е. коэффициентом преобразования энергии ветра -  $\xi$ , и зависит от плотности воздуха -  $\rho$ , КПД генератора  $\eta_g$ , КПД мультипликатора -  $\eta_m$ , а при его отсутствии  $\eta_m = 1$ , и зависит от скорости ветра  $V$

$$P_{ВЭУ} = \rho \xi \eta_g \eta_m \frac{S_{ом} V^3}{2}, \quad (1)$$

где:  $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$  - удельная плотность воздуха при  $t=18^\circ\text{C}$  на уровне моря..

За время работы ВЭУ -  $T_{ВЭУ}$  через контроллер заряда КЗ ВЭУ будут заряжаться аккумуляторы до номинального значения напряжения. В случае номинального напряжения 48 В, максимальная величина напряжения аккумуляторов достигнет 57 В. После чего аккумуляторы перестают заряжаться, а ветроустановка, в зависимости от исполнения, переходит в режим холостого хода с постоянной частотой вращения, которая поддерживается либо центробежным, либо аэродинамическим регулятором, либо за счет включения балластной нагрузки генератора, либо путем остановки ветроколеса и соответственно генератора.

Величина энергии, накопленной в аккумуляторе определится выражениями:

$$W_{AB} = \int_0^{T_{BЭУ}} i_{AB}(t)u_{AB}(t)dt \leq \int_0^{T_{BЭУ}} P_{BЭУi}(t)dt - \int_0^{T_{BЭУ}} P_H(t)dt = \sum_{i=1}^k P_{BЭУi}\Delta t_i - \sum_{l=1}^m P_H(t_l)\Delta t_l \quad (2)$$

$$W_{AB} \leq E_{AB} \quad (3)$$

где:  $i_{AB}(t)$  – ток заряда аккумуляторной батареи;

$u_{AB}(t)$  – напряжение аккумуляторной батареи;  $E_{AB}$  – номинальная емкость аккумуляторной батареи;

$P_{BЭУi}$  – мощность, развиваемая ВЭУ в момент времени  $t_i$ ;

$P_H(t_l)$  – мощность нагрузки потребителей в момент времени  $t_l$ ;

$\Delta t_l$  – элементарная длительность времени, при котором мощность нагрузки постоянна;

$k$  - число элементарных интервалов разбиения времени работы ВЭУ;

$m$  - число элементарных интервалов разбиения времени питания нагрузки, при которых мощность нагрузки постоянна.

Если выражение (2) не соблюдается, или напряжение аккумуляторной батареи уменьшилось менее 42 В за счет расходования энергии, питающей нагрузку, то происходит включение дизель-генератора, который начинает заряжать аккумуляторную батарею и обеспечивать питание потребителей энергии в соответствии с уравнением (4). Переключение питания потребителей от аккумулятора через инвертор на дизель-генератор осуществляется с помощью АВР.

$$P_{дг}(t) = P_H(t) + P_{AB}(t) = P_H(t) + i_{AB}(t)u_{AB}(t) \quad (4)$$

Как показывает опыт эксплуатации комплексов гарантированного электроснабжения, желательно чтобы мощность дизель-генератора была не менее удвоенной мощности нагрузки, что обеспечивает надежный заряд аккумуляторной батареи в безветряный период, т.е. должно выполняться условие

$$P_{дг} = P_{AB} + P_H \geq 2P_H \quad (5)$$

За время работы дизель-генератора  $T_{дг}$  напряжение аккумуляторной батареи будет увеличиваться до 46 В, после чего дизель-генератор отключится и нагрузка будет питаться от аккумулятора.

Баланс энергии при работе дизель-генератора определится выражением (6):

$$W_{дг} = \int_0^{T_{дг}} P_H(t)dt + \int_0^{T_{дг}} i_{AB}(t)u_{AB}(t)dt \quad (6)$$

В случае появления ветра, будет происходить одновременный заряд аккумуляторной батареи от ВЭУ и от дизель-генератора до величины напряжения на аккумуляторе 46 В. После чего дизель-генератор отключится. Дальнейший же заряд аккумуляторной батареи и питание нагрузки будет происходить только от ВЭУ.

Ветроэнергетические комплексы, построенные по такой структуре, в зависимости от ветровой ситуации и дизель-генераторах со стабильной частотой вращения могут обеспечить значительную экономию топлива, достигающую от 30 до 80% и более. Лучшие результаты могут быть достигнуты при использовании дизель-генераторов с переменной частотой вращения, за счет более экономичного потребления топлива в зависимости от мощности нагрузки [4].

Осциллограмма процессов работы ветро-дизельной станции представлена на рисунке 4.

На временных интервалах, где мощность, вырабатываемая ВЭУ, превосходит мощность, потребляемую нагрузкой, происходит заряд аккумуляторной батареи, в случае же недостаточной мощности ВЭ, питание нагрузки осуществляется от аккумуляторов, а при их разряде - от дизель-генератора, одновременно с этим происходит заряд аккумуляторов.

На интервалах, где мощность, вырабатываемая ВЭУ, превосходит мощность, потребляемую нагрузкой, происходит заряд аккумуляторных батарей, в случае же недостаточной мощности ВЭУ или она меньше мощности, потребляемой нагрузкой, питание нагрузки осуществляется от аккумуляторов, а при их разряде - от дизель-генератора, одновременно с этим происходит и заряд аккумуляторов.

Проведенная оценка окупаемости ветро-дизельных станций показывает, что срок их окупаемости зависит от применяемого оборудования и условий работы ветроустановок. Сделанные расчеты для условий применения таких комплексов на севере, востоке и юге Кольского полуострова показывают, что комплексы окупаются за срок от 3-х до 5-ти лет.

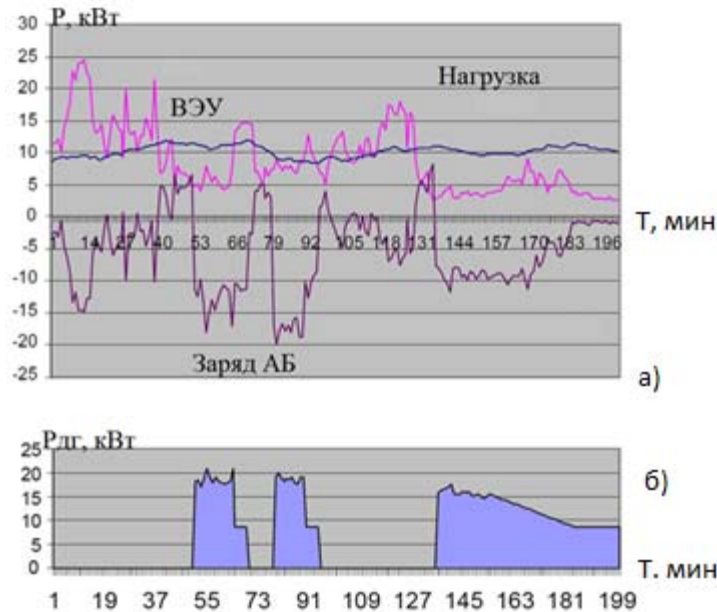


Рис. 4 Диаграмма рабочих процессов в ветро-дизельной установке.

- а) Диаграммы питания нагрузки, работы ВЭУ и заряда-разряда аккумуляторов;  
 б) Диаграмма работы дизель-генератора.

Часто в качестве дополнительного основного источника, использующим другой вид возобновляемой энергии - энергию солнца, используют ветро-солнечно-дизельные станции [6,8,9]. Принцип работы которых мало отличается от работы ВЭУ в ветро-дизельной станции. Структурная схема ветро-солнечно-дизельного комплекса гарантированного электроснабжения представлена на рисунке 5. Заряд аккумуляторной батареи осуществляется контроллером заряда КЗА СБ. В таких комплексах возможны режимы как совместной, так и раздельной работы первичных источников энергии.

Комплексы гарантированного электроснабжения могут работать в полностью автоматическом режиме, а информацию об их работе и об их состоянии может передаваться на диспетчерские пункты системой телеметрии по радио или GSM каналам. В связи с этим к комплексам предъявляются особые требования по безопасности эксплуатации, пожаробезопасности и охранним системам.

По представленной блок-схеме в 2014 году была построена опытная ветро-солнечно-дизельная станция в деревне Пялица (рисунок 6). В состав оборудования входят четыре ВЭУ по 5 кВт, солнечная станция мощностью 12 кВт и два дизель-генератора по 20 кВт. Эксплуатация её показала, что даже при перебоих работы ветроустановки по техническим причинам происходит экономия топлива до 60%, что позволяет говорить об эффективности применения возобновляемых источников в северных широтах.

### Выводы

Для обеспечения режима экономии топлива дизельными станциями с малым потреблением энергии целесообразно применять в регионах с устойчивыми ветрами ветро-дизельные и ветро-солнечно-комплексы гарантированного электроснабжения.

Применение ветро-дизельных и ветро-солнечно-дизельных комплексов позволит обеспечить гарантированное круглосуточное электроснабжение и экономию дизельного топлива.

Уровень замещения дизель-генератора определяется стабильностью и величиной возобновляемых источников энергии.

Окупаемость ветро-дизельных комплексов при благоприятных ветровых ситуациях составляет от трех до пяти лет.

Ветро-дизельные и ветро-солнечно-дизельные комплексы могут успешно работать в автоматическом режиме.

Применение ветро-солнечно-дизельных комплексов эффективно даже в условиях северных широт.

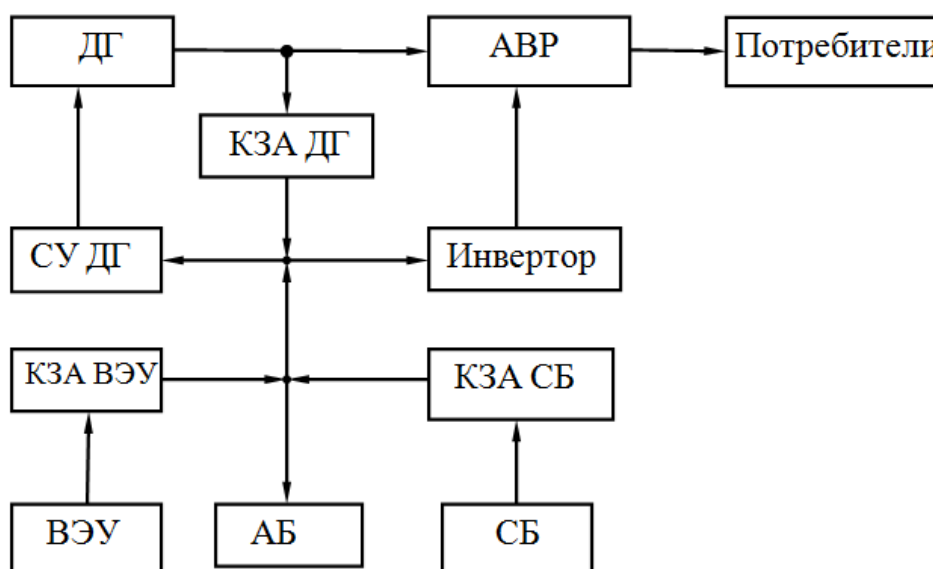


Рис. 5. Блок-схема ветро-солнечно-дизельного комплекса гарантированного электроснабжения потребителей



Рис. 6. Ветро-солнечно-дизельная станция в деревне Пялица Терского района Мурманской области.



**Список литературы:**

1. Концепция использования ветровой энергии в России. Под ред. Безруких П.П. М.: Комитет ВИЭ РосНИО, 2005, 126с.
2. Безруких П.П., Безруких П.П.(мл.), Грибков С.В. Ветроэнергетика. Справочно-методическое издание/ Под общей редакцией П.П. Безруких. "Интехэнерго-Издат", "Теплоэнергетик", 2014.- 304с
3. Минин В.А. Экономические аспекты развития возобновляемой энергетики малой мощности в удаленных поселениях на Кольском полуострове. Bellona. Мурманск 2011. 47с.
4. Поляков И.С. Дизель-генераторная установка переменной частоты вращения: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.09.03 / Поляков И. С.; [Место защиты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева"].- Нижний Новгород, 2013. 19с.
5. Грибков С.В. Гарантированные источники электроснабжения малой мощности с использованием ВЭУ серии "ВИНДЭК" и солнечных фотомодулей. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 3-й Международной научно-технической конференции (14-15 мая 2003 года, Москва, ГНУ ВИЭСХ). Часть 4. Нетрадиционные источники энергии. Вторичные энергоресурсы. Экология - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2003.-372 с
6. Грибков С.В. Ветро-дизельные энергетические комплексы для районов, удаленных от централизованного энергоснабжения. Вести в Электроэнергетике. Информационно-аналитический журнал. №4 2008г. С16-19
7. Грибков С.В. Сценарий развития ветроэнергетики в России, оборудование для ветродизельных и системных ветростанций. Год 2009. Материалы Международной научно-практической конференции "Энергоэффективность и энергосбережение. Законодательная и нормативная база. Новые энергоресурсосберегающие технологии и оборудование. 19-20 ноября 2009 г.г. Пермь. Материалы VI Международной научно-практической конференции "Возобновляемая и малая энергетика-2009. 10 июня 2009г., г. Москва. с221-229
8. Грибков С.В. Автономные ветроэнергетические комплексы гарантированного питания для электроснабжения агропромышленного комплекса. Энергосберегающие технологии. Проблемы их эффективного использования. Том I. Возобновляемая энергетика: материалы IV и V Международных конференций (8-9 декабря 2009 года и 14-15 декабря 2010 года), г. Волгоград/ Редкол.: И.В. Юдаев [и др.].-Волгоград: ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА.:2011г. -276 с. с87-95
9. Gribkov S.V. System and small wind energy plant. Wind complexily capacity. International Conference of Industrial Technologies and Engineering. Abstract book. M. Auezov. South Kazakhstan State University Shymkent, Kazakhstan. October 30-31, 2014, p.357-365

**МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ВОДРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDROGEN ENERGY: CLEAN AND  
ABUNDANT ENERGY FOR SUSTAINABILITY**

**Дуников Д.О.**

ОИВТ РАН, Москва, Россия

Международная ассоциация водородной энергетики (МАВЭ)

**Dunikov D.O.**

JIHT RAS, Moscow, Russia

International Association for Hydrogen Energy (IAHE), Advisory Board Member

**Hydrogen is the energy of the future**

Hydrogen is widely regarded as an ideal energy carrier for use in the foreseeable future. It can be produced from water using a variety of energy sources, such as solar, nuclear and fossil. It can be converted into useful energy forms efficiently and without detrimental environmental effects. Most energy conversion methods generate only water or water vapor as by-product.

If air is used for flame combustion of hydrogen small amounts of NO<sub>x</sub> are produced. When solar energy is used to produce hydrogen from water, both the primary and secondary forms of energy are renewable and environmentally compatible. This results in an ideal, clean and permanent energy system – the solar hydrogen energy system.

Hydrogen can be used in any application where fossil fuels are being used today, with the sole exception of cases in which carbon is specifically needed.

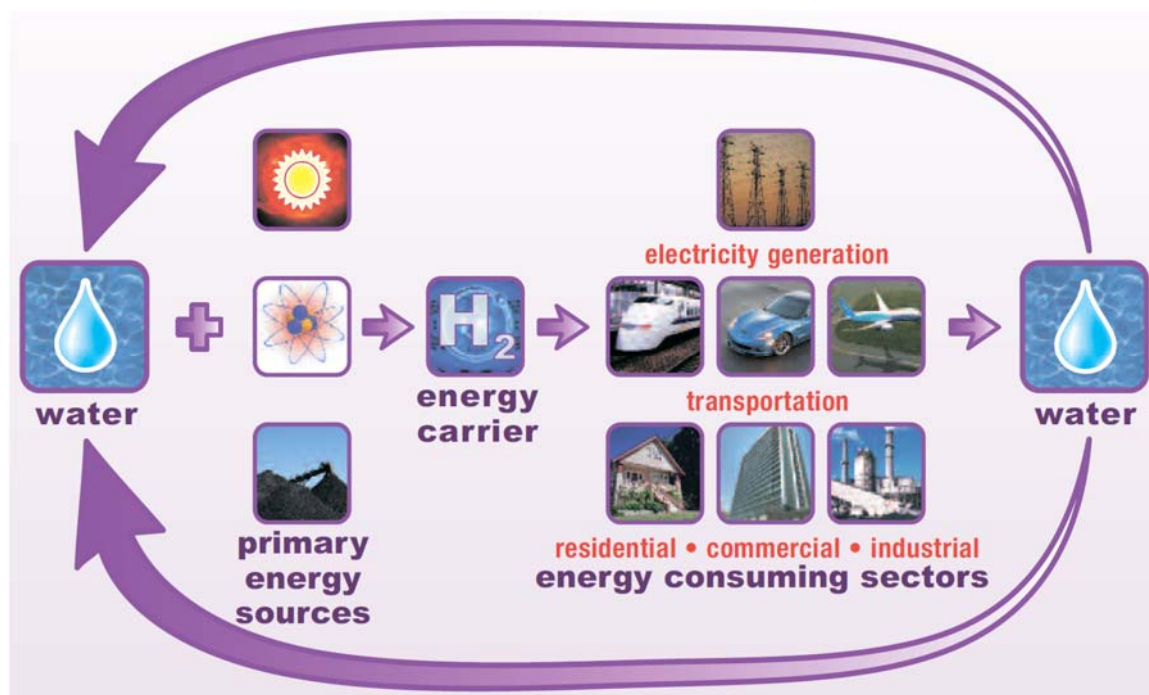


Fig. 1. Hydrogen cycle

Hydrogen can be used as a fuel in furnaces, internal combustion engines, turbines and jet engines. It can do so even more efficiently than fossil fuels like coal, petroleum and natural gas. Automobiles, buses, trains, ships, submarines, airplanes and rockets can run on hydrogen. Hydrogen can also be converted directly to electricity by fuel cells, with a variety of applications in transportation and stationary power generation. Metal hydride technologies offer a variety of applications in refrigeration, air conditioning, and hydrogen storage and

purification. Combustion of hydrogen with oxygen results in pure steam, which has many applications in industrial processes and space heating.

Moreover, hydrogen is an important industrial gas and raw material in numerous industries, including the computer, metallurgical, chemical, pharmaceutical, fertilizer and food industries.

The hydrogen energy system is also the permanent solution to the global environmental problems, such as global warming, climate change, ozone layer depletion, acid rains, air pollution, oxygen depletion, oil spills and noise. When hydrogen is produced using renewable energy sources and/or nuclear energy, it does not produce CO<sub>2</sub> and other greenhouse gases. There are no chemicals to harm the ozone layer, no acid rain ingredients, no pollutants, and no risk of oil spills. Since the required amount of oxygen is generated when hydrogen is produced, atmospheric oxygen will not be depleted. Since fuel cells have no moving parts, no noise will be produced when hydrogen is converted to energy this way.

### Objective

The Association strives to advance the day when hydrogen energy will become the principal means by which the world will achieve its long-sought goal of abundant clean energy for mankind. Toward this end, the Association stimulates the exchange of information in the hydrogen energy field through its publications and sponsorship of international workshops, short courses, symposia and conferences. In addition, the Association endeavors to inform the general public of the important role of hydrogen energy in the planning of an inexhaustible and clean energy system.

### Information Dissemination

The International Association for Hydrogen Energy (IAHE) publishes a quarterly electronic newsletter, **IAHE e-Newsletter**, which presents hydrogen energy related and the association related news. The Association has an official scientific journal, the **International Journal of Hydrogen Energy (IJHE)**, which publishes peer-reviewed papers on all aspects of hydrogen energy. It publishes 48 issues a year.

IAHE organizes biennial **World Hydrogen Energy Conferences (WHECs)** in even years and biennial **World Hydrogen Technologies Conventions (WHTCs)** in odd years - including exhibitions - around the world. In addition, the Association maintains and updates an Internet site, [www.iahe.org](http://www.iahe.org), that includes membership information, hydrogen-related papers and links to hydrogen-related sites.



WORLD HYDROGEN ENERGY  
CONFERENCE  
June 13th to 16th 2016

### IAHE Awards

IAHE has established awards to formally recognize those individuals and organizations who have made major contributions to the promotion of hydrogen energy worldwide.

It recognizes five categories of such contributions, each award being named after a pioneer in the history of hydrogen energy's development:

**IAHE Jules Verne Award** for Superior Service (a general area of involvement). Jules Verne, of course, predicted the hydrogen energy idea in his 1874 novel *The Mysterious Island*.

- 1998 - John O'M. Bockris, U.S.A.; Cesare Marchetti, Austria
- 2000 - Tokio Ohta, Japan; Robert M. Zweig, U.S.A.
- 2002 - William D. Van Vorst, U.S.A.; Mylopore V.C. Sastri, India
- 2004 - Bragi Arnason, Iceland; Carl-Jochen Winter, Germany

- 2006 - Zong Qiang Mao, China; David Sanborn Scott, Canada
- 2008 - U.S. DOE Hydrogen Program, U.S.A.; Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Germany
- 2010 - Dr. C.E. (Sandy) Thomas, U.S.A.
- 2012 - Alexander (Sandy) K. Stuart, Canada; Tom Sullivan, U.S.A.
- 2014 - Chiyoda Corporation, Japan; Hyundai Motor Company, South Korea

**IAHE Rudolph A. Erren Award** for Leadership in Thermochemical Area (involvement with heat engines and combustion, thermochemical production, facets of hydrogen transmission, distribution and storage, e.g., metal hydrides). Rudolph Erren was the noted dynamic German developer of hydrogen-fueled motor vehicles, demonstrated in fleet service in the 1930s.

- 1998 - World Energy NETwork (WE-NET) Project, MITI, Japan
- 2000 - Victor A. Goltsov, Ukraine and Vladimir D. Rusanov, Russia
- 2002 - BMW A.G., Germany
- 2004 - Royal Dutch/Shell Group, Netherlands
- 2006 - Linde A.G., Germany; Shoichi Furuhashi, Japan
- 2008 - Japan Steel Works, Ltd., Japan; M.A.N. AG, Germany
- 2010 - Hydrogen Network of North Rhine-Westphalia, Germany/Dr. Andreas Ziolek, Germany
- 2012 - Ravinder Kumar Malhotra, India
- 2014 - Shanxi Provincial Guoxin Energy Development Group Co., Ltd (GXED), China

**IAHE Sir William Grove Award** for Leadership in Electrochemical Area (involvement with fuel cells and electrolyzers, and other electro-chemical means relating to hydrogen processing). Sir William Grove was the inventor of the fuel cell in England in 1839, producing electricity and water from hydrogen and oxygen.

- 1998 - Ballard Power Systems, Canada
- 2000 - Stanford R. Ovshinsky, U.S.A.; DaimlerChrysler Corporation, Germany/U.S.A.; Ford Motor Company, U.S.A.
- 2002 - UTC Fuel Cells, U.S.A.
- 2004 - Toyota Motor Corporation, Japan; Honda Motor Company, Japan; General Motors Corporation, U.S.A.
- 2006 - Milan M. Jaksic, Serbia
- 2008 - Janusz Nowotny, Australia; Gang Wan, China
- 2010 - Mazda Motor Corporation, Japan
- 2012 - Fuel Cell Commercialization Conference of Japan, Japan; Hydrogenics Corporation, Canada; Shanghai Automotive Industry Corporation Group, China; Dieter Zetsche, Germany
- 2014 - Detlef Stolten, Germany; Erich D. Wachsman, USA

**IAHE Akira Mitsui Award** for Leadership in Biological Area (relating to biological processes for producing hydrogen and synthesizing valued products utilizing hydrogen). Dr. Mitsui was a noted Japanese-American researcher in the photobiological hydrogen production field, using special types of algae and micro-organisms to this end.

- 2002 - Jun Miyake, Japan
- 2004 - Peter Lindblad, Sweden
- 2008 - Debabrata Das, India

**IAHE Konstantin Tsiolkovsky Award** for Leadership in Aerospace Area (relating to the use of hydrogen as the leading aerospace propulsion fuel and energy carrier in space vehicles, satellites and stations). Professor Tsiolkovsky was the Russian pioneer of astronautics, first proposing hydrogen-fueled rocket propulsion for spaceflight in the late 1890s.

- 1998 - National Aeronautics and Space Administration (NASA), U.S.A.
- 2000 - Aerospatiale Matra, France

- 2004 - Airbus S.A.S., E.U.
- 2006 - ROSCOSMOS, Russian Federal Space Agency, Russia; Iwatani International Industry Co. Ltd., Japan
- 2008 - Aerovironment, Inc., U.S.A.

The above is an outstanding international representation of visionaries, scientists and technologists, who have done much early on to elevate hydrogen to its rightful place as the leading clean, renewable energy prospect for the future. With these awards IAHE honors the pioneers, as well as our contemporaries, who have contributed so much to forwarding progress in this noble field of endeavor.

An International Awards Committee has been established, consisting of distinguished hydrogen energy scientists from around the world: Dr. John W. Sheffield (Chair), U.S.A., Liejin Guo, China, David Hart, UK, Alexander Y. Ramenskiy, Russia, Ken-ichiro Ota, Japan, O. N. Srivastava, India, and Sandy Thomas, U.S.A. The committee sends their recommendations to the IAHE Board of Directors for the final decision. Suggestions from the members regarding this recognition initiative are welcome, and nominations for specific individuals and/or organizations for these awards should be forwarded to the IAHE Awards Committee Chairman at the following address:

Dr. John W. Sheffield

Sustainable Use Consulting, DNV KEMA Energy & Sustainability, 60 Music Square East, Suite 250, Nashville, TN 37203, U.S.A., john.sheffield@dnvkema.com

### **Membership**

The Association has four categories of membership:

- H-Members: Scientists, engineers and laypersons, who are interested in fields relating to Hydrogen Energy. They receive IAHE e-Newsletter, hard copies of the International Journal of Hydrogen Energy (IJHE), and reduced registration for IAHE conferences.
- E-Members: Scientists, engineers and laypersons, who are interested in fields relating to Hydrogen Energy. They receive IAHE e-Newsletter, access to electronic copies of the International Journal of Hydrogen Energy (IJHE), and reduced registration for IAHE conferences.
- Student Members: They are the students who are interested in Hydrogen Energy. They receive the IAHE e-Newsletter. The student membership is free.
- IAHE Fellows: Long time IAHE members who have significantly impacted society by promotion of Hydrogen Economy through research, education and/or service.

Additional Membership information and the application form are found in the IAHE website: [www.iahe.org](http://www.iahe.org)

IAHE Fellows:

2010 - Hussein K. Abdel-Aal, Egypt; John O'M. Bockris, U.S.A.; Juan Carlos Bolcich, Argentina; Alfonso Contreras, Spain; Jameel Ahmad Khan, Pakistan; Stanislav Malysenko, Russia; Cesare Marchetti, Italy; Nazim Z. Muradov, U.S.A; Onkar N. Srivastava, India; Carl-Jochen Winter, Germany.

2012 - Peter Hoffmann, U.S.A.; Vibha R. Satsangi, India.

2014 - Frano Barbir, Croatia; Jacques Saint-Just, France; John W. Sheffield, U.S.A.; Hirohisa Uchida, Japan.

If you are concerned about the environment and the future of our planet, work or would like to work in the clean energy field, would like to take part in research and development for clean and permanent energy infrastructure, would like to advocate hydrogen energy, and would like to be informed about the latest research results, you should join the International Association for Hydrogen Energy by applying for membership online at our website [www.iahe.org](http://www.iahe.org).

## ОЧИСТКА БИОВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ BIOHYDROGEN PURIFICATION USING METAL HYDRIDE TECHNOLOGIES

Дуников Д.О.<sup>1</sup>, Блинов Д.В.<sup>1</sup>, Казаков А.Н.<sup>1</sup>, Устинов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОИВТ РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

Dunikov D.O.<sup>1</sup>, Blinov D.V.<sup>1</sup>, Kazakov A.N.<sup>1</sup>, Ustinov A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JINT RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>SkolTech, Moscow, Russia

Термин «биоводород» (biohydrogen) обычно относят к водороду, полученному биологическим путем в результате жизнедеятельности организмов. Можно выделить основные пути биологического получения водорода [1]:

- Биофотоллиз воды водорослями и цианобактериями (низкий КПД преобразования энергии света);
- Светозависимое разложение органических веществ фотосинтезирующими бактериями без выделения кислорода – фотоферментация (низкий КПД преобразования энергии света);
- Темновое анаэробное выделение водорода в процессах брожения - темновая ферментация.

В настоящее время наблюдается всплеск интереса к биоводородным технологиям (Рис. 1), однако уровень разработок находится преимущественно на стадии лабораторных исследований, хотя известны пилотные установки по производству биоводорода.

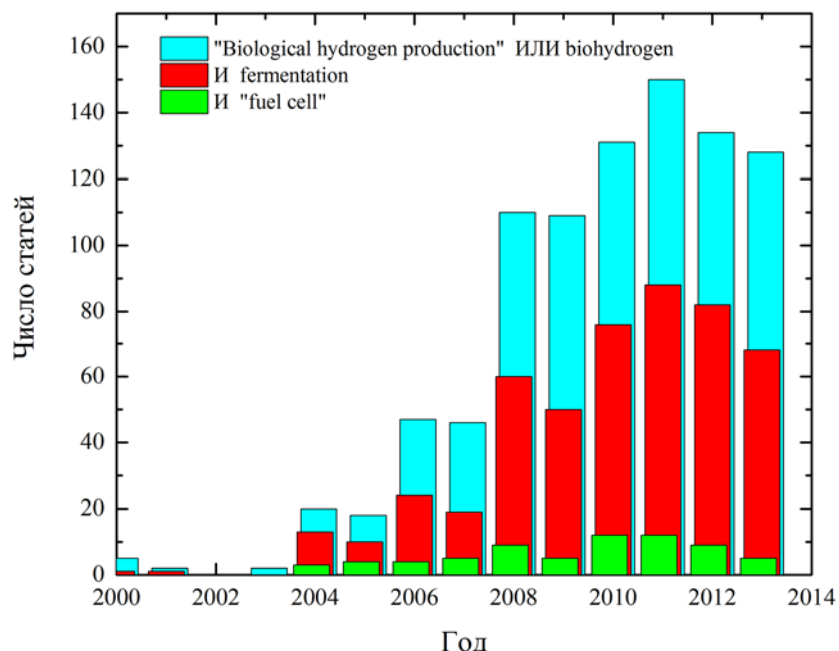
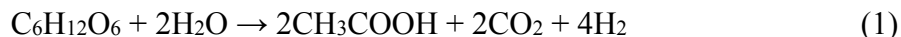


Рис. 1. Число статей, индексируемых в Scopus, по теме: «Биологическое производство водорода» (Biological hydrogen production) или «биоводород» (biohydrogen), а также их доли посвященные ферментации (fermentation) и интеграции с топливными элементами (fuel cell)

Основные технические барьеры, препятствующие использованию биоводорода в энергетике включают высокое содержание примесей (преимущественно углекислого газа) и, соответственно низкое парциальное давление водорода.

Действительно, при получении биоводорода с использованием темновой ферментации:



содержание водорода обычно меньше 50%. И хотя в гибридных схемах, включающих биологическую стадию фиксации углекислого газа в фотобиореакторе микроводорослями возможно повышение выхода водорода свыше 90%, использование такого биоводорода все равно невозможно в энергоустановках на базе топливных элементов с твердополимерным электролитом, требующих чистоты водорода свыше 99,95%;

Очистка – важная и затратная часть процесса производства водорода. Например, при крупномасштабном производстве водорода очистка требует как минимум 50%, а иногда и до 80% от общих капложений в процесс. При производстве водорода методом паровой конверсии энергозатраты составляют порядка 131 МДж/кг, а затраты на очистку могут достигать 29 МДж/кг [2].

Низкое парциальное давление получаемого водорода связано с протеканием процесса при атмосферном давлении. Возникает необходимость использования компрессора, что приводит к росту энергозатрат на производство конечного продукта. В настоящее время водород сжимается преимущественно с помощью поршневых компрессоров, обладающих низкой эффективностью. Например, адиабатный КПД компрессора для водородной заправочной станции производительностью 1000 кг/сут составляет 56% и КПД мотора 92%. В результате почти 11,3% энергии водорода на заправке тратится на его компрессию [3].

Можно выделить следующие основные способы очистки водорода от примесей, в том числе от углекислого газа:

1. Адсорбция прочих газов, с получением водорода как продукта;
2. Абсорбция (физическая или химическая)  $CO_2$ , с получением углекислоты как продукта
3. Мембранная очистка
4. Криогенное разделение Cryogenic separation
5. Селективная абсорбция водорода

В наших работах разработан новый метод очистки полученного в результате жизнедеятельности микроорганизмов водорода путем использования свойства интерметаллических сплавов избирательно поглощать водород с образованием гидридов металлов, с последующим хранением очищенного водорода в твердофазном связанном состоянии для обеспечения работы топливных элементов. Новизна разрабатываемых научно-технических решений заключается в возможности очистки полученного в результате жизнедеятельности микроорганизмов водорода, содержащего газообразные примеси в количестве не менее 60 процентов объемных, без его дополнительной механической компрессии.

Разрабатываемые научно-технические решения должны обеспечить повышение эффективности очистки полученного в результате жизнедеятельности микроорганизмов водорода по сравнению с существующими технологиями мембранной очистки и короткоциклового адсорбции.

Подбор оптимального состава интерметаллического соединения с низким равновесным давлением может позволить избежать энергозатратной стадии предварительной компрессии биоводорода.



Принцип работы металлгидридного реактора очистки водорода представлен на Рис. 2. Смесь поступает в реактор с одного из торцов, если парциальное давление водорода в смеси превышает равновесное давление водорода над водородопоглощающим материалом, происходит абсорбция, водород переходит в твердую фазу, а примесь покидает реактор через противоположный торец реактора. В случае, когда скорость поступления водорода превосходит скорость его поглощения засыпкой, происходит пробой водорода через реактор. После зарядки реактор способен выделять водород высокой степени чистоты.

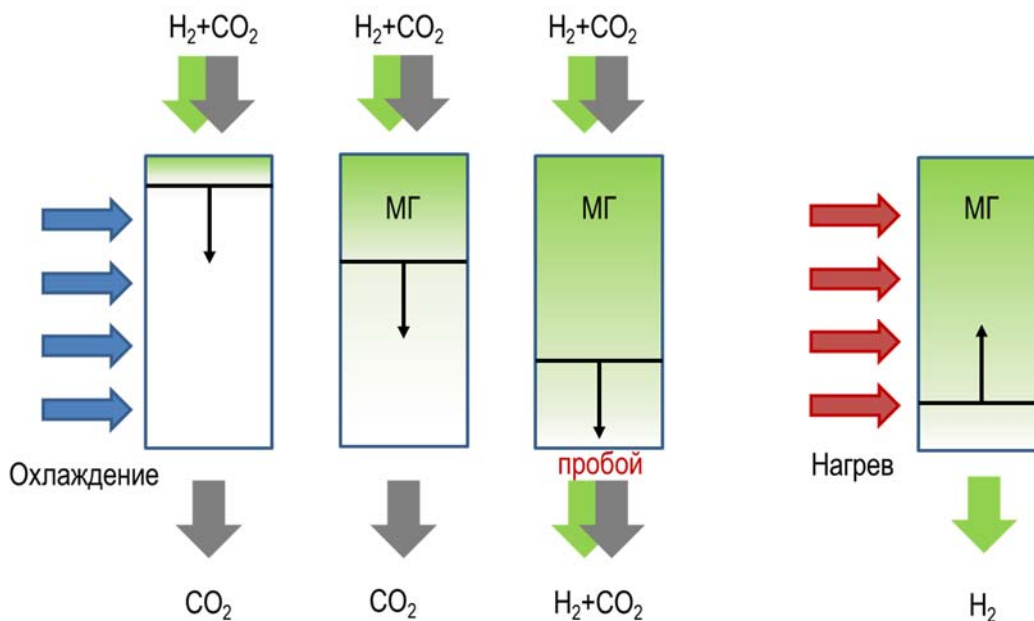


Рис. 2 Принцип работы металлгидридного (МГ) рекатора очистки водорода проточного типа

Принципиальная схема разрабатываемой системы производства биоводорода представлена на рисунке 3. Преимуществом

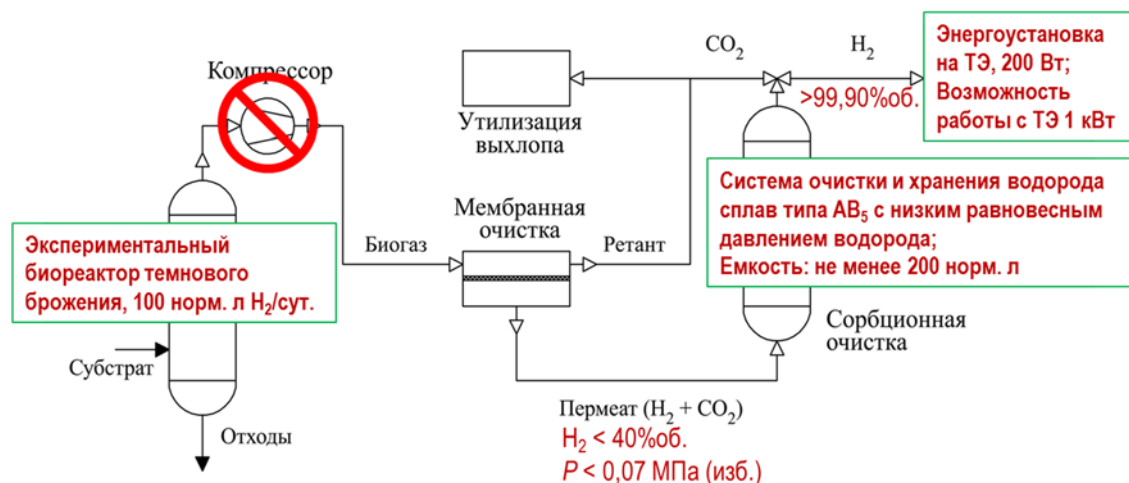


Рис. 3. Принципиальная схема разрабатываемой системы производства биоводорода

В Лаборатории водородных энергетических технологий ОИВТ РАН по заказу Сколтеха разработан экспериментальный образец энергоустановки, использующей в качестве топлива биоводород  $H_2\text{bioPower}$  (рисунок 4). В состав установки входит два металлгидридных рекатора серии РХО-8 разработанных в ОИВТ РАН, топливный



элемент с твердополимерным электролитом мощностью до 200 Вт, автоматизированная система контроля эксперимента и обработки данных. При загрузке 1 кг интерметаллического сплава  $\text{LaNi}_{4.8}\text{Mn}_{0.3}\text{Fe}_{0.1}$  реакторы РХО-8 обладают максимальной емкостью в 140 норм. л водорода и номинальной емкостью 110 норм. л, при этом могут разделять смесь содержащую, водород и более 50%об. углекислого газа, и выделять водород чистотой до 99.999%об.

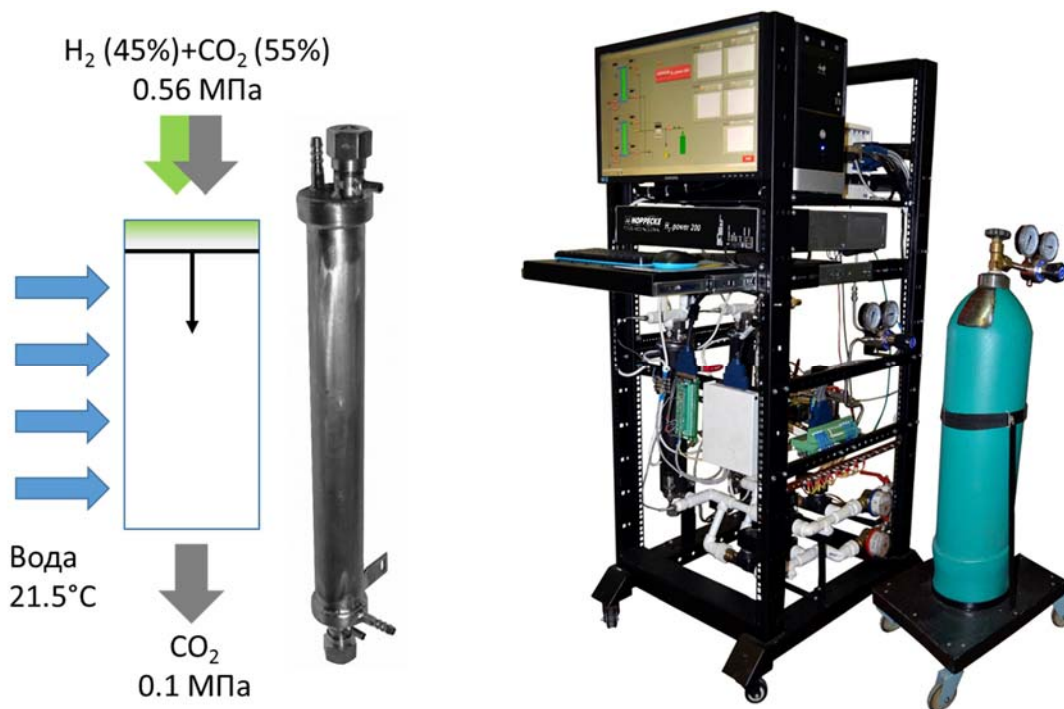


Рис. 4 Металлогидридный реактор РХО-8 и условия проведения эксперимента (слева) и общий вид экспериментальной установки H2bioPower

Экспериментально измеренный расход смеси на входе и выходе из реактора при разделении смеси водорода и углекислого газа представлен на рисунке 5. Смесь подавалась в реактор через расходомер-регулятор с уставкой 5 норм.л/мин, на выходе расход регистрировался расходомером-регулятором с уставкой 1.5 норм. л/мин.

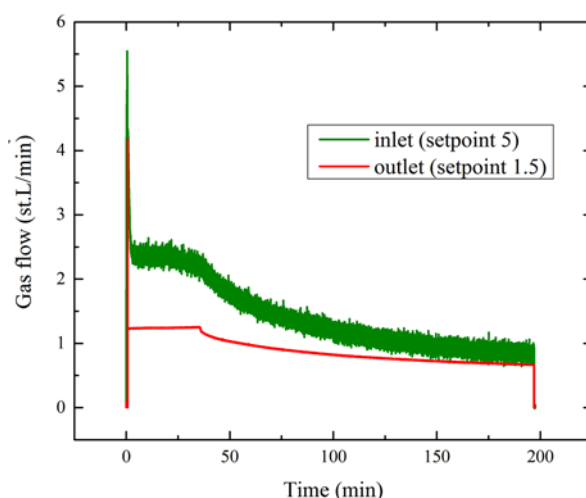


Рис. 5. Расход на входе и выходе из реактора в процессе разделения смеси водорода (45%) и углекислого газа (55%)

В результате определен коэффициент извлечения водорода из смеси (Рис. 6), показано, что возможно выделение водорода из смесей с большим (свыше 50%об.) углекислого газа с потерями менее 5-10% при условии недопущения работы в закритических (с пробоем водорода через засыпку металлгидрида) режимах.

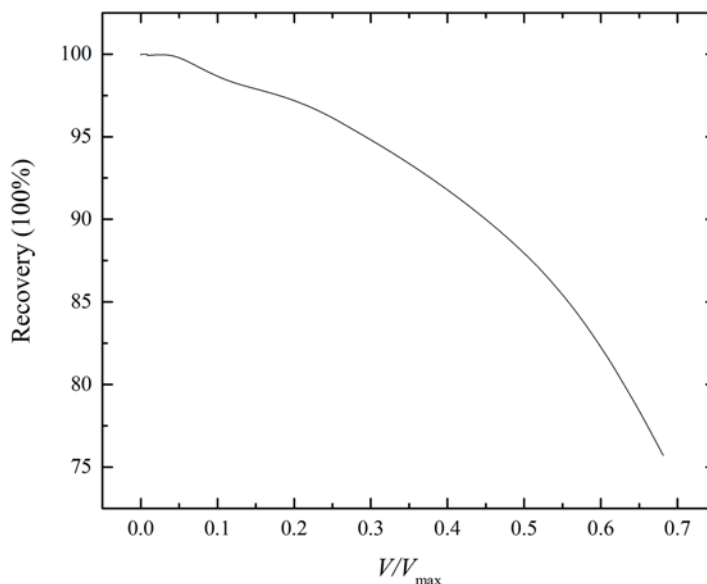


Рис. 6. Коэффициент извлечения водорода из смеси в зависимости от степени заполнения реактора при разделении смеси водорода (45%) и углекислого газа (55%)

Работы выполнены в рамках проекта, поддержанного Министерством образования и науки РФ, Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60414X0010.

#### Список литературы

1. Дуников Д.О., Борзенко В.И., Малышенко С.П., Блинов Д.В., Казаков А.Н. Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор) // Теплоэнергетика. 2013. № 3. — С. 48-57.
2. Gupta R.B. Hydrogen fuel: production, transport, and storage. CRC Press, 2008
3. Energy requirements for hydrogen gas compression and liquefaction as related to vehicle storage needs // DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record, July 7th, 2009 [http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/9013\\_energy\\_requirements\\_for\\_hydrogen\\_gas\\_compression.pdf](http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/9013_energy_requirements_for_hydrogen_gas_compression.pdf)

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Егоров И.Ю.

LANDCO/Агробиотех, Санкт-Петербург

Россия располагает значительным потенциалом использования отходов сельского хозяйства, лесопереработки, пищевой промышленности и твердых бытовых отходов. Важнейшая особенность биоэнергетики, делающая ее привлекательным для инвесторов направлением, - это способность предоставить дополнительные источники выручки от продажи органических удобрений и платы за безопасную утилизацию органических отходов. К настоящему моменту сформировалось несколько перспективных рыночных направлений, где биоэнергетические проекты наиболее востребованы и могут эффективно решать задачи повышения энергетической безопасности удаленных регионов, экологические проблемы, а также быть источником ориентированной на экспорт продукции.

### Проекты в зоне децентрализованного энергоснабжения

Основным источником энергии для ряда удаленных населенных пунктов, а также объектов компаний, занятых в сфере добычи и разработки полезных ископаемых, является дизель генерация. Она отличается наиболее высокими топливными затратами, в результате себестоимость энергии даже на современных ДЭС в этих районах остается самой высокой не только в России, но и в мире, от 25 до 100 руб. за кВтч, что в 5-20 раз выше отпускной цены для населения. Для компенсации этой разницы региональные бюджеты вынуждены субсидировать деятельность планово-убыточных местных энергетических компаний.

Длительность цикла доставки топлива (для некоторых населенных пунктов он составляет более года) ставит под угрозу энергетическую безопасность, в том время как оказывается отрицательное воздействие и на окружающую среду. Ситуация усугубляется крайне высоким уровнем износа оборудования и как следствие значительным удельным расходом топлива. Только на территории Дальневосточного Федерального округа на нужды децентрализованной энергетики ежегодно необходимо свыше 250 тыс. т дизельного топлива. За пределами ДФО значительным числом изолированных от сетевого энергоснабжения населенных пунктов обладают Архангельская обл., Красноярский край, регионы Южной Сибири, изолированные энергосистемы присутствуют также в республике Коми, Мурманской обл., Ненецком, Ямало-Ненецком и Ханты-мансийском автономных округах, Томской обл.

В этих условиях перспективно применение технологий газификации древесных отходов, ТБО, торфа, угля с получением синтез-газа. Комплекс газификации состоит из склада сырья, газификатора, системы очистки и охлаждения синтез-газа. Выработка синтез-газа получается в результате термохимической газификации древесины и представляет собой процесс частичного окисления углеродсодержащего сырья с получением газообразного энергоносителя – синтез-газа. Полученный газ состоит из монооксида углерода, водорода, метана, диоксида углерода, небольшого количества углеводородных соединений более высокого порядка, таких как метан и этан, содержит пары воды, азот и различные примеси, такие как смолы, частицы углистого вещества и золы. Полученный топливный газ может также использоваться и как топливо для газовых турбин и поршневых двигателей или имеющихся котельных.

Преимущества данной технологии по сравнению с большинством возобновляемых источников энергии особенно востребованы в условиях локальной энергосистемы: с помощью регулирования подачи сырья объем производства электроэнергии может быть

синхронизирован с уровнем нагрузки, которая в зависимости от времени суток и сезона отличается в 3-4 раза, что не требует использования накопителей энергии, существенно удорожающих проекты солнечных и ветровых станций в изолированных зонах. Дополнительные преимущества представляет возможность получения помимо электроэнергии тепла, а также возможность комбинированного использования нескольких местных видов топлива.

До недавнего времени значительным препятствием внедрения данных технологий был высокий уровень капитальных затрат (около 5000 долл. за кВт установленной мощности), однако на текущий момент на российский рынок выходят поставщики с показателем на уровне 2000 долл. и широкой линейкой установок разной мощности (от 150 кВт до нескольких МВт), озвучиваются планы по локализации производства некоторых компонентов в России, что создает условия для дальнейшего удешевления.

До последнего времени развитию малой биоэнергетики, как и прочих ВИЭ, в децентрализованных энергосистемах препятствовало отсутствие отработанной организационно-финансово-договорной схемы реализации проектов в условиях, при которых потребители энергии, произведенной на ДЭС, их операторы, региональные администрации, являются получателями федеральных субсидий для поддержки неэффективной генерации и соответственно не только не заинтересованы во внедрении технологий ВИЭ, но и не способны в привлечении финансирования даже для реализации точечных проектов.

Значительную проблему представляет отсутствие механизмов привлечения финансирования. В российских финансовых структурах имеется дефицит специалистов по ВИЭ, отсутствует понимание критериев успешных проектов. Для инвесторов ВИЭ в России существует проблема поиска и отбора наиболее привлекательных и наименее рискованных объектов для пилотных проектов, для инициаторов проектов, наоборот, существует проблема в привлечении финансирования, связанная с нежеланием крупных инвесторов и энергетических компаний реализовывать столько небольшие в масштабах своего бизнеса проекты.

Ситуация усугубляется слабой информированностью профильных федеральных и региональных органов власти, а также потребителей о возможностях и преимуществах использования ВИЭ, а также недоверием со стороны потенциальных потребителей к этим новым для России технологиям и отсутствием достаточного числа успешных пилотных инвестпроектов с доказанной привлекательностью бизнес модели и технологических решений.

Возможным инструментом решения указанных проблем является разработка инвестиционных программ повышения эффективности локальной генерации в изолированных районах, включающую использование ВИЭ и местных видов топлива. Принятие таких программ существенно облегчит привлечение финансирования в проекты. Главным критерием отбора включения проектов в программу - снижение себестоимости энергии по сравнению с дизель-генерацией, отсутствие капитальных расходов и субсидий со стороны государственного бюджета, а также способность их инициатора выступить в качестве инвестора и технического оператора, взяв на себя соответствующие риски на весь период эксплуатации объекта.

Особую роль должна сыграть система государственно-частного партнерства по обеспечению локальных биоэнергетических проектов местными ресурсами, что с одной стороны позволит сократить сырьевые риски, а с другой обеспечить занятость местного населения.

### **Перспективы биогазовых проектов**

Главным драйвером роста российского биогазового рынка является тяжелая экологическая ситуация – в России находится значительное число предприятий с

большим объемом отходов, которые законодательно запрещены на Западе. Площадь полей, загрязненных органомогенными отходами, которые находятся вблизи населенных пунктов, в России превышает 2,5 млн. га. Уровень заболеваемости населения в районах функционирования крупных животноводческих предприятий и птицефабрик в 1,6 раза превышает ее средний показатель в Российской Федерации. Отсутствие энергетического использования органосодержащих отходов приводит к ежегодному выбросу в атмосферу более 30 млрд. куб. м метана, который в 21 раз вреднее углекислого газа по парниковому эффекту.

Отсутствие рецикла технологической воды приводит к многократному удорожанию систем водоснабжения и очистки. Существующие в России системы накопления жидких стоков агропромышленного комплекса (ежегодно более 500 млн. т) приводят к неконтролируемому заражению источников питьевой воды и загрязнению почв. Ежегодный экологический ущерб от нарушения регламентов использования навоза и помета превышает 450 млрд руб., ущерб от заболевания населения и животных не поддается приблизительной оценке. При этом с учетом достижения показателей, предусмотренных Доктриной продовольственной безопасности страны и политикой импортозамещения, следует ожидать увеличение поголовья скота и птиц и соответствующего количества отходов их содержания до 1200 млн. т в год.

Соответственно биогазовые установки в первую очередь должны представлять собой центр полной переработки органических отходов с получением чистой воды и комплексных микробиологических удобрений. Необходимым условием крупных биогазовых проектов является обеспечение отсутствия затрат на вывоз и внесение перебродившей массы с помощью системы, возможность завершить ферментацию стоков предприятия с разделением отходов на чистую воду, а также концентрированные комплексные удобрения, которые пригодны для транспортировки на дальние расстояния и реализации и являются дополнительным источником экспортной выручки.

В этом случае сравнение биогазовых станций по стоимости кВт установленной мощности с прочими видами ВИЭ теряет смысл, поскольку установка представляет собой объект переработки отходов, который может окупаться в разумные сроки только за счет экологической составляющей и экспорта удобрений, которые на европейском рынке оцениваются минимум в 200 евро за т, что обеспечивает сокращение валютных рисков.

Классические биогазовые технологии по стоимости установленной электрической мощности (в среднем от 3 до 5 тыс. евро с использованием западного оборудования) проигрывают технологиям газификации. Лишь установки большой мощности (от 10 МВт), работающие на наиболее выгодных видах отходов (например, сахарном жоме, отходах пищевой промышленности с высоким содержанием жиров), обходятся менее чем в 2 тыс. евро за 1 кВт. Малые установки (менее 1 МВт), использующие нерентабельные виды отходов (например, навоз КРС), могут стоить более 6–7 тыс. евро за 1 кВт.

В этой связи необходимым условием развития биогазовой энергетики в России является создание отечественных аналогов западных технологий, которые обеспечивали удельные капитальные затраты на уровне не более 3 тыс. долл. за кВт установленной мощности с сохранением этой величины для установок малой и средней мощности, что существенно расширило бы коридор рентабельности биогазовых проектов в России независимо от колебаний курсов валют. Вторым необходимым условием является возможность обработки наиболее опасных видов отходов, например, птичьего помета, в чистом виде, что до последнего времени было недостижимо с использованием классического оборудования.

Важным препятствием развития рынка биогаза в стране является отсутствие системы государственно-частного партнерства, которая бы позволяла обеспечить

инвесторам выручку за счет экологической составляющей проектов. До момента ужесточения контроля за исполнением экологического законодательства существует риск сырьевого обеспечения проекта. Решение проблемы может состоять в создании крупных операторов на рынке органических отходов, а также экспорта удобрений, которые бы способствовали эффективному взаимодействию собственников биогазовых станций с источниками отходов и зарубежными потребителями удобрений.

Наибольшие перспективы для развития подобных структур с сетью экспортноориентированных биогазовых проектов имеют регионы Южного Федерального округа, где сосредоточена 1/3 технического биогазового потенциала России, а также регионы с высокой концентрацией предприятий АПК, например, Белгородская и Ленинградская обл.

### **Проекты по экспорту продукции древесных отходов**

Третье направление биоэнергетики, которое представляется весьма перспективным в российских условиях, - развитие производства топливных гранул (пеллет) из отходов ЛПК и неделовой древесины на экспорт и с целью перевода действующих котельных на местное экологически чистое топливо. Организация такого производства содействовала бы также решению проблемы утилизации отходов этих предприятий (опилки, стружка и т. п.), которые в ряде случаев ссыпаются в отвалы, нанося серьезный экологический ущерб.

В настоящее время число предприятий по переработке древесных отходов в России быстро растет, однако производимые ими пеллеты поставляются преимущественно в европейские страны. По экспертным оценкам более 1 млн. т экспортируется, что позволило нашей стране занять пятое место в мире после Швеции, Германии, Канады и США. Более того, России удалось стать одним из ключевых поставщиков древесных гранул на европейский рынок и потеснить там прежнего лидера — Канаду.

В России производство пеллет быстро развивалось в СЗФО и СФО. К настоящему времени хорошие предпосылки сложились для реализации проектов на территории ДФО, где наличие более дешевого, чем в конкурирующих древесного сырья и рабочей силы совпадает с наличием выхода к портам. Амбициозные программы по замещению до 5% угля на биомассу в угольной генерации, принятые в Китае, открывают для российских поставщиков значительный рынок.

К отрицательным факторам, мешающим развитию производства пеллет в ДФО и в РФ в целом – можно отнести неразвитость инфраструктуры на всех уровнях (лесные дороги, дороги общего пользования, железные дороги, порты и портовая инфраструктура), а также общий сложный инвестиционный климат.

Представляется обоснованной реализация вертикально-интегрированных проектов, включающих в себя строительство биотопливных заводов в комплексе с мероприятиями по развитию локальной инфраструктуры, лесопользованию и лесовосстановлению с утилизацией древесных отходов и неделовой древесины. В эти проекты целесообразно вовлечь не только российских инициаторов, но и потребителей пеллет на рынке АТР, а также поставщиков технологии и оборудования.

### **Опыт западных стран и необходимые меры поддержки**

Россия имеет шанс тщательно изучить опыт развития биоэнергетики в других странах для того, чтобы не повторять сделанных ошибок. В большинстве развитых стран переработка органических отходов в биогазовых установках используется исключительно для производства электроэнергии.

Главным элементом поддержки ВИЭ в странах ЕС стал feed in тариф, субсидирование которого покрывалось растущими тарифами для конечного потребителя. Следствием стало введение в эксплуатацию значительного числа

неэффективных инвестпроектов и появление недобросовестных поставщиков оборудования. В России ситуация усугубляется резким ростом стоимости импортного оборудования из-за падения курса национальной валюты, в то время как энергетическое машиностроение способно обеспечить только половину потребностей биоэнергетики. В таких условиях принятие законодательной базы по поддержке биоэнергетических проектов на розничных рынках недостаточно для обеспечения их инвестиционной привлекательности.

С учетом этого целесообразно вовлечь в работу экспертное и научное сообщество, заинтересованных представителей органов власти, бизнес структуры в процесс разработки механизмов и «дорожных карт» реализации мероприятий по 3 направлениям.

В частности, по первому направлению необходимо инициировать, разработать и запустить региональные программы развития локальной возобновляемой энергетики, которые учитывают конкурентоспособность и перспективность разных технологий ВИЭ и использования местных видов топлива в зонах децентрализации, интересы бюджетных организаций и хозяйствующих субъектов-потребителей энергии, синергетический эффект от внедрения ВИЭ. Основной частью этих программ должна стать инвестиционная модель, раскрывающая принципы взаимодействия между инициаторами проектов и региональными властями.

По второму направлению необходима разработка комплексного решения на основе организации межведомственного сотрудничества по линии Минприроды и Минсельхоза, а также региональных органов власти для поддержки референсных биогазовых проектов на базе тех объектов АПК, которые являются источником концентрации значительного объема органических отходов и потенциально – производства комплексных удобрений. Экспорт органических отходов через биогазовый цикл в виде удобрений может стать одним из точек роста АПК и малой энергетики в ряде регионов России.

По третьему направлению необходимо интегрированное взаимодействие с подключением Министерства развития Дальнего Востока а также Рослесхоза для отбора потенциальных площадок по реализации проектов по экспорту биомассы в АТР с последующим формированием финансово-технологических консорциумов.

Таким образом, залогом успешного и бурного развитие биоэнергетики является применение комплексного подхода при реализации проектов с обязательным решением проблем региональной энергетической безопасности, решения экологических проблем, повышения занятости населения и развития отечественной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и производственной базы.

## ОБОСНОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ МЕЖДУ ГЕНЕРИРУЮЩИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**Елистратов В.В., Конищев М.А., Денисов Р.С.**  
СПбПУ Петра Великого, НОЦ «ВИЭ», Санкт-Петербург, Россия

Для децентрализованных северных регионов наиболее эффективным механизмом экономии топлива является использование возобновляемых источников энергии в комплексных системах энергоснабжения для обеспечения средней и высокой доли замещения дизельного топлива. Учитывая высокий ветровой потенциал северных территорий, наиболее целесообразно строительство ветро-дизельных электростанций (ВДЭС) [1].

Для ВДЭС с высокой долей замещения повышаются требования к выбору основного оборудования и более сложным алгоритмам управления режимами работы энергокомплекса. Необходимо оборудование для регулирования частоты и напряжения в локальной сети: разменные дизель-генераторы, аппараты бесперебойного питания, системы аккумулирования энергии, двунаправленные конвертеры и др.

Для систем ВДЭС с высокой долей замещения основную роль в процессе покрытия потребительской нагрузки играют ветроэнергетические установки (ВЭУ) [2, 3]. В процессе работы существуют такие режимы, в течение которых происходит полное отключение дизель-генераторных установок (ДГУ). Покрытие всей нагрузки за счет ВЭУ позволяет максимально экономить дизельное топливо. В моменты, когда ветрового ресурса недостаточно, часть энергоснабжения берут на себя ДГУ (рисунок 1). В статье решается задача распределения мощности между ДГУ, когда не хватает мощности ВЭУ для покрытия графика нагрузки (на рисунке 1 выделено цветом).

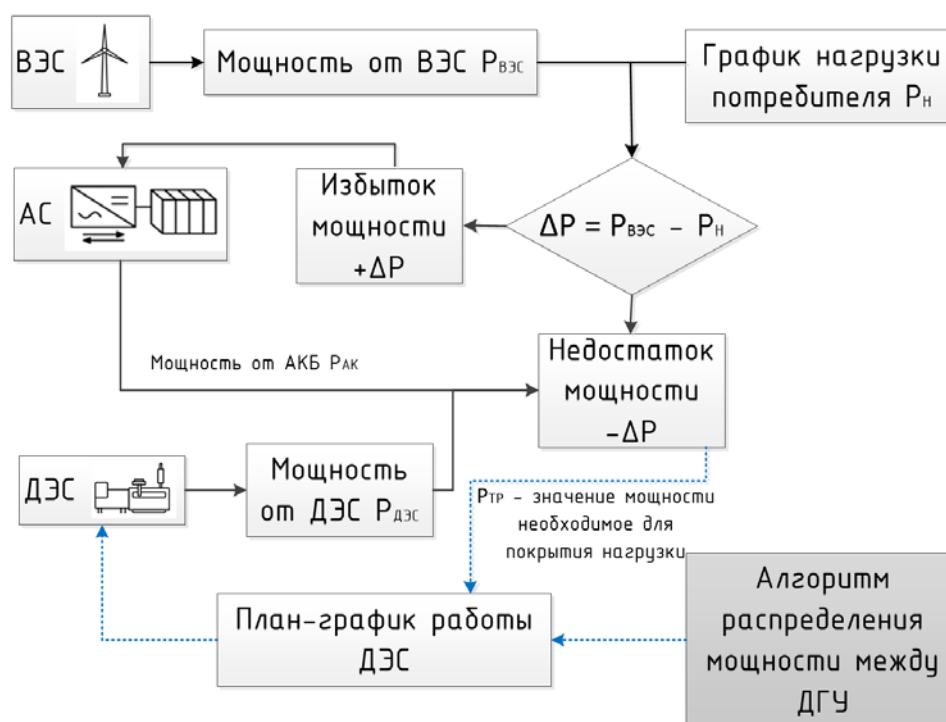


Рис. 1 – Схема функционирования ВДЭС с высокой долей замещения: ВЭС – ветровая электростанция, АС – аккумуляторная система, ДЭС – дизельная электростанция

Кроме основных ДГУ в ВДЭС с высокой долей замещения используют разменные ДГУ малой мощности. Это позволяет более эффективно загружать генераторы и снизить



расход топлива. При низкой нагрузке ДГУ (<40%) происходит коксование поршней, существенно снижается КПД. ДГУ работает в нерекомендуемой зоне (кривая 1, рисунок 2). Однако при модернизации дизельной электростанции до ЭК на основе ВИЭ, демонтаж старых ДГУ не всегда целесообразен. Таким образом, на станции может существовать набор ДГУ разной мощности. В таком случае необходимо оптимальное распределение активной нагрузки между ДГУ.

Оптимальным считается ДГУ, прирост расхода топлива которого минимален. График типовой характеристики зависимости расхода от мощности ДГУ представлен на рисунке 2 – кривая 2 [4], описать его можно линейной, степенной или полиномиальной функциями.

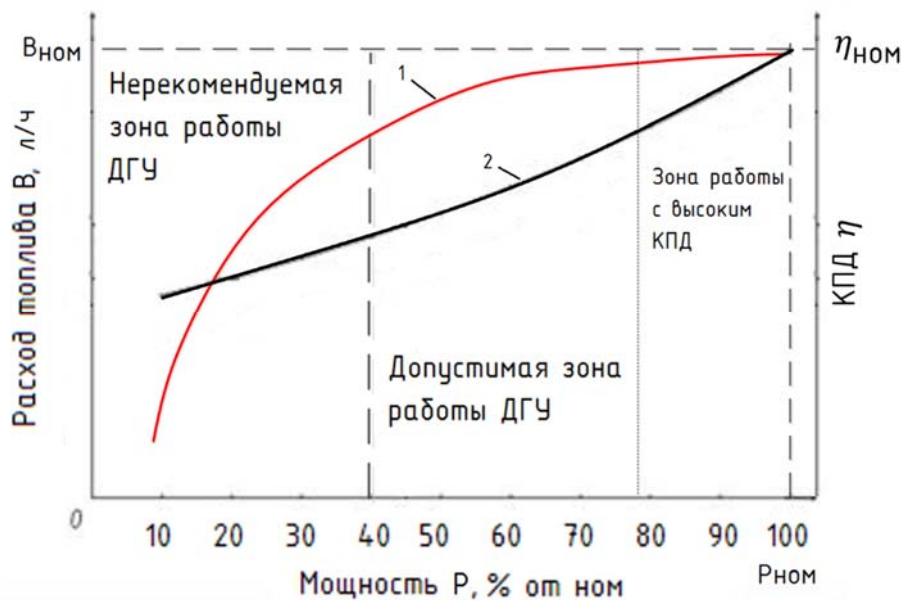


Рис. 2 – Энергетические характеристики ДГУ:

1 – зависимость КПД от загрузки ДГУ; 2 – расходная характеристика ДГУ

При нелинейной зависимости расхода от мощности задача оптимального распределения активной нагрузки необходимо рассматривать, как решение системы уравнения:

$$\begin{cases} B = a_1 \cdot x_1^{b_1} + c_1 + a_2 \cdot x_2^{b_2} + c_2 + \dots + a_n \cdot x_n^{b_n} + c_n, \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n = P_{тр} \end{cases} \quad (2)$$

где  $a_i, b_i, c_i$  – коэффициенты, описывающие зависимость  $f = B(P)$ ;

$x_i$  – неизвестная активная мощность  $i$ -генератора

$P_{тр}$  – требуемая активная мощность, кВт.

Для решения такой системы уравнения применим метод множителей Лагранжа [5]. Запишем функцию Лагранжа:

$$L = a_1 \cdot x_1^{b_1} + c_1 + a_2 \cdot x_2^{b_2} + c_2 + \dots + a_n \cdot x_n^{b_n} + c_n + \lambda \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_n - P_{тр}) \quad (3)$$

Для нахождения точек локального экстремума функции рассмотрим частные производные по всем неизвестным:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x_1} = a_1 \cdot b_1 \cdot x_1^{b_1-1} + \lambda = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial x_2} = a_2 \cdot b_2 \cdot x_2^{b_2-1} + \lambda = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = x_1 + x_2 + \dots + x_n - P_{тр} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Решая данную систему с условием Куна-Таккера [5], то есть с учётом ограничений переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , получаем решение для оптимального распределения активной мощности на дизельной станции.

Таким образом, для каждой ДГУ строится график, для всей станции учитываются соблюдение баланса мощностей и ограничения по загрузке активной мощности в зависимости от КПД. В общем виде задача выглядит:

$$\begin{cases} \text{Решение (4),} \\ \eta \rightarrow \max, \\ \sum P_{\text{ген}} = \sum P_{\text{наг}}, \\ P_{\text{загр}} > 40\% \end{cases} \quad (5)$$

В первую очередь, рассмотрим задачу распределения активной мощности между двумя генераторами разной мощности. Если принять зависимость  $f = V(P)$ , как линейную функцию, то решение задачи будет графическим, описанное на рисунке 3. Таким образом, в зависимости от того, маневренность какого выше, можно выделить два режима:

- Маневрирование по генератору меньшей мощности.
- Маневрирование по генератору большей мощности.

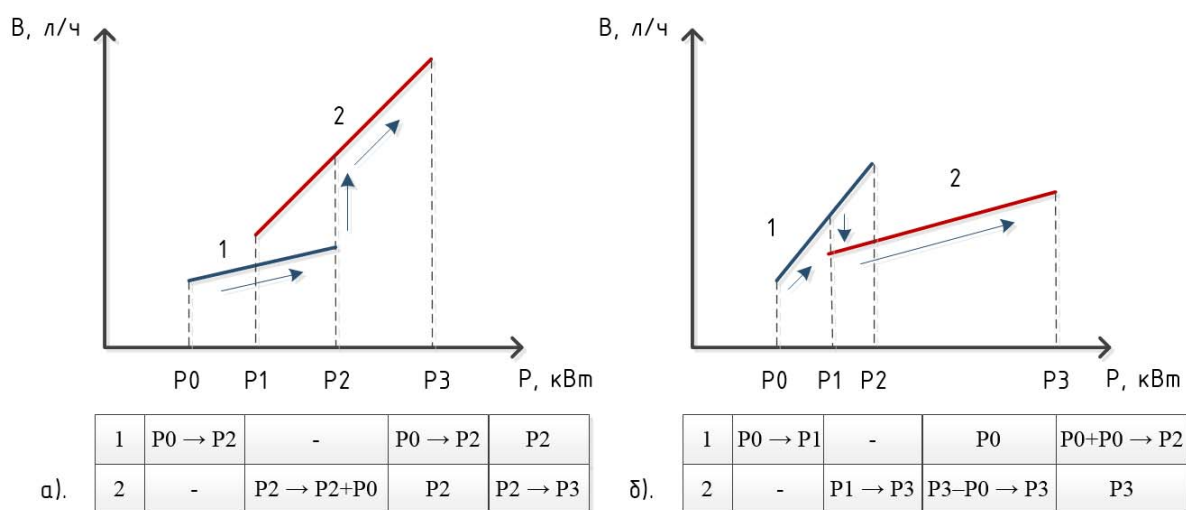


Рис. 3 – Алгоритмы распределения нагрузки при: а). маневрировании по генератору меньшей мощности; б). маневрировании по генератору большей мощности

Если графики пересекаются между собой или зависимость  $f = V(P)$  рассматривать, как степенную функцию, то решение будет более сложным и требует дополнительных программ таких, как Mathcad или Wolfram Mathematica. Были рассмотрены две ДГУ мощностью 115 и 178 кВт, загрузка генераторов рассчитана по формулам (2) – (4) и принимает вид, показанный в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета распределения мощности между ДГУ при наборе мощности ДЭС

Требуемая мощность $P_{\text{тр}}$ , кВт	100	150	200	250	293
Мощность 1 ДГУ $P_1$ , кВт	100	0	115	115	115
Мощность 2 ДГУ $P_2$ , кВт	0	150	85	135	178
Расход топлива $V$ , л/час	27	43	51	62	75

Для сравнения рассмотрены также другие варианты распределения мощности по характеристикам, взятым из паспортов ДГУ. Первый вариант рассчитанные значения оптимальное распределения мощности ДГУ (таблица 1), второй вариант – полная загрузка более мощного генератора, третий вариант – равномерное распределение мощности между генераторами. Сравнение итогового расхода топлива показано в таблице 2. где серым цветом показаны варианты, при которых оборудование работает при низких КПД.

Таблица 2. Варианты распределения мощности между генерирующим оборудованием

Значение мощности, кВт	Суммарный расход топлива, л/ч		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
180	45	-	46
200	51	55	52
220	57	58	60
250	62	65	-
270	68	70	-

В соответствии с таблицей 2, меньшее потребление топлива происходит при оптимальном варианте, что подтверждает расчеты. Экономия дизельного топлива в год составляет до 15%.

При моделировании ВДЭС с n ДГУ совместное решение (4) и (5) представляет собой сложную n-мерную систему, которая будет решаться с помощью программного обеспечения, реализуемого в НОЦ «ВИЭ» при финансовой поддержке Минобрнауки №14.577.21.0066 в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» и Президентского гранта НШ-2240.2014.8 государственной поддержки ведущих научных школ РФ.

Выводы:

1. Предложен алгоритм распределения мощности между ДГУ, основанный на решении системы уравнений методом множителей Лагранжа с условиями Куна-Таккера.
2. Оптимальное распределение мощности возможно при маневрировании по генератору с меньшим значением приращения расхода топлива.
3. Использование алгоритма распределения мощности между ДГУ позволяет экономить до 15% дизельного топлива в год.

### Список литературы

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб: Наука, 2013, 308 с.
2. Елистратов В.В., Конищев М.А., Денисов Р.С. Выбор состава оборудования модульной ВДЭС с высокой долей замещения на основе метода анализа иерархий // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 7 () 2015. – 37-47 с.
3. Денисов Р.С. К вопросу обоснования состава и параметров оборудования ветродизельной электростанции // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 11 (151) 2014. – 72-77 с.
4. Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития и использования ветроэнергетики в России. «Атмограф», 2011. 502 с.
5. Бертсекас Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа. М.: Радио и связь, 1987. - 400 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА

Елистратов В.В., Кудряшева И.Г.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Большая часть территорий (60-65%), являющихся перспективными для создания энергокомплексов (ЭК) с использованием ветро- и дизельных установок в России, находятся в зонах с суровыми климатическими условиями, осложняющими их проектирование и эксплуатацию (рисунок 1). Решение проблем энергообеспечения северных территорий будет способствовать созданию социальной и энергетической инфраструктуры, обеспечивающей современный уровень проживания и работы в этих регионах.

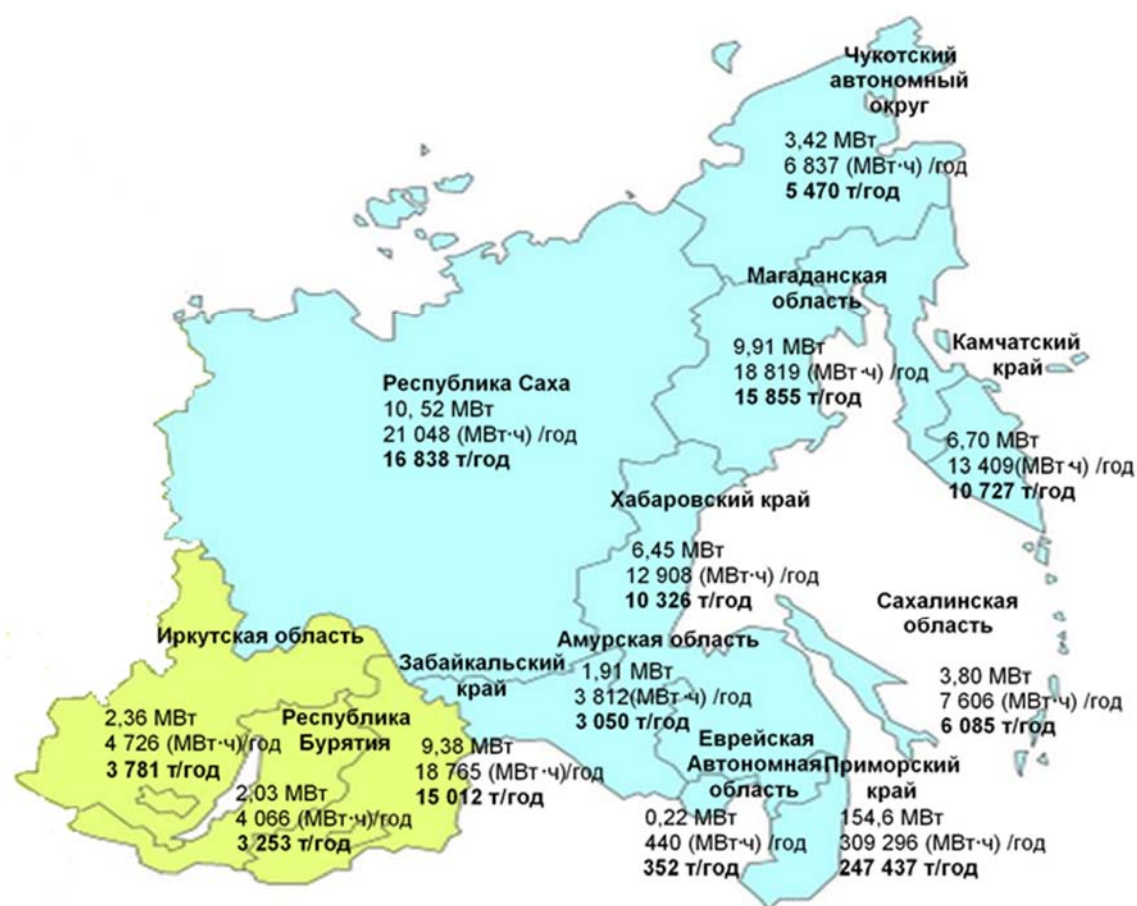


Рисунок 1 – Потенциал ВИЭ по замещению дизельной генерации промышленных потребителей на Дальнем Востоке (по данным РЭА)

В настоящее время энергообеспечение в изолированных энергосистемах северных регионов осуществляется, в основном, на дизельных электростанциях (ДЭС), себестоимость электроэнергии на которых составляет от 15 до 150 руб./кВт\*ч (рисунок 1). Высокая стоимость производства электроэнергии обусловлена значительными расходами на приобретение топлива, логистическими затратами, неразвитостью транспортной инфраструктуры этих районов [1]. Перекрестное субсидирование, связанное с большими бюджетными дотациями, существенно снижает эффективность тарифной политики, проводимой в отношении как промышленных, так и бытовых потребителей.

В настоящее время энергообеспечение в изолированных энергосистемах северных регионов осуществляется, в основном, на дизельных электростанциях (ДЭС), себестоимость электроэнергии на которых составляет от 15 до 150 руб./кВт\*ч (рисунок 1). Высокая стоимость производства электроэнергии обусловлена значительными расходами на приобретение топлива, логистическими затратами, неразвитостью транспортной инфраструктуры этих районов [1]. Перекрестное субсидирование, связанное с большими бюджетными дотациями, существенно снижает эффективность тарифной политики, проводимой в отношении как промышленных, так и бытовых потребителей.

Эффективным решением в снижении расхода топлива и себестоимости производимой электроэнергии на дизельных установках является создание энергокомплексов на базе ДЭС и ВЭС (ВДЭС) в зонах достаточно высокого ветроэнергетического потенциала (от 400 до 600 Вт на м<sup>2</sup> на высоте 50 м). Внедрение таких энергокомплексов обеспечит энергетическую и экологическую безопасность изолированных потребителей [2].

Развитие распределенной генерации в регионах децентрализованного энергоснабжения и удаленных территорий за счет ВИЭ намечено в соответствии с Генеральной схемой размещения генерирующих объектов на территории России на перспективу до 2030 года. В настоящее время ведется строительство ряда энергокомплексов на основе использования традиционных и возобновляемых источников энергии в Камчатском крае, Ненецком автономном округе, Республике Саха-Якутия, Ямало-Ненецком автономном округе и других северных субъектах РФ.

В Санкт-Петербургском университете Петра Великого в научно-образовательном центре «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» в рамках проекта ФЦП Минобрнауки разрабатываются методы и технологии автономного энергоснабжения на основе создания модульных энергокомплексов на базе традиционных и возобновляемых источников энергии для суровых климатических условий.

Методология обоснования параметров и технологических основ внедрения ВДЭС базируется на функциональной многоуровневой схеме последовательного решения задач и выполнения заданных критериальных условий для каждого уровня, состоящего из блоков. Расчетные блоки обеспечивают последовательную реализацию задач: моделирование ветрового потока, оценку ветропотенциала, отбор и ранжирование вариантов реализации ЭК на основе многопараметрического сравнения, оптимизацию режимов работы, финансово-экономический анализ эффективности выбранных проектных решений.

На первом уровне формируются массивы исходных данных природно-климатической информации, выбираются возможные площадки размещения ЭК и по специальной методике проводится предварительное крупномасштабное моделирование с получением интегральной оценки ветроэнергетических ресурсов. В основу методики оценки ветроэнергетических ресурсов (ВЭР) заложен принцип трехуровневой системы. На первом уровне на основании анализа данных разработанных ранее атласов ветров России проводится предварительное крупномасштабное моделирование и интегральная оценка ветроэнергетических ресурсов. На втором уровне проводится региональная оценка ВЭР на основе мезомасштабного моделирования ветрового потока и расчета ветроэнергетических ресурсов с учётом природно-климатических особенностей региона. На третьем уровне проводится микромасштабное моделирование ветрового потока и расчет ресурсов с учетом орографии, рельефа, топографии и др. для конкретного места размещения энергокомплекса. На этом же уровне генерируются графики энергопотребления объектов и формируется база данных нормативно-правовых,

финансовых и экономических показателей субъекта Федерации, на территории которого создается ЭК.

Во втором блоке проводится отбор и ранжирование вариантов реализации ЭК на основе многопараметрического сравнения, рекомендаций по адаптации работы оборудования к северным условиям [3]. Для выбранных вариантов рассчитываются параметры фундаментов ВЭУ для конкретных площадок размещения в северных условиях на вечной мерзлоте и определяются затраты на строительные-монтажные работы по возведению ВЭС.

Ранжированный ряд вариантов, различающихся по составу и техническим параметрам оборудования, передается в блок 3 для оптимизации режимов работы ЭК с использованием имитационного моделирования.

В качестве главных критериев оптимальности выбраны: минимум стоимости электроэнергии; минимум вредных выбросов в атмосферу в эквивалентном значении CO<sub>2</sub>; максимум времени автономности (время автономной работы без технического обслуживания); максимум полезной выработки возобновляемой энергии. Имитационная схема расчёта включает следующие математические модели оборудования:

1) Модели ВЭС для расчета выработки электроэнергии на основе ветропотенциала выбранных площадок строительства, с учетом количества установок и технических характеристик оборудования, эффектов аэродинамического затенения ВЭУ и процессов регулирования системой управления с учетом заданных системных ограничений.

2) Модель СЭС (солнечных электрических станций) для расчета выработки электроэнергии от имеющегося гелиопотенциала для выбранных вариантов площадок строительства, количества и характеристик ФЭМ (фотоэлектрических модулей), эффектов затенения и процессов регулирования системой управления с учетом заданных системных ограничений.

3) Модель ДЭС для расчета выработки дизельной электростанции, расхода топлива, выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

4) Модель аккумуляторной системы (АС) для расчета реального срока службы аккумуляторной батареи (АКБ), с учетом необходимой емкости АС, уровня заряда, количества и глубины циклов заряда-разряда, потери энергии в цикле с учетом двух сценариев работы: по нагрузке и в циклическом режиме.

5) Модель балластной нагрузки (БН), определяющая количество излишков энергии образующихся при регулировании, которые могут быть использованы в виде тепловой энергии.

6) Модель системы управления, обеспечивающая регулирование и перераспределение энергии между оборудованием в соответствии с базовыми сценариями работы ЭК и рассчитывающая баланс мощностей.

Результатом имитационного моделирования блока 3 являются один или несколько вариантов реализации энергокомплекса с конкретным составом, техническими и режимными параметрами. Полученные в блоке 3 результаты исходных данных передаются в блок 4.

Для оценки эффективности вариантов реализации ЭК в блоке 4 (рисунок 2) формируется алгоритм и реализуется финансово-экономическая модель DCF (discounted cash flow) с определением показателей эффективности и выбором оптимального варианта реализации проекта [4-7]. В модели DCF рассматриваются доходы и расходы в виде денежных потоков  $CF$ , формируемых на протяжении жизненного цикла и дисконтируемых к базовому (текущему) году по ставке, определяемой с учетом рисков и прогнозов инфляции, и единовременных финансовых средств в виде кредитов, ссуд и т.д.



Потоки DCF позволяют рассчитать показатели экономической эффективности проекта: чистого дисконтированного дохода (Net Present Value – NPV); внутренней нормы доходности (Internal rate of Return – IRR), индекса доходности (Profitability Index – PI); срока окупаемости (PB). Проект эффективен, если  $NPV > 0$ ,  $IRR > r$ ,  $PI > 1$ .

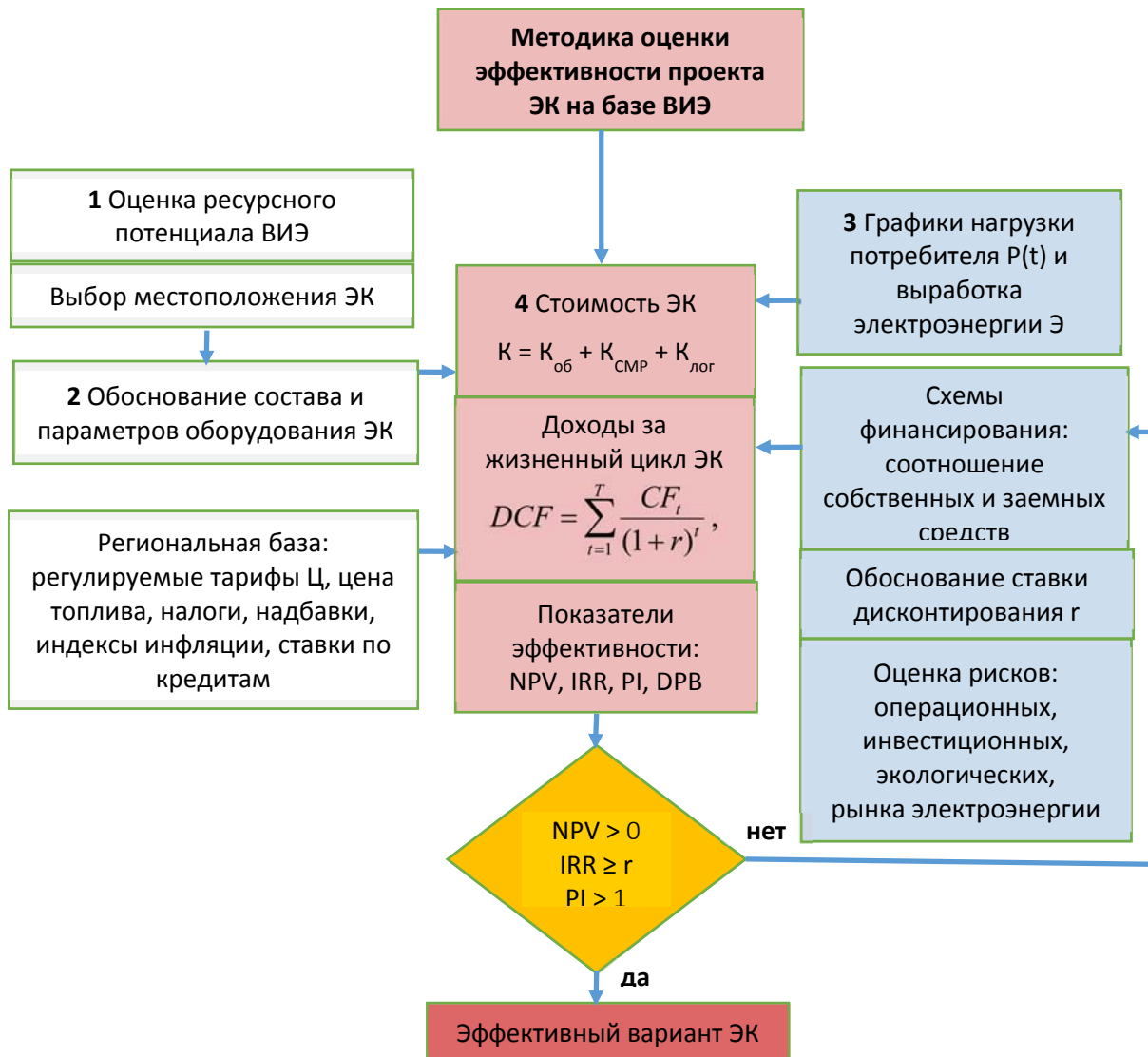


Рисунок 2 – Блок-схема финансово-экономической модели

Финансирование проектов на ВИЭ возможно, как за счет средств из региональных и местных бюджетов, так и за счет привлеченных государственных и частных кредитов на возвратной основе, а также субсидий на безвозвратной основе, целевых инвестиционных фондов и т.д.

Для повышения эффективности проектов на базе ВИЭ предлагается привлечение частно-государственного партнерства, внедрение энергосервисных контрактов и создание объектов «под ключ», использование лизинговых схем закупки основного оборудования энергокомплексов.

Предлагаемая методология, реализованная при проектировании и обосновании параметров ветродизельного энергокомплекса в п. Андерма Ненецкого автономного округа, позволила повысить технико-экономические показатели проекта за счет:

- снижения объема производства электроэнергии на ДЭС за счет использования ветровой энергии с 510 тыс. кВт·ч до 160 тыс. кВт·ч;

– уменьшения объема потребления дизельного топлива на 303 тыс. л в год, что составило экономию в 12.5 млн. руб.;

– снижения затрат на техническое обслуживание, замену/ремонт ДГУ в 1.3 раза

– уменьшения объема выбросов CO<sub>2</sub> на 600 т;

– снижения цены за электроэнергию у конечного потребителя на 38% с 45.2 руб/кВт\*ч до 28.2 руб/кВт\*ч.

Эффект за счет сокращения объема привозного топлива и экономически обоснованного тарифа составил 45 млн. руб. в год.

Исследования проводились при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, соглашение №14.577.21.0066, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57714X0066.

### Список литературы

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. С-Пб: Наука, 2013.
2. Wind energy projects in cold climates. Expert group study on recommended practices // The International Energy Agency Program for Research, Development and Deployment on Wind Energy Conversion Systems. – May, 2012.
3. Elistratov V.V., Denisov R.S., Konishchev M.A., Knezhevich M. Problems of construction Wind-Diesel Power Plants in harsh climatic conditions // Journal of Applied Engineering Science. – No. 1, 2014, vol.12. 29-36 pp.
4. Elisrtrатов V., Kudryasheva I., Pilipets P. Energy efficient solutions of power supply in north regions. Applied Mechanics and Materials. Vol. 725-726, 2015, pp. 1463-1470.
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. / М-во экономики РФ, м-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. М.: Экономика. 2000.
6. Сидоренко Г.И., Кудряшева И.Г., Пименов В.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Техничко-экономический анализ: Учеб. пособие / Под общ. ред. В.В. Елистратова и Г.И. Сидоренко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
7. Hunter R., Elliot G. Wind-Diesel Systems: A Guide to the Technology and its Implementation. University of Cambridge, 1994, ISBN 0 521 43440 8.



## МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**Елистратов В.В., Федоров М.П.**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
195220, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул.29,  
e-mail:elistratov@ice.spbstu.ru, р. т.+7 (812) 5527771, м.т.+7(921) 9418389

В настоящее время 65% территории России находится в зоне изолированного (автономного) энергоснабжения и в основном обеспечиваются электроэнергией от дизельных электростанций, работающих на привозном топливе. По оценке Российского энергетического агентства число ДЭС, работающих в этих зонах составляет около 900, выработка электроэнергии около 2,54 млрд кВт-ч в год.

Стоимость производства энергии на таких ДЭС составляет 025-2,0 Евро/кВт-ч, Поэтому уменьшение объема потребления дальнепривозного топлива является важной социально-экономической задачей.

В тоже время в зонах автономного энергоснабжения велик потенциал ветровой и солнечной энергии, который может быть эффективно использован путем создания энергокомплексов на базе ВИЭ.

Валовые ветроэнергетические ресурсы (ВЭР) России составляют -  $80 \times 10^{15}$  кВт-ч/год, технические ВЭР–  $6.2 \times 10^{15}$  кВт-ч /год, экономические  $31 \times 10^{12}$  кВт-/год. Около 38% сосредоточено в Европейской части, около 30% сконцентрировано на Дальнем Востоке, около 16% в Западной Сибири и около 16% в Восточной Сибири. Северные и дальневосточные территории России, где находятся основные объекты децентрализованного энергоснабжения находятся в зоне высокого ветропотенциала. Ресурсы солнечной энергии имеют высокий потенциал также в Регионах Сибири и Дальнего востока (Республики Якутия, Бурятия, Приморский край)

В России нет опыта создания подобных оптимизированных под требуемое энергопотребление, энергокомплексов, использующих органические и возобновляемые источники энергии и обеспечивающие высокую долю замещения дорогого органического топлива.

Для решения научно-технологических и технико-экономических задач, связанных с созданием таких энергокомплексов СПбПУ Петра Великого выполняет при финансовой поддержке Минобрнауки РФ проект 14.577.21.0066 «Разработка методов и интеллектуальных технологий автономного энергоснабжения на основе традиционных и возобновляемых источников энергии для суровых климатических условий».

Методология создания эффективной и конкурентноспособной системы энергоснабжения на базе ЭК с ВИЭ в предусматривают решение следующих задач:

1) Разработать методику достоверной оценки ресурсов ВИЭ в месте размещения ЭК в условиях ограниченной метеорологической и природно-климатической информации.

2) Разработать методику расчета оптимальных параметров и режимов работы автономного энергокомплекса для энергоснабжения удаленных потребителей в суровых климатических условиях

3) Разработать концепцию модульной автономной системы энергоснабжения на базе ВДЭС с энергетическим оборудованием, адаптированным для работы в российских северных условиях.

4) Разработать интеллектуальную систему преобразования, управления и распределения энергии ЭК, позволяющую интегрировать энергокомплекс на основе ВИЭ в автономную систему энергоснабжения в качестве активно-адаптивной установки, для обеспечения надежного и эффективного энергоснабжения потребителей.

5) Разработать методику расчета инвестиций в ЭК на базе ВИЭ для автономных регионов на основе системной эффективности создаваемого объекта, с учетом ресурсов возобновляемой энергии, схем и особенностей формирования тарифов на рынках автономного энергоснабжения, адаптированного оборудования, природно-климатических, социально-экономических, транспортных, логистических и экологических факторов

Для решения 1-й задачи - оценки ветроэнергетических ресурсов (ВЭР) в условиях ограниченной исходной климатической информации, предложен и реализован принцип трехуровневой системы оценки (рис.1).

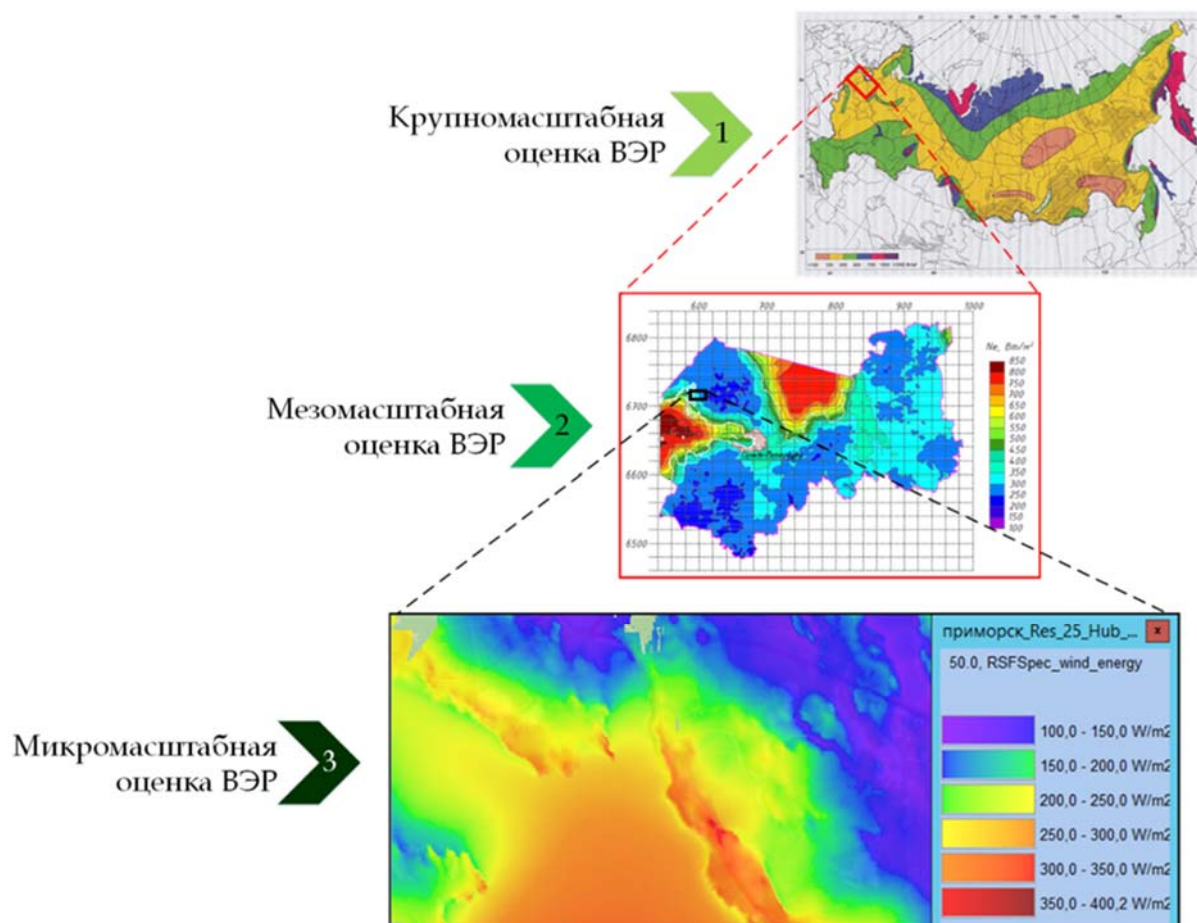


Рис. 1. Многоуровневая схема оценки ВЭР при недостаточной исходной информации.

На третьем уровне, предлагается проведение микромасштабного моделирования ветрового потока. Для повышения точности микромасштабного моделирования и оценки ресурсов в конкретном месте размещения ЭК используются данные реанализа из специализированных зарубежных баз данных MERRA, CFSR и др., спутниковых наблюдений NCAR/NCEP и баз цифровых моделей рельефа и шероховатости поверхности земли Global Mapper, NASA SRTM, European Environment Agency и др. При проведении моделирования используются: 1) многолетние ряды данных о скорости и направлении ветра, полученные в ближайших узлах мезомасштабной сетки на 2 уровне; 2) цифровая модель рельефа с разрешением 1-20 м; 3) цифровая модель шероховатости с разрешением 1-500 м; 4) данные натуральных измерений с ветроизмерительных комплексов, в том числе полученных на ГМС (при наличии). Результатами расчетов на третьем уровне являются карты ветропотенциала высокого разрешения (до 200-50 м) для конкретного места размещения энергокомплекса на различных высотах, зависящих от характеристик используемых ВЭУ.

Методика расчета оптимальных параметров и режимов работы автономного энергокомплекса для энергоснабжения удаленных потребителей в суровых климатических условиях основана на проведении имитационного моделирования режимов работы энергокомплексов, различных по составу и техническим параметрам оборудования (рис.2). В качестве главных критериев оптимальности выбраны [5]:

- минимум нормированной стоимости электроэнергии;
- минимум вредных выбросов в атмосферу в эквивалентном значении CO<sub>2</sub>;
- максимум времени автономности (время автономной работы без технического обслуживания);
- максимум выработки электроэнергии установками, использующими ВИЭ.

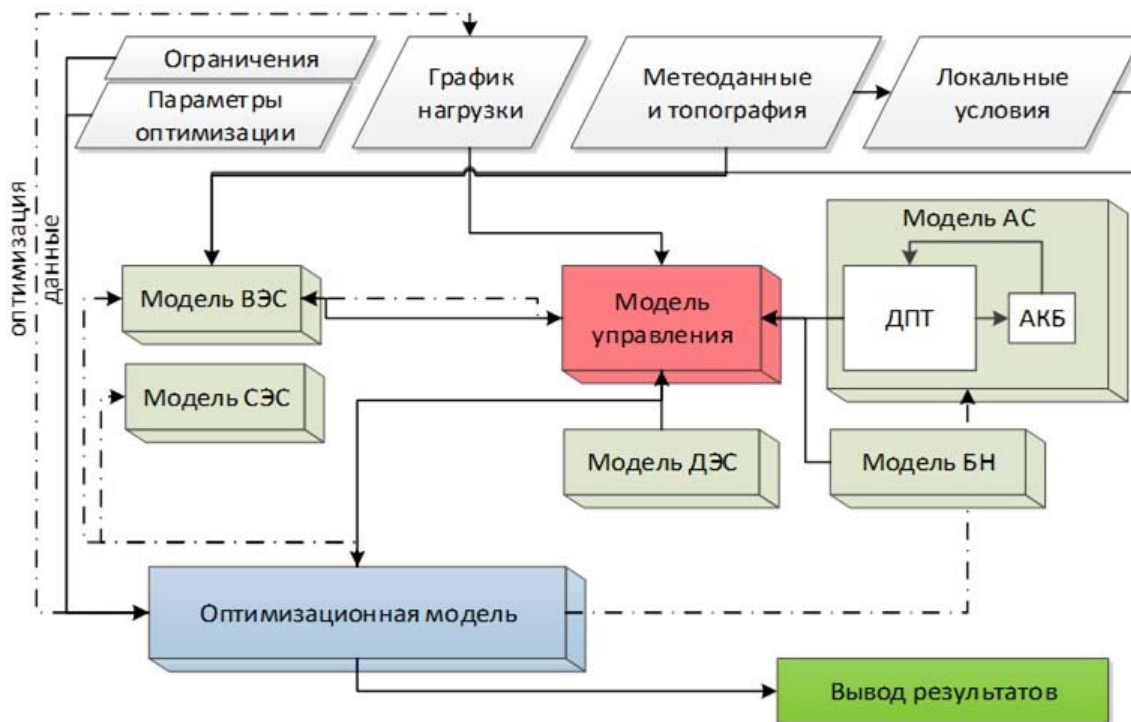


Рисунок 2 – Блок-схема модуля имитационного моделирования режимов работы ЭК

Разработан программный комплекс для имитационного моделирования основанный на использовании следующих математических моделей оборудования.

1. Моделей ВЭУ (ветроэнергетических установок) или ВЭС, рассчитывающих выработку электроэнергии на основе ветропотенциала предполагаемых площадок строительства, с учётом числа и технических характеристик оборудования ВЭУ, эффектов аэродинамического затенения ВЭУ и процессов регулирования системой управления с учётом заданных системных ограничений.

2. Модели СФЭУ (солнечная фотоэлектрическая установка), определяющей выработку электроэнергии от имеющегося гелиопотенциала для вариантов площадок строительства, числа и характеристик ФЭМ (фотоэлектрических модулей), эффектов затенения и процессов регулирования мощности ФЭМ системой управления с учётом заданных системных ограничений. Кроме того, в модели СФЭУ рассчитываются уровни экстремальных напряжений батареи, возникающих в течение года, для определения технических параметров солнечных инверторов.

3. Модели ДЭС, определяющей выработку дизельной электростанции, расход топлива, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, срок службы до капитального ремонта с учётом выбранных в блоке 2 вариантов дизельных электрических аккумуляторов (ДЭА), их характеристик и графика технического обслуживания.

4. Модели аккумулирующей системы (АС), определяющей реальный срок службы аккумуляторной батареи (АКБ), с учётом необходимой ёмкости АС (получаемой из блока 2), уровня заряда, числа и глубины циклов заряда-разряда, потери энергии в цикле с учётом двух сценариев работы: по нагрузке и в циклическом режиме.

5. Модели балластной нагрузки (БН), определяющей излишки энергии, образующиеся при регулировании, которые могут быть использованы в виде тепловой энергии.

6. Модели системы управления, обеспечивающей регулирование и перераспределение энергии между оборудованием в соответствии с базовыми сценариями работы ЭК и рассчитывающей баланс мощностей.

Результатом имитационного моделирования являются один или несколько вариантов реализации энергокомплекса с конкретным составом, техническими и режимными параметрами.

Финансово-экономический анализ вариантов энергокомплексов основан на сравнении ежегодных доходов и расходов по вариантам проекта для принятого жизненного цикла с учетом региональных особенностей формирования экономических показателей. Финансирование проектов на ВИЭ возможно как за счёт средств из региональных и местных бюджетов, так и за счёт привлечённых государственных и частных кредитов на возвратной основе, а также субсидий на безвозвратной основе, целевых инвестиционных фондов и др. Для реализации проектов на базе ВИЭ в северных регионах предлагается использование положений постановлений Правительства РФ № 449 и особенно № 47 о стимулировании внедрения ВИЭ на оптовом и розничном рынках и зоне децентрализованного энергоснабжения, привлечение частно-государственного партнёрства, использование лизинговых схем закупки, энергосервисных контрактов и строительства «под ключ».

Данный подход к расчету эффективности и оптимизации параметров ЭК реализован в проекте энергокомплекса ВДЭС в п. Андерма с мощностью реконструируемой ДЭС – 1050 кВт и пристраиваемой ВЭС – 250 кВт. Объём производства энергии составляет 2790 МВт\*ч. Внедрение предлагаемой методологии позволило снизить:

расход электроэнергии на собственные нужды с 510 до 160 тыс. кВт\*ч (более чем в 3 раза);

расход дизельного топлива с 719 до 416 тыс. л (на 40%), т.е. на 303 тыс. л в год, что составило 12,5 млн. руб.;

объёмы выбросов CO<sub>2</sub> на 600 т.

Эффект за счёт сокращения объёма привозного топлива и установления экономически обоснованного тарифа составил 45 млн. руб. в год.

### **Выводы**

1. Предложена методология обоснования параметров и режимов работы энергокомплексов на базе ВИЭ, основанная на комплексном подходе, обеспечивающем высокое замещение дизельного топлива, и включающая оценку ресурсов ВИЭ в условиях дефицита природно-климатической информации, выбор и оптимизацию состава и параметров оборудования с использованием системы интеллектуального управления.

2. Реализация принципов многоцелевого комплексного подхода к созданию и оценке эффективности проектов энергокомплексов на базе ВИЭ обеспечивает повышение научно-технического уровня и инвестиционной привлекательности проектов для отдалённых районов в суровых природно-климатических условиях.

3. Использование предлагаемых подходов способствует повышению энергетической и экологической безопасности и надёжности энергоснабжения районов, снижению объёмов дальнепривозного топлива и цен на электроэнергию у конечных потребителей.

**Список литературы**

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Наука, 2013.
2. Wind energy projects in cold climates. Expert group study on recommended practices. -- The International Energy Agency Program for Research, Development and Deployment on Wind Energy Conversion Systems, 2012, May.
3. Seifert H. Technical Requirements for Rotor Blades Operating in Cold Climate. BOREAS VI, FMI, Pyhäunturi, Finland. 2003.
4. В.В. Елистратов, М.А. Конищев, Р.С. Денисов Выбор состава оборудования модульной ВДЭС с высокой долей замещения на основе метода анализа иерархий.- Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», №7,2015, с 37-47.
5. Problems of construction Wind-Diesel Power Plants in harsh climatic conditions / Elistratov V.V., Denisov R.S., Konishchev M.A., Knezhevich M. -- Journal of Applied Engineering Science, 2014, vol.12, No. 1.
6. Elisrtrator V., Kudryasheva I., Pilipets P. Energy efficient solutions of power supply in north regions. Applied Mechanics and Materials. 2015, Vol. 725-726.
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2000.
8. Сидоренко Г.И., Кудряшева И.Г., Пименов В.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Техничко-экономический анализ: Учеб. пособие / Под общ. ред. Елистратова В.В. и Сидоренко Г.И. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008.
9. Hunter R., Elliot G. Wind-Diesel Systems: A Guide to the Technology and its Implementation. University of Cambridge, 1994, ISBN 0 521 43440 8.
10. Analysis and simulation of isolated wind diesel hybrid power system / Raghav Chakravarthy E.S., Bhargavi A., Parkavi Kathirvelu K. and Balasubramanian R. -- ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014. ISSN 1819-6608, Vol. 9, № 7.
11. The Outlook for Renewable Energy in America. American Council On Renewable Energy (ACORE). 2014.

**АВТОНОМНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ВЭС-ГЭС –  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ДИЗЕЛЬНОЙ  
ГЕНЕРАЦИИ**  
**AUTONOMOUS WIND-HYDRO ENERGY HYBRID – ENVIRONMENTALLY  
FRIENDLY ALTERNATIVE OF DIESEL GENERATION**

**Елистратов В.В., Чернова А.В.**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
г. Санкт-Петербург, Россия

**Elistratov V.V., Chernova A.V.**

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg, Russia

**Ключевые слова:** децентрализованное энергоснабжение, автономные системы, энергетический комплекс, ветровая энергия, гидравлическая энергия, ветроэлектрическая станция, гидроэлектрическая станция, обоснование параметров

**Keywords:** distributed generation, autonomous system, hybrid power system, wind energy, hydraulic energy, wind power station, hydroelectric station, justification of parameters

Областью исследования настоящей работы являются автономные системы энергоснабжения мощностью 100 кВт ÷ 30 МВт. Для энергоснабжения индивидуальных и групповых децентрализованных потребителей в таких системах в настоящее время в основном используются автономные дизельные электрические станции (ДЭС) или комбинированные автономные системы на базе установок возобновляемой энергетики и дизель генераторов (комплексы ВЭС-ДЭС, СЭС-ДЭС, ВЭС-СЭС-ДЭС, микро- и мини-ГЭС-ДЭС и др.). Наибольшее распространение получили гибридные ветро-дизельные системы - рисунок 1 [1-4]. Мировая установленная мощность автономных генерирующих объектов, в состав которых входит ДЭС, оценивается минимум в 20 ГВт с ежегодной выработкой 110 ТВт\*ч [1], а единичная мощность автономных объектов изменяется от 1-5 кВт до 15-18 МВт [3]. В России к зонам децентрализованного энергоснабжения относится свыше 65% территории страны, на которой проживают более 15 млн. человек [4].

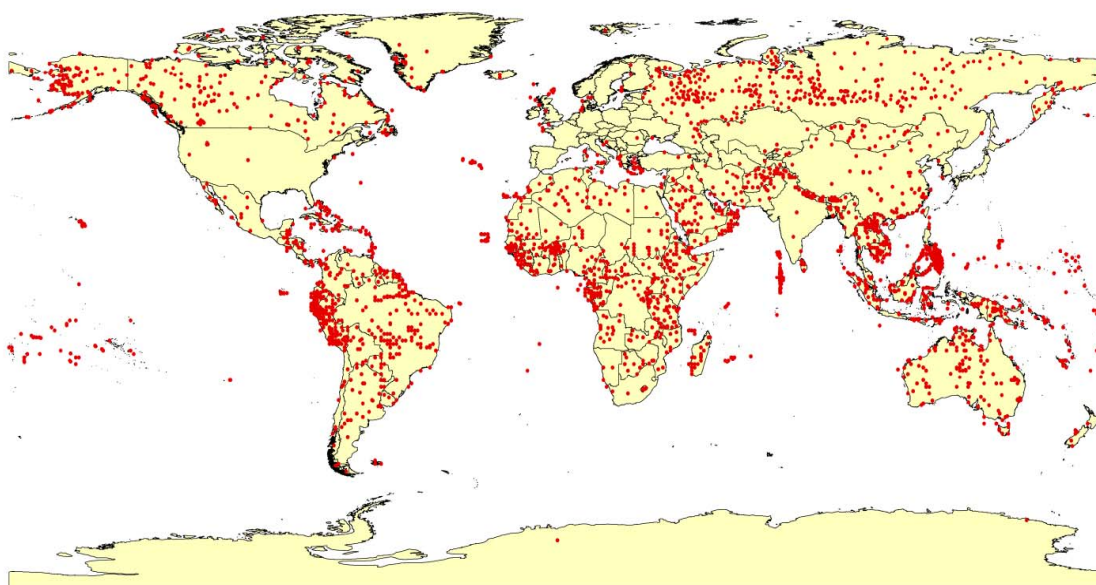


Рис. 1. Децентрализованные зоны с энергоснабжением от ДЭС [1, 4].



К основным недостаткам систем на базе дизельных электростанций следует отнести высокую стоимость и невозобновляемость дизельного топлива, наличие выбросов парниковых газов и загрязнение окружающей среды. В соответствии с [4] при выработке 1 кВт\*ч электроэнергии дизельными электрическими станциями выбросы парниковых газов соответственно составят CO<sub>2</sub> – 772 г, SO<sub>2</sub> – 1,6 г, NO<sub>x</sub> – 12,3 г. Таким образом ежегодные общемировые выбросы парниковых газов в атмосферу Земли за счёт ДЭС составляют CO<sub>2</sub> – 84,9 млн.тн, SO<sub>2</sub> – 0,2 млн.тн, NO<sub>x</sub> – 1,4 млн.тн.

Автором в качестве альтернативы дизельной генерации и комплексным системам на базе ДЭС в районах с достаточным ветро- и гидроэнергетическим потенциалом предлагается рассмотреть возможность энергоснабжения децентрализованных потребителей автономными энергетическими комплексами на базе ветро- и гидроэлектрических станций. К преимуществам такого объединения следует отнести то, что оба используемых ресурса являются местными, возобновляемыми, экологически безопасными и независимыми от расценок на привозное топливо.

Автономный энергетический комплекс ВЭС-ГЭС представляет собой объединение ветроэлектрической (ВЭС) и гидроэлектрической (ГЭС) станций, при котором ВЭС и ГЭС находятся в непосредственной близости друг от друга и от потребителя электрической энергии и соединены между собой энергетическими, инфраструктурными и информационными связями.

Учитывая, что нагрузка существующих децентрализованных потребителей не превышает 30 МВт, в соответствии с классификацией ГЭС, принятой в России, предлагаемые гидроэлектростанции будут относиться к категории малых (МГЭС) [4].

Для совместной работы ветро- и гидроэлектростанций требуется наличие водохранилища ГЭС, позволяющего практически без потерь запастись выработанную ВЭС электрическую энергию в виде потенциальной энергии воды и в необходимое время преобразовывать её обратно через агрегаты ГЭС. Вопросам гидравлического аккумулирования ветровой энергии водохранилищем ГЭС посвящены работы Васильева Ю.С., Виссарионова В.И., Минина В.А., Елистратова В.В., Конищева М.А., Daniel С.Р., Thomas L. Acker, George С. Vakos и других. В соответствии с [4] использование водохранилищ ГЭС для аккумулирования энергии ветра является наиболее эффективным, так как в отличие от других существующих систем водохранилища обладают достаточной ёмкостью для запасаения и длительного хранения всей электроэнергии, вырабатываемой ВЭС. В связи с отсутствием двойного преобразования энергии ВИЭ, эффективность аккумулирования ветровой энергии водохранилищем ГЭС достигает 92÷95% [4].

Основными структурными элементами энергокомплекса ВЭС-ГЭС являются ветроэлектрическая станция (ВЭС), гидроэлектрическая станция (ГЭС), водохранилище и распределительное устройство (РУ) - рисунок 2.

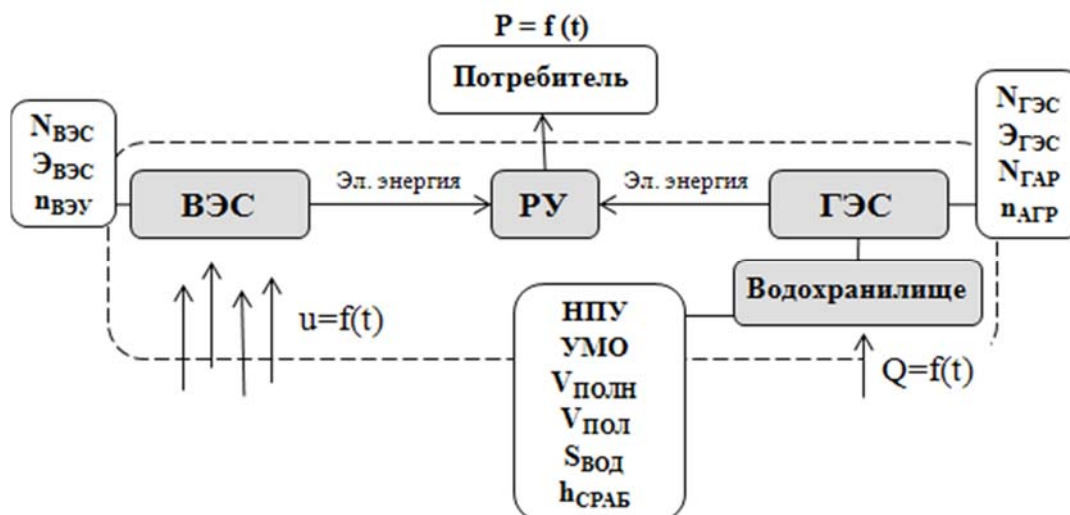


Рис. 2. Структурная схема энергетического комплекса ВЭС-ГЭС

Основные параметры энергетического комплекса ВЭС-ГЭС, подлежащие технико-экономическому обоснованию, приведены ниже. Параметры распределительного устройства являются вторичными по отношению к параметрам ВЭС, ГЭС и водохранилища и в дальнейшем не рассматриваются.

Таблица. Структурные элементы и основные параметры энергетического комплекса ВЭС-ГЭС

№ п/п	Структурный элемент	Основные параметры	Обозначение
1	Гидроэлектрическая станция (ГЭС)	установленная мощность ГЭС	$N_{ГЭС}$
2		среднегодовая выработка ГЭС	$Э_{ГЭС}$
3		гарантированная мощность ГЭС расчётной обеспеченности	$N_{ГАР}$
4		количество агрегатов ГЭС	$п_{АГР}$
5	Водохранилище	отметка нормального подпорного уровня	▼ НПУ
6		отметка уровня мёртвого объёма	▼ УМО
7		полный объём водохранилища	$V_{ПОЛН}$
8		полезный объём водохранилища	$V_{ПОЛ}$
9		площадь зеркала водохранилища	$S_{ВОД}$
10		глубина сработки	$h_{СРАБ}$
11	Ветроэлектрическая станция (ВЭС)	установленная мощность ВЭС	$N_{ВЭС}$
12		среднегодовая выработка ВЭС	$Э_{ВЭС}$
13		количество ВЭУ в составе ВЭС	$п_{ВЭУ}$

Обоснование параметров энергетического комплекса ВЭС-ГЭС представляет собой иерархический, многоуровневый, итерационный процесс. Поиск оптимального решения



выполняется методом последовательного приближения на основе многовариантного поиска.

Для выбранного створа гидроузла и определённого месторасположения площадки ВЭС количество рассматриваемых вариантов ( $N$ ) вычисляется по формуле:

$$N = k \cdot (m + 1) \cdot c \cdot d \cdot (n - 1) \quad (1)$$

где  $k$  – количество рассматриваемых типов ВЭУ,  $m$  – количество ВЭУ в составе ВЭС (от 0 до  $m$ ),  $c$  – количество рассматриваемых вариантов отметок НПУ,  $d$  – количество рассматриваемых вариантов отметок УМО,  $n$  – количество агрегатов ГЭС (от 2 до  $n$ ).

В случае если рассматриваются несколько створов ГЭС и(или) площадок ВЭС, количество вариантов определяется по формуле:

$$N_{\Sigma} = N \cdot x \cdot y \quad (2)$$

где  $x$  – количество рассматриваемых створов ГЭС,  $y$  – количество рассматриваемых площадок размещения ВЭС.

Параметры энергетического комплекса обосновываются в несколько этапов. На первом этапе при заданном графике нагрузки, варьируя установленной мощностью ВЭС, типом и количеством ВЭУ, определяется оптимальное расположение ВЭУ в составе ВЭС по критерию максимума выработки электроэнергии ВЭС.

На втором этапе на основе многолетних рядов наблюдений за приходом ветровой и гидравлической энергии, включающих ряды различной частоты, в том числе часовые и суточные наблюдения, рассчитываются режимы совместной работы ВЭС и ГЭС для покрытия графика нагрузки для вариантов с различными параметрами составляющих энергетического комплекса. На этом этапе критериями оптимальности являются обеспечение графика нагрузки потребителя и минимальные потери энергии ГЭС и ВЭС.

На третьем этапе на основе разрабатываемых 3D-моделей элементов сооружений, рассчитываются объёмы работ и сметная стоимость строительства энергокомплекса ВЭС-ГЭС, проводится ранжирование вариантов по критериям минимума стоимости сооружений и основного оборудования и минимума стоимости затопляемых водохранилищем земель. Стоимость основного энергетического оборудования ВЭС определяется в соответствие с информацией, предоставляемой производителями ВЭУ. Стоимость основных сооружений и оборудования ГЭС рассчитывается на основании ведомости объёмов работ по действующим федеральным и территориальным единичным расценкам.

На четвёртом этапе оценивается технико-экономическая эффективность строительства энергетического комплекса по показателям технико-экономической эффективности ( $NPV$ ,  $PI$ ,  $IRR$ ,  $DPB$ ).

<b>Критерии оптимизации</b>	<b>Уровни оптимизации</b>
$\mathcal{E}_{ВЭС_i} \rightarrow \max$	(1)
$P_i = \mathcal{E}_{ВЭС_i} + \mathcal{E}_{ГЭС_i} \mp \Delta \mathcal{E}_i$	(2)
$\Delta \mathcal{E}_i \rightarrow \min$	
$C_{ЭК} \rightarrow \min$	(3)
$C_{ВЩ} \rightarrow \min$	
$NPV > 0$	
$PI > 1$	(4)
$IRR > r$	
$DBT < T$	

где  $i = 1 \div 8760$  – номер расчётного интервала  $\Delta t$  в году ( $\Delta t = 1$  час),  $\mathcal{E}_{ВЭС_i}$  – выработка ВЭС за интервал  $\Delta t_i$ ,  $P_i$  – нагрузка потребителя,  $\mathcal{E}_{ГЭС_i}$  – выработка ГЭС в интервале  $\Delta t_i$ ,

$\Delta \mathcal{E}_i$  – излишек или недостаток электрической энергии, выдаваемой энергетическим комплексом,  $C_{ЭК}$  – стоимость основных сооружений и оборудования энергетического комплекса,  $C_{ВЩ}$  – стоимость создания водохранилища,  $NPV$  – чистый дисконтированный доход,  $PI$  – индекс доходности,  $IRR$  – внутренняя норма доходности,  $DBT$  – дисконтированный срок окупаемости,  $r$  – ставка дисконтирования,  $T$  – расчётный срок, принимаемый для энергетических комплексов ВЭС-ГЭС равным 20 годам.

Мощность ветроэлектрической станции  $N_{ВЭС\_i}$  для каждого момента времени  $i$  рассчитывается на основе кривой отдачи мощности ВЭУ по формуле:

$$N_{ВЭС\_i} = \sum_{j=1}^n N_{ВЭУ\_ij}(u_i) \cdot \varphi_{ij} \quad (4)$$

где  $N_{ВЭУ\_ij}(u_i)$  – мощность  $j$ -ой ВЭУ, определяемая по кривой отдачи мощности в зависимости от скорости ветра  $u_i$  и выбранного типа ВЭУ,  $\varphi_{ij}$  – коэффициент, учитывающий потери энергии  $j$ -ой ВЭУ за счет взаимовлияния ВЭУ друг на друга.

Мощность гидроэлектрической станции  $N_{ГЭС\_i}$  для каждого момента времени  $i$  может быть определена по формуле:

$$N_{ГЭС\_i} = 9,81 \cdot Q_i \cdot H_i \cdot \eta_i \quad (5)$$

где  $Q_i$  – расход ГЭС,  $H_i$  – напор,  $\eta_i$  – КПД гидроагрегатов.

Авторами предлагается новая инженерная методика обоснования параметров и режимов совместной работы гидро- и ветроустановок в составе автономного энергетического комплекса ВЭС-ГЭС мощностью 100 кВт ÷ 30 МВт. Предлагаемая методика может быть использована при проектировании систем децентрализованного энергоснабжения потребителей в удалённых и изолированных районах, а также для оценки энергоэкономической эффективности замены существующих систем децентрализованного энергоснабжения на базе дизельных электростанций, использующих привозное топливо, на экологически безопасные системы на базе местных источников энергии – ветровой и гидравлической.

Методика разработана для использования в России, где к зонам децентрализованного энергоснабжения относится свыше 65% территории страны, с населением более 15 млн. человек, в дальнейшем методика может быть адаптирована для применения за рубежом.

### Список литературы

1. Philipp Blechinger Hybrid Mini-Grids: A Huge Market for Rural Electrification and Island Energy Supply // GIZ Mini-Grid workshop, Berlin, Germany. 26.02.2013.
2. Thomas Lynge Jensen Renewable Energy on Small Islands. Forum for Energy and Development, Copenhagen, Denmark, 1998. 199 p.
3. Елистратов В.В., Кудряшова И.Г., Чернова А.В., Пилипец П.А. База данных «Энергетические комплексы на возобновляемых и традиционных источниках энергии». СПбГПУ. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620053 от 12.01.2015.
4. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика Изд. 2-е доп. СПб: Наука, 2013.

## ПОДХОДЫ К ПРИНЯТИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В МАЛОЭТАЖНОМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ ДОМОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ермоленко Б.В.<sup>1</sup>, Ермоленко Г.В.<sup>2</sup>, Мацура А.А.<sup>2</sup>

РХТУ им. Менделеева<sup>1</sup>, Институт энергетики НИУ ВШЭ<sup>2</sup>, Москва, Россия

Проблема снижения энергопотребления и увеличения надежности энергоснабжения при обеспечении максимально благоприятных условий существования населения – одна из насущных современных проблем человечества. В России, стране с большой территорией, низкими зимними температурами, длительным отопительным сезоном и недостаточным вниманием к энергосбережению при производстве, распределении и потреблении энергии эта проблема стоит особенно остро.

В качестве эффективного инструмента снижения энергопотребления могут выступать повсеместное энергосбережение и широкое использование ВИЭ. Целесообразность применения этих инструментов обусловлена:

- насущной необходимостью сокращения объемов потребления ценного химического сырья, каким является органическое ископаемое топливо, с соответствующим уменьшением затрат на производство из него энергии и снижением локального и глобального загрязнения окружающей среды;

- наличием практически в каждом регионе энергетического потенциала определенных видов ВИЭ, достаточных для удовлетворения потребностей хотя бы части потребителей;

- желанием улучшить качество жизни, комфортность среды обитания и благосостояние людей, особенно в отдаленных регионах, где отсутствует централизованное энергоснабжение, суровы климатические условия и стоимость традиционной энергии крайне высока.

Расположение 80% территории Российской Федерации в северных широтах определяет особую важность для экономики и населения страны наличия эффективного теплоснабжения производственных, общественных и жилых зданий. Согласно данным информационной системы по строительству «НОУ-ХАУС.ру», общая площадь эксплуатируемых зданий в России составляет около пяти миллиардов квадратных метров. На их отопление расходуется 400 миллионов тонн условного топлива в год, что составляет более трети энергоресурсов страны. Свыше 40-45% затрат тепловой энергии направляется на отопление и горячее водоснабжение (ГВС) непромышленной сферы. При этом дефицит тепловой мощности во многих населенных пунктах страны составляет около 20%.

Наряду с внедрением мероприятий по энергосбережению в существующем жилом фонде, следует закладывать современные энергосберегающие технологии и в новое жилищное строительство, активный рост которого (рис. 1) наблюдается с небольшими перерывами начиная с 2000 г. [1]. По данным Минстроя России, в 2013 году доля многоквартирных домов в общей площади введенного в эксплуатацию жилья составила 57%, а объектов индивидуального жилищного строительства - 43%. Эта тенденция сохранилась и в 2014 году. Проблема энергосбережения в таких зданиях становится все более актуальной при существующих темпах строительства, действующей государственной политике увеличения доли индивидуального жилья и планах освоения территорий Дальнего Востока [2].

Социальный аспект и большие потери тепла при передаче тепловой энергии и использовании ее в жилом секторе позволяют выделить из общей задачи энергосбережения задачу строительства индивидуальных малоэтажных жилых домов с

учетом специфики местных условий и заданным или оптимальным, с социально-экономической точки зрения, уровнем энергоэффективности.



Рис.1. Ввод в действие жилых домов в Российской Федерации

В концепцию энергоэффективного дома входит не только создание теплоизоляции, но и специфические ресурсосберегающие инженерные решения систем отопления, вентиляции, кондиционирования, водо- и электроснабжения с индивидуальным или коллективным применением ВИЭ. К важным элементам пассивной и активной систем энергообеспечения таких домов нужно отнести и системы аккумулирования тепловой и электрической энергии. При наличии значительного потенциала ВИЭ энергоэффективные дома могут стать энергоавтономными или даже энергоизбыточными, отдающими излишки энергии внешним потребителям.

К основным предпосылкам развертывания масштабного строительства индивидуальных энергоэффективных домов в регионах России можно отнести:

- отсутствие возможности или наличие трудности в подключении к централизованным системам энергоснабжения;
- дороговизну и сложность доставки топлива в отдаленные населенные пункты;
- низкую энергообеспеченность населения;
- загрязнение атмосферы вредными веществами, на территориях с высоким их содержанием, в зонах отдыха, курортах и на особо охраняемых природных территориях.

Вопросы стандартизации энергоэффективного домостроительства начали решаться в Европе в конце 1970 года, когда стали разрабатываться правила уменьшения теплопотерь через элементы ограждающих конструкций здания. В странах ЕС были подготовлены Директивы стандартизации строительных норм по повышению энергоэффективности зданий.

Дания - первая европейская страна, внедрившая систему энергетической сертификации зданий, где энергетические сертификаты появились в начале 1997 г. К декабрю 2002 г. Европейским Парламентом была утверждена Директива 2002/91/ЕС «Об энергоэффективности зданий» (EPBD), определившая допустимый уровень их энергоиспользования. С введением EPBD энергетическая сертификация зданий была распространена на все страны-члены ЕС, а с 2009 года она стала обязательной.

В мае 2010 г. Директива была пересмотрена и трансформирована в Директиву 2010/31/EU. В новой редакции Директива обязывает государства ЕС к 31.11.2020 обеспечить соответствие значений энергетических показателей всех строящихся жилых объектов наилучшим показателям зданий с минимальным или нулевым уровнем

потребления энергии. Сегодня в ЕС эксплуатируется более 60 тысяч энергоэффективных домов и к 2060 г. ими планируется обеспечить 80% населения. Россия находится в начале мирового тренда в сфере комплексной оценки энергоэффективности уже эксплуатируемых зданий и строительства новых энергоэффективных домов. Энергоэффективных сооружений в нашей стране пока всего 64, девятнадцать находятся на стадии строительства, а семь – в процессе проектирования, что свидетельствует о наличии проблем в сфере российского энергоэффективного жилищного строительства: отсутствие стимулирующих механизмов и подготовленных квалифицированных кадров.

Первые шаги в направлении решения задач энергетической эффективности были обозначены 4 июня 2008 года Указом Президента РФ от № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики». В нем поставлена задача повышения энергоэффективности ВВП страны к 2020 г. не менее чем на 40 % по сравнению с достигнутым на 1 января 2008 г.

Следующим шагом стал Федеральный закон Российской Федерации №261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", вступивший в силу 23 ноября 2009 г. В нем впервые введено понятие "энергетическое обследование", или "энергоаудит", суть которого заключается: в сборе и обработке информации о потреблении предприятием энергетических ресурсов, выявлении возможностей энергосбережения и повышения энергетической эффективности, разработке необходимых мероприятий по энергосбережению. Согласно п. 5 ст.11 «Обеспечение энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» названного закона, требования энергетической эффективности не распространяются на объекты индивидуального жилищного строительства, дачные и садовые дома, в то время как многоквартирные дома должны обеспечивать установленные требования энергетической эффективности (ст.12). Таким образом, в этом законе проблема нормативного стимулирования застройщиков к строительству энергоэффективных индивидуальных домов опять решена не была. В дальнейшем представляется целесообразным ввести регулирование энергопотребления и для индивидуальных домов.

Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1830-р от 01.12.2009 г. "Об утверждении плана мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации", направлено на реализацию Федерального закона РФ №261-ФЗ. План состоит из 12 разделов. В разделе «Мероприятия по повышению энергоэффективности для населения и в жилищном фонде, в том числе при новом строительстве» планом предусматривается определение требований к энергетической эффективности зданий, строений и сооружений, 28.05.2010 г. Министерство регионального развития Российской Федерации издало приказ № 262 «О требованиях энергетической эффективности зданий, строений, сооружений». Это первый из документов, выпущенных министерством во исполнение Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ и Указа Президента РФ от 4.06.2008 г. № 889.

В 2010 г. Минэнерго России разработало Государственную программу Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» («ГПЭЭ-2020»), которая была одобрена на заседании Правительства Российской Федерации 21.10.2010 и утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 № 2446-р. Программа призвана стать инструментом решения масштабной задачи по снижению к 2020 году энергоемкости ВВП на 40%.

Анализ существующей мировой практики в исследуемой области позволил предложить концепцию реализации основных положений рассмотренных выше законодательных актов и подготовить для утверждения в 2012 г. Комплексную

программу разработки нормативных документов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий и сооружений на период до 2015 г. Программа содержит наименование и сроки подготовки 195 новых документов (9 сводов правил и 186 национальных стандартов), в которых должны быть установлены показатели расчетной и оценочной энергоемкости зданий по потреблению тепловой и электрической энергии, показатели и методы оценки энергопотребления инженерными системами зданий, требования и методы определения теплотехнических характеристик используемых материалов, изделий и конструкций. В настоящее время эти документы выпущены в первой редакции, однако пока еще не утверждены и не рекомендованы для практического применения.

### **Постановка задачи оптимального проектирования энергоэффективного дома**

На практике технико-экономическое обоснование выбора окончательного варианта проекта сводится к анализу нескольких наиболее очевидных типовых архитектурных и инженерных решений, что приводит к принятию решения, энергоэффективность которого далека от максимально возможной для конкретной строительной площадки.

В реальности, при большом количестве исходных данных существует весьма обширное множество технических решений по проектированию индивидуального жилого дома с заданным или максимально целесообразным уровнем энергетической эффективности. В этом случае имеет смысл сформулировать задачу оптимального проектирования энергоэффективного жилого дома и решать ее с применением экономико-математических методов и моделей на современной вычислительной технике.

В неформализованной постановке задача оптимального проектирования малоэтажных энергоэффективных домов может быть сформулирована следующим образом:

#### **При заданной информации о:**

- месте строительства энергоэффективного дома;
- выбранных архитектурно-композиционных и объемно - планировочных решениях проектируемого здания;
- количестве потенциальных жителей дома и характере его предстоящего использования (постоянное или временное проживание);
- необходимой комфортной температуре внутри помещения;
- требуемом уровне энергоэффективности проектируемого здания (заданный или оптимальный);
- теплопоступлении от внутренних источников тепла;
- среднесуточной температуре наружного воздуха в районе строительства по месяцам года;
- температуре самой холодной и самой жаркой пятидневки года;
- энергетическом потенциале солнечной энергии;
- энергетическом потенциале низкопотенциального тепла земли;
- доступных (существующих или потенциальных) традиционных источниках тепловой и электрической энергии в месте строительства, тарифах и других затратах потребителей, связанных с использованием;
- особенностях грунта в месте строительства;
- множестве потенциальных видов конструкции здания, его фундамента и других элементов;
- ассортименте, технических характеристиках, поставщиках и ценах доступных теплоизоляционных и конструкционных строительных материалов;
- видах, технических характеристиках, поставщиках и ценах инженерного и энергетического оборудования;

- стоимости различных видов строительного-монтажных работ;
- капитальных и текущих затратах, связанных со строительством и традиционным энергообеспечением стандартного дома такого же объема и назначения, как и проектируемый энергоэффективный;
- количестве лет оценки осуществляемых затрат, связанных со строительством и эксплуатацией дома (горизонте расчета);

**и наличии ограничений на:**

- выбор материалов строительства фундамента, пола, стен и крыши, связанный с сопротивлением теплопередаче конструкций;
- нагрузку на фундамент массы проектируемого дома;
- толщину стен;
- площади остекления дома с учетом теплопотерь, теплопоступлений и необходимости освещения помещений;
- глубину скважин и площадь размещения теплообменника тепловых насосов;
- площадь размещения солнечных коллекторов и фотоэлектрических панелей;
- возможность использования доступных традиционных источников энергии;
- финансовые возможности инвестора и
- др.;

**выбрать (определить):**

- конструкцию дома (стены с массивом или без);
- виды и количество конструкционных и теплоизоляционных материалов для строительства стен и их утепления с учетом будущих трансмиссионных потерь;
- конструкцию и площадь будущего фундамента дома;
- виды и количество конструкционных и теплоизоляционных материалов для строительства фундамента дома;
- конструкцию крыши дома;
- виды и количество конструкционных и теплоизоляционных материалов для строительства и утепления крыши дома;
- вид материала и площадь окон с учетом их ориентации относительно сторон света, будущих теплопотерь и теплопоступлений от них;
- системы вентиляции с учетом теплопотерь от нее;
- виды и параметры дополнительного энергетического оборудования (тепловых насосов, грунтовых теплообменников, солнечных коллекторов, фотоэлектрических панелей и т.д.) для обеспечения комфортного проживания за счет дополнительных теплопоступлений от них;

**такие, что в зависимости от постановки задачи будет обеспечиваться на горизонте расчета:**

(а) заданный уровень энергоэффективности проектируемого дома с минимумом интегральных затрат или

(б) оптимальный уровень энергоэффективности проектируемого дома с максимумом интегрального эффекта от замены стандартного дома с традиционным энергообеспечением на энергоэффективный.

В такой постановке задача оптимального проектирования может быть сведена к задаче частично целочисленного линейного программирования, для решения которой существуют эффективные специализированные программные продукты.

**Функциональная структура математической модели.** Экономико - математическая модель, разработанная для решения сформулированной оптимизационной задачи, использует действительные  $\bar{X}$ , бинарные  $\bar{X}$  и целочисленные переменные  $\bar{X}$ , состоит из системы линейных алгебраических уравнений и неравенств, задающих область допустимых решений  $Q(\bar{X}, \bar{X}, \bar{X})$ , и линейного функционала

$F(\bar{X}, \bar{X}, \bar{X})$ . Результаты анализ методов и целей проектирования энергоэффективных домов послужили основой для формирования укрупненной блочной функциональной структуры математического описания процесса проектирования (рис. 2), а затем и разработки математической модели.

Как видно из функциональной структуры, пять из двенадцати блоков модели содержат математическое описание теплопотерь через основные элементы проектируемого здания. Математическое описание процессов теплопередачи и теплообмена базируется в них на основных соотношениях, заложенных «Институтом пассивного дома» в методику расчета энергоэффективных зданий для оценки трансмиссионных потерь и теплопоступлений через ограждающие и светопрозрачные конструкции [3]. Помимо этого при формировании математического описания соответствующих блоков модели принималось во внимание приложение Г СНиПа 23-03-2003 «Тепловая защита зданий», которое используется в нашей стране для расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление жилых и общественных зданий за отопительный период.

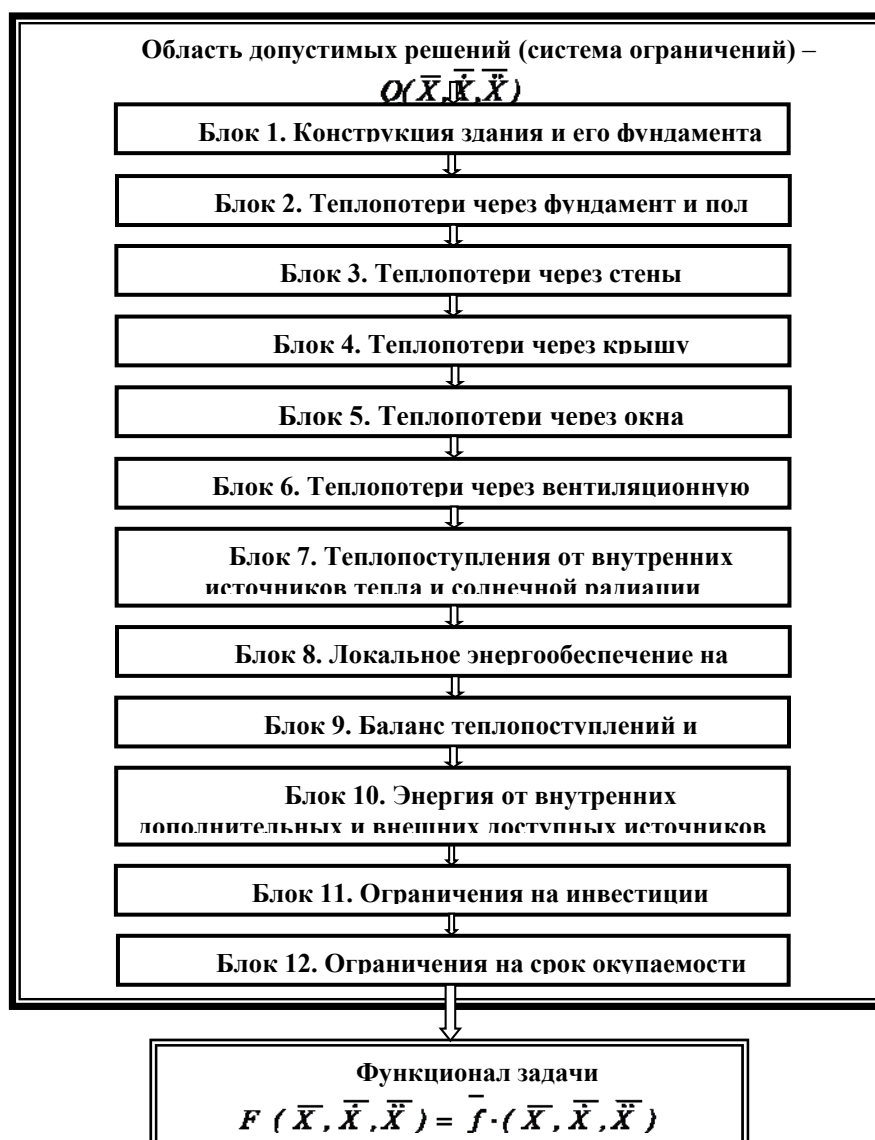


Рис. 2. Блочная функциональная структура математического описания процесса проектирования энергоэффективных домов



С учетом специфических особенностей каждого моделируемого элемента формируется зависимость величины теплопотерь от выбора его конструкции, вида и количества используемых строительных материалов, типа стеклопакетов и размеров окон, параметров вентиляционной системы и другой необходимой для проектирования информации при заданных температурах внешней среды в разные периоды года и требованиях к температурному режиму внутри помещения.

В рамках энергоэффективного дома теплопотери в первую очередь будут компенсироваться за счет «Теплопоступлений от внутренних источников тепла и солнечной радиации» (Блок 7) и с частичным использованием «Локального энергообеспечения на основе ВИЭ» (Блок 8). Эти теплопотери и теплопоступления формируют энергоэффективный дом с заданным или оптимальным уровнем энергосбережения. Баланс между ними с учетом потребности в дополнительной тепловой энергии формируется в Блоке 9 «Баланс теплопоступлений и теплопотерь» в виде балансовых уравнений.

Дополнительная потребность в тепловой энергии обеспечивается в каждом конкретном случае за счет имеющихся или проектируемых в населенном пункте внешних источников тепла или путем установки определенных видов теплогенерирующего оборудования внутри проектируемого дома. Выбор источников тепловой энергии, способов обогрева помещения, типа и мощности оборудования, а также, при необходимости, и видов используемого топлива осуществляется на базе математического описания, содержащегося в Блоке 10 «Энергия от внутренних дополнительных и внешних доступных источников».

Важным элементом математической модели является учет в ней финансовых возможностей инвестора. Общая сумма инвестиций в строительство здания не должна превосходить величины собственных и/или заемных средств, которыми располагает инвестор, что декларируется в блоке 11 «Ограничения на инвестиции».

Кроме того, при принятии решения об инвестировании средств в строительство энергоэффективного дома для его будущего хозяина существенным является время возврата осуществляемых инвестиций за счет экономии затрат на теплоснабжение в сравнении с обычным для этого региона домом, использующим для обогрева и получения горячей воды традиционные виды топлива: уголь, газ, мазут или дизельное топливо. Максимально допустимый срок окупаемости вкладываемых средств задается инвестором в блоке 12 «Ограничения на срок окупаемости инвестиций».

Как было сформулировано в постановке задачи оптимизации, при заданном уровне энергосбережения в качестве критерия оптимизации может быть использован минимум интегральных затрат на горизонте расчета, равном прогнозируемому сроку строительства и эксплуатации дома. Функционал в этом случае будет представлять интегральные затраты как функцию действительных, бинарных и целочисленных переменных, используемых для описания области допустимых решений задачи. Если ставится задача оптимизации уровня энергоэффективности, то критерий достижения оптимума меняется на максимум интегрального эффекта (ЧДД) с соответствующим видом функционала.

Разработанная модель может служить универсальным инструментом для решения сложных инвестиционных задач по проектированию в разных регионах страны энергоэффективных домов с заданным уровнем энергосбережения с учетом местных климатических условий, потенциала возобновляемых энергетических ресурсов и наличия необходимых строительных материалов. При соответствующей доработке может быть осуществлен переход от задачи проектирования отдельного энергоэффективного дома к задаче оптимального проектирования экологически чистых поселков (поселений) с энергоэффективными домами и энергоснабжением на основе возобновляемых источников энергии.

---

**Список литературы**

1. [http://newsruss.ru/doc/index.php/Строительство\\_жилья\\_в\\_России](http://newsruss.ru/doc/index.php/Строительство_жилья_в_России)
2. Постановление Правительства РФ от 15.04.1996 N 480 (ред. от 28.02.2015) "Об утверждении федеральной целевой программы "Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2018 года"
3. Вольфганг Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов. 2-е издание. – М.: Издательство АСВ. 2011. – С. 72-82.

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЛАЖНО-  
ПАРОВЫХ МИКРОТУРБИН**  
**DYNAMIC CHARACTERISTICS VERTICAL WET-STEAM MICROTURBINES**

**Ефимов Н.Н., Паршуков В.И., Безуглов Р.В., Папин В.В., Горбачев В.М.**  
ООО НПП «Донские технологии», г. Новочеркасск, Российская Федерация

**Efimov N.N., Parshukov V.I., Bezuglov R.V., Papin V.V., Gorbachev V.M.**  
Limited Liability Company Scientific-Production Enterprise “Donskie Technologii”  
Novocherkassk, Russia Federation

**Keywords:** steam turbine, bearings, distributed generation, electric generator, dynamic regimes

Современная малая распределенная энергетика приобретает все большую популярность. Она базируется на использовании газопоршневых, газотурбинных и паротурбинных установках когенерационного типа и возобновляемых источниках энергии. Малые энергоустановки предназначены для энергоснабжения электро- и теплоэнергией индивидуальных потребителей, которые характеризуются неравномерностью потребления, и не имеют резервирования производства. Поэтому они работают в маневренных режимах производства энергии. Большинство таких установок конструктивно выполняются горизонтального типа.

Исследований динамических режимов вертикальных микротурбин в сравнении с установками горизонтального исполнения проводилось крайне мало. Тем не менее, требуется тщательное исследование их рабочих режимов. Для вертикальных установок нужен особый подход к проектированию, при котором необходимо учитывать особенности маневренных режимов. Расчеты динамических характеристик горизонтальной турбины, не могут полностью соответствовать ее работе при вертикальном исполнении ввиду различного характера нагрузок. Поэтому выявляется потребность в исследовании и разработке методик расчета динамических характеристик пусковых и переменных режимов работы вертикальных турбомашин малой мощности со своей интеллектуальной системой управления.

Динамические характеристики вертикальных влажно-паровых микротурбин были изучены на примере вертикальной влажно-паровой микротурбины ВПМТ-30, которая состоит из двух основных частей объединенных в единый герметичный контур – турбогенератора и конденсатора. ВПМТ-30 имеет две модификации – на газодинамических подшипниках скольжения и на керамических подшипниках качения.

Вертикальная влажно-паровая микротурбинная установка ВПМТ-30 предназначена для производства электрической и тепловой энергии в составе микроэнергетического комплекса. После расширения в турбине отработавший пар направляется в конденсатор поверхностного типа, где отводится теплота конденсации пара, а образовавшийся конденсат подается питательным насосом в парогенератор. Таким образом, паросиловой цикл замыкается. Отведенная от конденсатора теплота может использоваться в системах теплоснабжения потребителей. Управление и контроль параметров установки происходит посредством программно-технического комплекса.

В таблице 1 представлены основные технические характеристики микротурбины.

Таблица 1. Основные технические характеристики микротурбины ВПМТ-30

№ п/п	Физическая величина и её обозначение	Единицы измерения	Значение параметра
1	Начальное давление пара $p_0$	МПа	0,6
2	Начальная температура пара $t_0$	°С	160
3	Расход пара $G$	кг/с	0,1514
4	Частота вращения $n$	1/с	583,3
5	Конечное давление $p$	МПа	0,06
6	Располагаемый теплоперепад ступени $H_0$	кДж/кг	380,96
7	Входной диаметр рабочего колеса $d_1$	м	0,163
8	Выходной диаметр рабочего колеса $d_2$	м	0,116
9	Число сопловых каналов $z_1$	шт.	10
10	Число рабочих лопаток $z_2$	шт.	24
11	Электрическая мощность турбины, $N_э$	кВт	30,92
12	Мощность конденсатора, $N_{сп}$	кВт	305
13	Электрический КПД установки без учета отпуска теплоты на отопления	%	9,11
14	Общий КПД с учетом использованной тепловой энергии	%	84,7

Конденсатор влажно-паровой микротурбины является рекуперативным теплообменником. В конденсаторе пар, протекая в межтрубном пространстве, меняет свое агрегатное состояние. Охлаждающая вода проходит по трубкам конденсатора нагревается и направляется обратно в систему теплоснабжения.

Система поддержания вакуума в конденсаторе осуществляется водокольцевым вакуумным насосом.

Микротурбина обладает высокой компактностью, простотой в изготовлении, высокой герметичностью, имеет относительно малую массу.

Для выполнения этих требований были приняты следующие конструктивные решения:

- турбина спроектирована радиальной одноступенчатой центростремительной;
- для уменьшения габаритов микротурбина выполнена высокооборотной, с частотой вращения  $n=583 \text{ с}^{-1}$ , (35 000 об/мин);
- ось вращения турбины принимается вертикальной;
- конденсатор отработавшего в турбине пара komponуется совместно с выхлопным патрубком турбины;
- электрический генератор установлен вертикально в едином корпусе, соосно с турбиной;
- применены подшипники без подачи смазки (газодинамические и керамические подшипники качения).

На изменения режимов работы микротурбинной установки оказывают влияние следующие динамические характеристики:

- подшипниковых узлов микротурбины;
- самой микротурбины;
- конденсатора;
- электрогенератора.

В таблице 2 представлены основные технические характеристики конденсатора ВПМТ-30.

Таблица 2 Основные технические характеристики конденсатора влажно-паровой микротурбины

Характеристика	Ед. измерения	Значение
Тепловая мощность конденсатора	кВт	305
Давление пара в конденсаторе	МПа	0,06
Температура пара в конденсаторе	оС	85,93
Температура охлаждающей воды на входе	оС	65
Температура охлаждающей воды на выходе	оС	75

На рисунке 1 (а, б) представлены чертежи турбогенераторов на газодинамических подшипниках скольжения (а) и на керамических подшипниках качения (б).

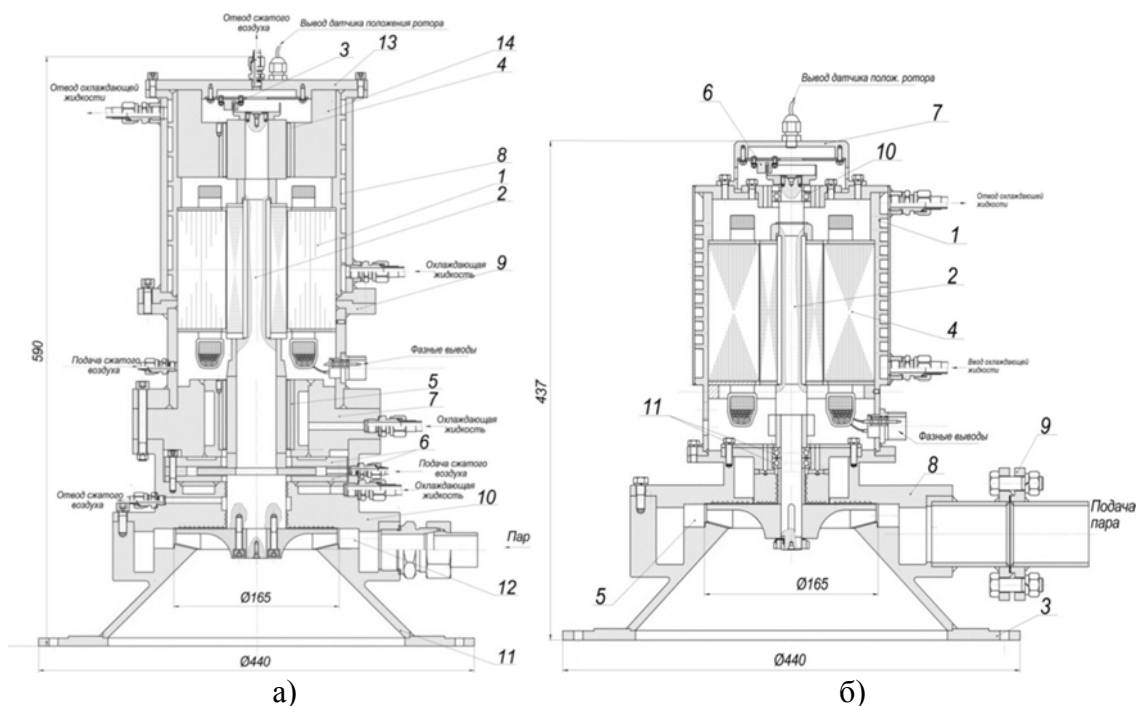


Рис. 1 – Турбогенератор микротурбины на газодинамических подшипниках скольжения (а) и на керамических подшипниках качения (б)

В ходе разработки математической модели получены дифференциальные уравнения связи выходных параметров регулирования энергетической установки – угловой скорости ротора турбины  $\omega$  с входными управляющими и возмущающими воздействиями.

Для построения математической модели составлена расчетная схема влажно-паровой микротурбины ВПМТ-30, представленная на рисунке 2.

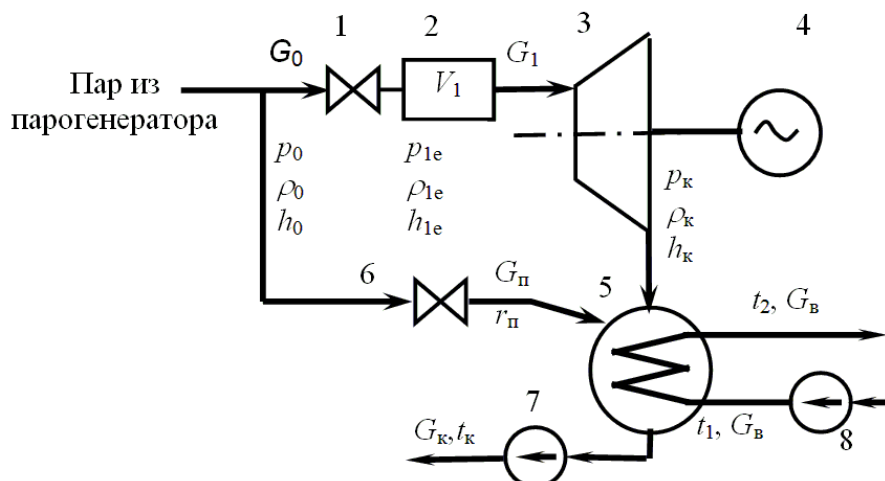


Рис. 2 – Расчётная схема ВПМТ-30:

1 – регулирующий клапан высокого давления; 2 – емкость парового пространства; 3 – турбина; 4 – электрогенератор; 5 – конденсатор; 6 – клапан перепуска пара помимо турбины; 7 – конденсатный насос; 8 – циркуляционный насос.

Исходное уравнение микротурбины имеет вид:

$$J \frac{d\omega}{d\tau} = M_T - M_c - M_r \quad (1)$$

где  $J$  – момент инерции ротора,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $\omega$  – угловая скорость,  $\text{с}^{-1}$  (изменяется от 0 до 583  $\text{с}^{-1}$ );  $\tau$  – время,  $\text{с}$ ;  $M_T$ ,  $M_c$ ,  $M_r$  – соответственно моменты турбины, сил сопротивления трению и генератора,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ .

После преобразований и введения относительных величин была получена система из четырёх уравнений с четырьмя неизвестными  $\varphi$ ,  $r_1$ ,  $\mu_1$ ,  $h$ , при начальных условиях:  $\tau = 0$ ,  $r_1 = \mu_1 = h = 0$ ,  $\varphi = -1$

Таблица 3 Основные уравнения математической модели турбогенератора

1.	Уравнение ротора турбины	$T_0 \frac{d\varphi}{d\tau} = g_1 - v_c - v_r$
2.	Уравнение неразрывности для емкости парового пространства турбины	$T_1 \frac{dr_1}{d\tau} = g_0 - g_1$
3.	Уравнение для определения относительного хода главного клапана $\mu_1$	$T_2 \frac{d\mu_1}{d\tau} = h - \mu_1$
4.	Уравнение для регулятора скорости при работе без электрогидравлического преобразователя	$h = -\varphi K_{yc}$ , если $\varphi > -0,5$

Также было выполнено математическое моделирование работы конденсатора.

Исходное уравнение накопления тепловой энергии в металле стенок конденсатора было записано в следующем виде:

$$c_m M_m \frac{dt_{ct}}{d\tau} = G_{to} r_n - \alpha_2 f_{cm} (t_{ct} - t_2) \quad (2)$$

где  $c_m$  – теплоемкость материала стенки,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $M_m$  – масса металла стенки,  $\text{кг}$ ;  $t_{cm}$  – температура металла стенки,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau$  – время,  $\text{с}$ ;  $G_{mo}$  – расход пара через теплообменник,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $r_n$  – удельная теплота парообразования,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки теплопередающих трубок к воде,  $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $f_{cm}$  –

внутренняя поверхность теплопередающих трубок,  $m^2$ ;  $t_{cm}$  – температура металла стенки;  $t_2$  – температура воды на выходе из теплообменного аппарата.

После преобразований и линеаризации были получены уравнения:

$$c_B M_B \frac{d\Delta t_2}{d\tau} + (\alpha_2 f_{ct} + c_B G_B) \Delta t_2 = \alpha_2 f_{ct} \Delta t_{ct} + c_B G_B \Delta t_1 - c_B (t_{20} - t_{10}) \Delta G_B, \quad (3)$$

$$\delta t_2 = \frac{\Delta t_2}{t_{20}}; \quad \delta t_{ct} = \frac{\Delta t_{ct}}{t_{ct}}; \quad \delta t_1 = \frac{\Delta t_1}{t_{10}}; \quad \delta G_B = \frac{\Delta G_B}{G_{B0}}$$

После замены в уравнении (3) абсолютных отклонений параметров на относительные получили:

$$\frac{c_B M_B}{\delta f_{ct} + c_B G_{B0}} \cdot \frac{d\delta t_2}{d\tau} = \frac{\alpha_2 f_{ct} t_{ct0}}{t_{20}(\alpha_2 f_{ct} + c_B G_{B0})} \delta t_{ct} - \frac{c_B G_{B0} t_{10}}{t_{20}(\alpha_2 f_{ct} + c_B G_{B0})} \delta t_1 - \frac{c_B (t_{20} - t_{10}) G_{B0}}{t_{20}(\alpha_2 f_{ct} + c_B G_{B0})} \delta G_B \quad (4)$$

Для приведения уравнения (4) к более удобному виду были введены следующие обозначения комплексов режимных и конструктивных параметров:

$$T_B = \frac{c_B M_B}{\alpha_2 f_{ct} + c_B G_B}; \quad k_3 = \frac{\alpha_2 f_{ct} t_{ct0}}{t_{20}(\alpha_2 f_{ct} + c_B G_B)}; \quad k_4 = \frac{c_B G_{B0} t_{10}}{t_{20}(\alpha_2 f_{ct} + c_B G_B)}; \quad k_5 = \frac{c_B (t_{20} - t_{10}) G_{B0}}{t_{20}(\alpha_2 f_{ct} + c_B G_B)}$$

С учетом принятых обозначений уравнение динамики теплового баланса теплоносителя – воды в трубах конденсатора приняло следующий вид:

$$T_B \frac{d\delta t_2}{d\tau} + \delta t_2 = k_3 \delta t_{cm} + k_4 \delta t_1 - k_5 \delta G_B \quad (5)$$

По результатам математического моделирования ВПМТ-30 было выполнено имитационное моделирование работы турбогенератора (рисунок 3, а) и конденсатора (рисунок 3, б).

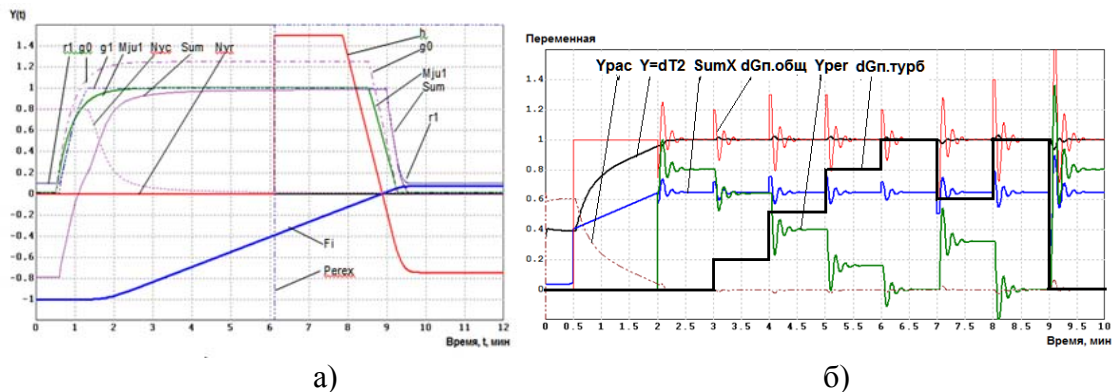


Рис. 3 – Результаты имитационного моделирования работы турбогенератора (а) и конденсатора (б)

Дополнительно для расчета динамических характеристик были выполнены расчеты моментов сил трения вала-ротора в модификациях турбогенераторов с различным типом подшипников – подшипниками скольжения и подшипниками качения.

При расчете моментов трения в подшипниковых узлах ВПМТ-30 необходимо уточнить, что в данном турбогенераторе на вал действуют именно осевая нагрузка, поскольку вся масса вала опирается на пяту, на которой установлены лепестковые подшипники. Радиальные подшипники необходимы только для компенсации возможных вибраций при работе турбины в различных режимах, а также для сглаживания отклонения эксцентриситета.

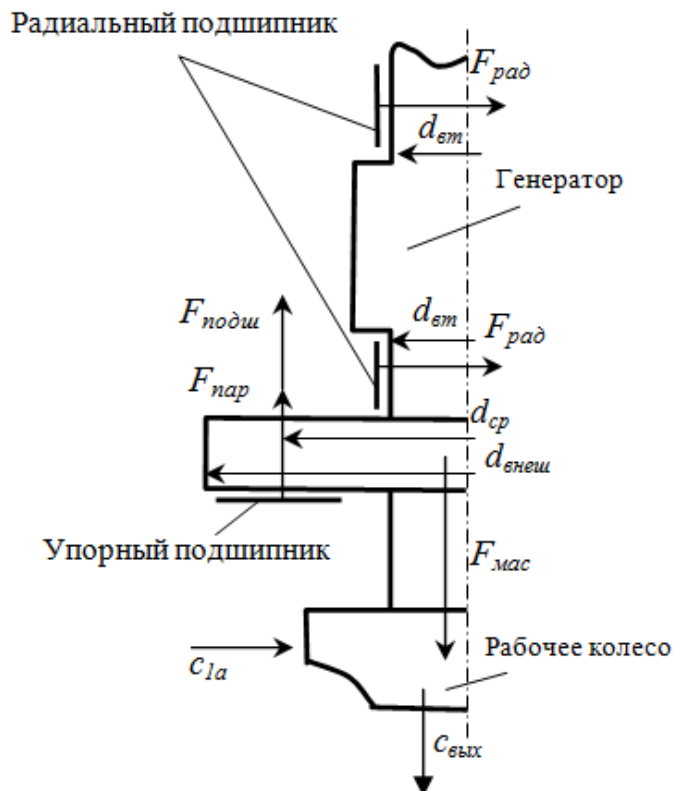


Рис. 4 – Схема приложения усилий на упорный подшипник

Момент сил трения  $M_C$ , Н·м, в вертикальной опоре с кольцевой пятой был определен по формуле:

$$M_C = \frac{1}{3} \cdot f \cdot P \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \quad (6)$$

где:  $f$  – коэффициент трения скольжения;  $P$  – усилие, создаваемое валом, Н;  $D$  – внешний диаметр кольцевой пяты, м;  $d$  – диаметр вала в месте установки подшипника, м.

Величина момента сил трения радиально-упорного подшипника качения при вращающемся внутреннем кольце была определена по формуле:

$$M_{тр} = f_n \cdot P \cdot \frac{d}{2} \quad (7)$$

где:  $f_n$  – приведенный коэффициент трения;  $P$  – усилие, создаваемое валом, Н;  $d$  – диаметр посадочного отверстия подшипника, м.

Согласно уравнениям (6) и (7) были построены графики зависимости момента трения при работе микротурбины от частоты вращения вала-ротора.

На рисунке 5 красными прямоугольниками обозначены результаты проведенных исследовательских испытаний ВПМТ-30 на газодинамических подшипниках, черными точками обозначены результаты проведенных исследовательских испытаний ВПМТ-30 на керамических подшипниках. Относительная погрешность проведенных вычислений, составила для турбогенератора с газодинамическими подшипниками – 9,3%, для турбогенератора с керамическими подшипниками – 14,1%.



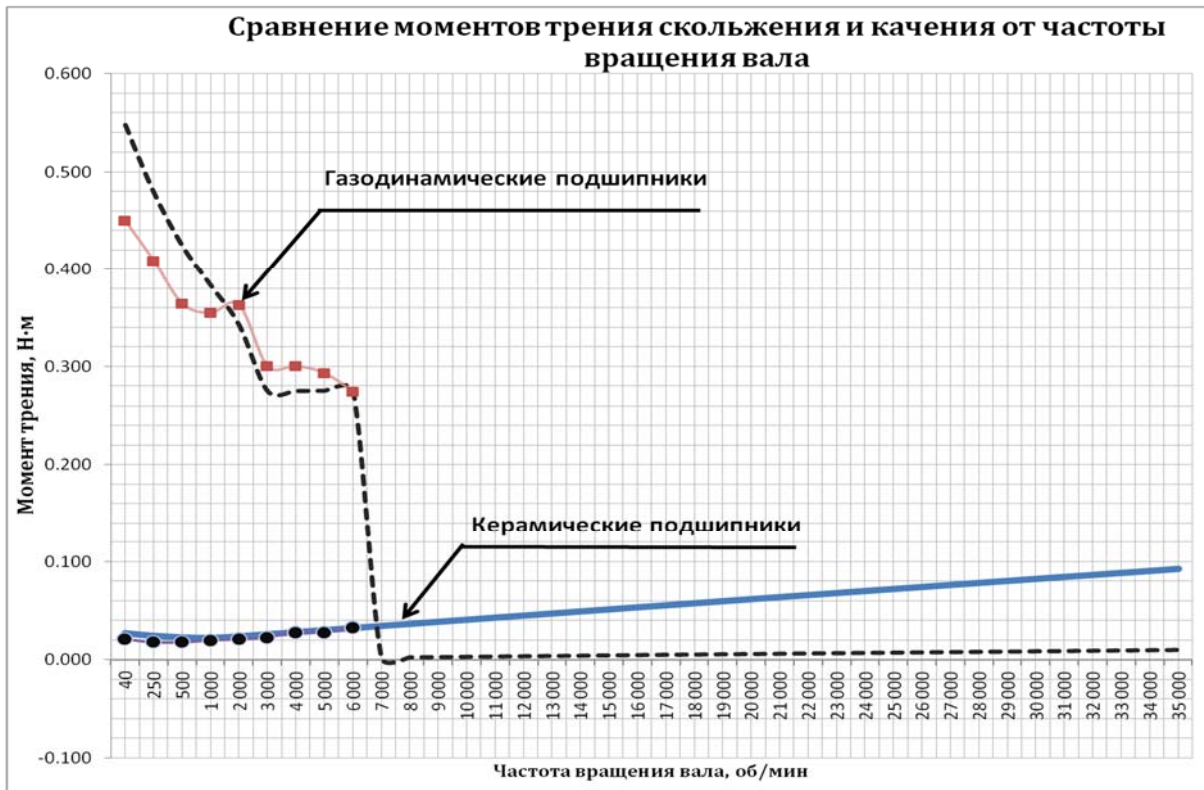


Рис. 5 – Зависимость момента трения вала-ротора на газодинамических и керамических подшипниках от частоты вращения

Исследовательские испытания были проведены на Новочеркасской ГРЭС и показали правильность выбранных конструктивных решений.

Таким образом, разработана методика расчета динамических характеристик вертикальных турбоагрегатов, а также научно-обоснованные технические решения по определению и улучшению динамических характеристик вертикальных турбомашин, за счет применения различных типов подшипников в турбогенераторе и парового конденсатора оптимальной конструкции, имеющие существенное значение для малой распределенной энергетики.

## ПРОТОТИПНЫЙ ОБРАЗЕЦ ПИЛОТНОЙ ГИС «РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»

Зай Яр Лин, Тягунов М.Г.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В настоящее время за рубежом имеется достаточно успешный опыт использования геоинформационных систем (ГИС) и ГИС-технологий в области ВИЭ. Энергетические компании широко используют ГИС при разработке проектов.

Мьянма – развивающаяся страна и располагается в юго-восточной Азии. Создание ГИС ВИЭ для Мьянмы позволило бы повысить обоснованность решений в области развития ВИЭ страны. Глобальные базы данных и зарубежные ГИС в области ВИЭ также не дают оценки потенциала ВИЭ Мьянмы достаточной для проектирования точности. Поэтому создание национальной ГИС «ВИЭ Союза Мьянмы» является актуальной задачей. Прототипная ГИС ВИЭ Республики Союз Мьянма находится в стадии опытной эксплуатации.

ГИС ВИЭ должна содержать сведения о ресурсах ВИЭ. Валовые потенциалы солнечной, ветровой, приливной и малой гидроэнергии предлагается определить по формулам [1]:

$$\mathcal{E}_j^{\text{вал ветр}} = (1/20) \cdot \int_{i=1}^T N_{\text{уд}}^{\text{ветр}} (\bar{V}_j(t)) \cdot S_j, \quad (1)$$

$$N_{\text{уд}}^{\text{ветр}} (\bar{V}_j) = 1/2 \cdot \rho \cdot (\bar{V}_j)^3. \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_j^{\text{вал солн}} = \int_{i=1}^T \bar{\mathcal{E}}_j(t) \cdot S_j, \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_{k,k+1}^{\text{вал гидр}} = 9,81 \cdot \int_{i=1}^T Q_{k,k+1} \cdot H_{k,k+1}. \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_j^{\text{вал прил}} = \int_{i=1}^T 225 \cdot \bar{A}^2 \cdot S_j. \quad (5)$$

где  $\mathcal{E}_j^{\text{вал солн}}$ ,  $\mathcal{E}_j^{\text{вал ветр}}$ ,  $\mathcal{E}_{k,k+1}^{\text{вал гидр}}$ ,  $\mathcal{E}_j^{\text{вал прил}}$  – валовой потенциал солнечной, ветровой, приливной, малой гидроэнергетики, кВт.ч/год;  $S_j$  – площадь района, м<sup>2</sup>;  $j$  – порядковый номер рассмотренного района;  $k$  – порядковый номер рассмотренного водотока;  $T$  – время года: часы ( $T=8760$ ), дни ( $T=365$ ), месяцы ( $T=12$ ),  $\bar{V}_j$  – среднегодовая скорость ветра, м/с;  $N_{\text{уд}}^{\text{ветр}} (\bar{V}_j)$  – удельная мощность ветровой энергии при заданной скорости, Вт/м<sup>2</sup>;  $\bar{\mathcal{E}}_j$  – среднегодовая суточная солнечная радиация, кВт.ч/(м<sup>2</sup>. сут);  $Q_{k,k+1}$  – расход воды между  $k$ -ым и  $k+1$ -ым створами водотока, м<sup>3</sup>/с;  $H_{k,k+1}$  – напор между  $k$ -ым и  $k+1$ -ым створами водотока, м,  $\bar{A}$  – среднегодовая величина прилива, м.

В качестве источника данных по солнечной радиации и скорости ветра используются данные из метеорологических наблюдений, баз данных NASA [2], Погода России [3] и Meteonorm [4]. Данные о часовых значениях высоты прилива получены из базы данных Total Tide, созданной Гидрографическим Обществом Великобритании [5]. Математические модели верифицированы по данным метеорологических, аэрологических, гидрологических и наблюдений Министерства сельского хозяйства и ирригации и Министерства электроэнергетики Мьянмы [3,4].

Для расчета валовых гидроэнергетических ресурсов информация о расходе и напоре на участках водотоков использована программа ArcGIS [6].

Для реализации ГИС использован веб-интерфейс. Разработка веб-приложения включает три основных этапа:

- определение интерфейса администратора;
- определение интерфейса пользователя;
- наполнение баз данными о различных объектах возобновляемой энергетики и энергетической инфраструктуры.

На рисунке представлена схема структуры прототипной ГИС ВИЭ Мьянмы.

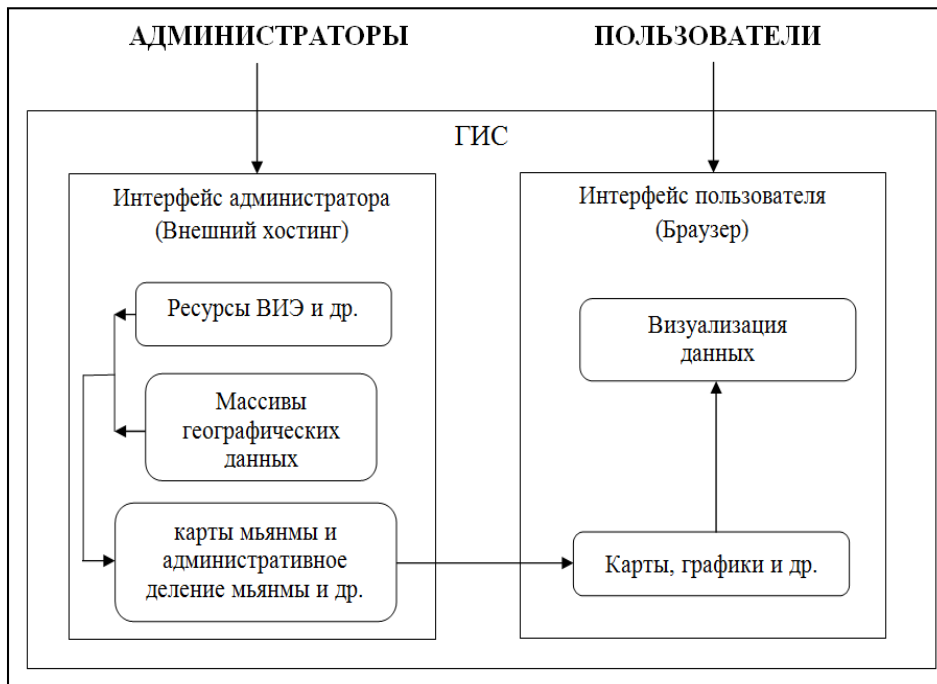


Рис. 1. Схема структуры ГИС ВИЭ для Мьянмы

Прототипный образец пилотной ГИС «ВИЭ Мьянмы» размещен на сайте [7]. ГИС «ВИЭ» включает в себя следующую информацию:

- региональные базы данных по солнцу, ветру, речному стоку, приливам и т.д. для рассматриваемой территории на сетке заданной частоты;
- методы и модели расчета ресурсов ВИЭ по данным первичных наблюдений или открытых баз данных;
- расположение действующих и проектируемых электростанций;
- размещение потребителей энергии и существующих линий электропередачи.

Для решения поставленной задачи территория Мьянмы разделена на характерные регионы по административно-территориальному делению. В качестве примера показана карта потенциала малой гидроэнергетики, схема линий электропередачи размещения действующих и проектируемых электростанций на основе ВИЭ.

Разрабатываемая ГИС предоставляет новый, удобный и быстрый подход к оценке возможности и целесообразности сооружения в Мьянме энергетических установок на основе ВИЭ. Работа над ГИС еще не окончена, система будет развиваться и дополняться на основе опыта использования ее в исследовательских и учебных целях в НИУ «МЭИ» и университетах Мьянмы.

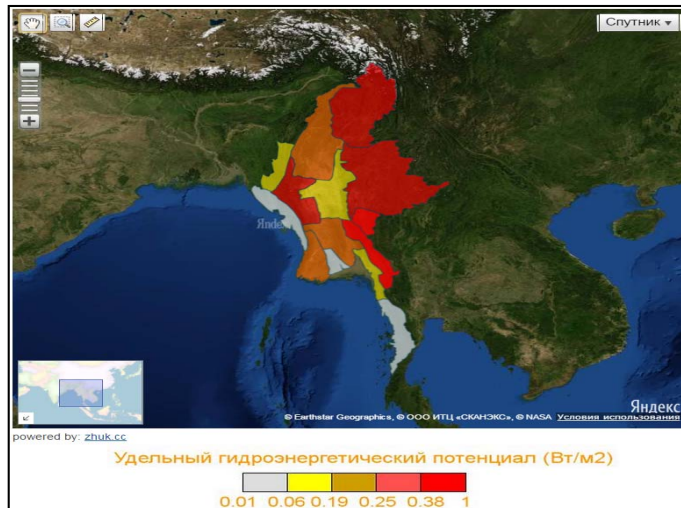


Рис. 2. Карта потенциала малой гидроэнергетики Мьянмы

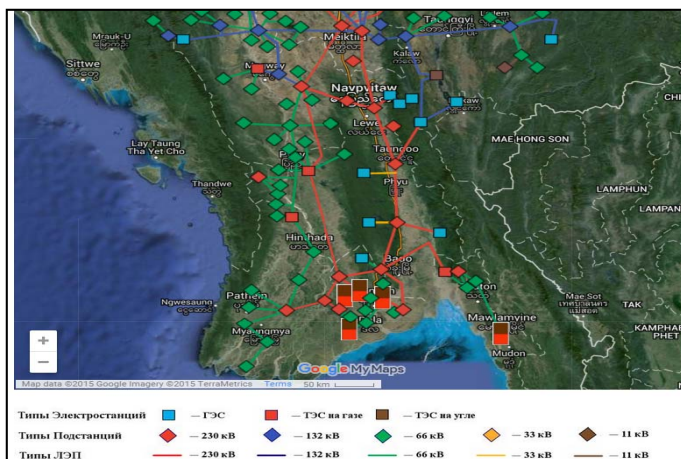


Рис. 3. Схема линий электропередачи Мьянмы

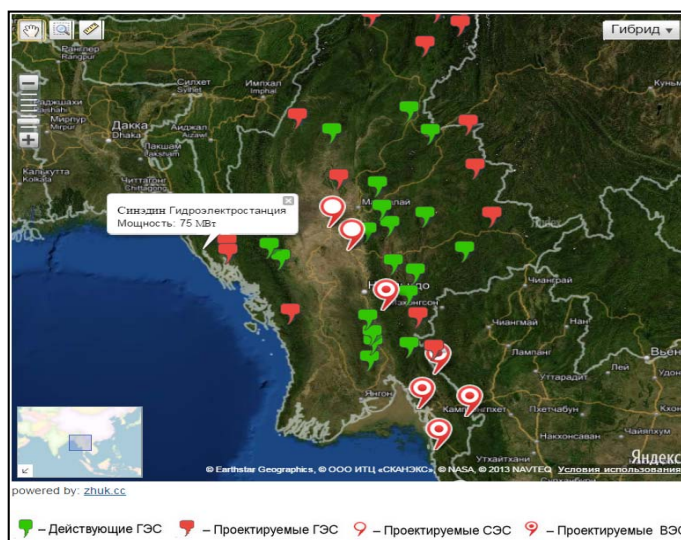


Рис. 4. Карта размещения действующих и проектируемых электростанций на основе ВИЭ

---

### Список литературы

1. А.А. Бурмистров, В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина и др. ; под ред. В.И.Виссарионова. Методы расчёта ресурсов возобновляемых источников энергии: учебное пособие: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. БДNASA [Электронныйресурс]. - Режимдоступа: eosweb.larc.nasa.gov/sse/.
3. База Данных “Погода России”. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://meteo.infospace.ru/main.htm>
4. Метеорологическая база данных Meteororm [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://meteororm.com/>
5. ПрограммаAdmiraltyTotalTide.[Электронныйресурс]. Режимдоступа: <http://www.ukho.gov.uk/ProductsandServices/DigitalPublications/Pages/ATT.aspx/>
6. Геоинформационная система ArcGIS. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/>
7. ГИС для Мьянмы в области ВИЭ.[Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mmenerg.byethost10.com/mmreneweng/>
8. Khon Ra, director, hydrology branch, irrigation department. Water quality management at river basin in Myanmar. 21st September, 2011. The Republic of the Union of Myanmar. Ministry of agriculture and irrigation.
9. Отчет 2013. Министерство электроэнергетики Мьянмы, Ministry of electric power MOEP (Myanmar).

## УТИЛИЗАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ ЗАМЕЩЕНИЯ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА

**Зайченко В.М., Кузьмина Ю.С., Сычев Г.А.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва, Россия

Россия – страна с крупнейшими мировыми запасами лесных ресурсов, свыше 720 млн. га территории покрыты лесом. В Российской Федерации (РФ) сосредоточено 22 % мирового объема леса и 40 % мировых запасов торфа. Поэтому перспективным является рассмотрение именно древесины и торфа как основного возобновляемого энергетического ресурса. Помимо отходов деревоперерабатывающей промышленности, которые составляют около 300 млн. м<sup>3</sup> в год, существует еще одна проблема лесопромышленного комплекса – утилизация неделовой древесины. Санитарные вырубки предназначены для освобождения лесных массивов от больных и поврежденных деревьев с целью предотвращения распространения эпидемии на весь лесной массив. В частности, в последние годы подмосковные леса подверглись нашествию жука-короеда, и в текущем году вырубка пораженного леса для ликвидации дальнейшего распространения этого насекомого должна быть осуществлена на площади 32,4 тыс. га, что составляет 22 % всех очагов стволовых вредителей в стране. В пересчете на топливо это соответствует 1,5 млн. т.у.т. или 15 – 20 % годовых затрат топлива на теплоснабжение Москвы и Московской области.

Разработка эффективных, экономически оправданных методов утилизации древесных отходов и неделовой древесины с получением кондиционного энергетического топлива является весьма актуальной задачей.

Наибольший интерес представляет современное твердое топливо, получаемое путем измельчения и гранулирования древесины – пеллеты. Пеллеты обладают более высокой плотностью и теплотой сгорания. Производство пеллетизированного топлива в мире достигло нескольких миллионов тонн в год и продолжает увеличиваться. По данным Росстат в 2014 году производство топливных древесных пеллет составило 888 тыс. тонн, при этом объём российского экспорта пеллет составил 879 тыс. тонн на сумму 126 млн. долл. США. Эти данные свидетельствуют о том, что при организации производства топливных гранул необходимо уделять особое внимание стоимости транспортировки и хранения топливных пеллет.

При всех положительных качествах гранулированного топлива, оно имеет два существенных недостатка: высокая гигроскопичность, что увеличивает стоимость их хранения и перевозки, и необходимость реконструкции существующих угольных котельных для совместного сжигания с углем.

В настоящее время в РФ, как и в мире, электричество производится в основном (~70 %) на тепловых электростанциях (ТЭС) с использованием органических топлив: природного газа и угля (40 %). Уголь (в процессе сжигания) имеет самые большие выбросы углекислого газа на единицу энергии среди всех ископаемых видов топлива, а угольные электростанции являются основным источником антропогенных выбросов углекислого газа. Однако, сократить выбросы углекислого газа возможно за счет частичной или полной замены угля топливом из биомассы.

В мировой практике используется несколько способов совместного сжигания угля и биомассы. Наиболее простым способом является смешение угля и биомассы на складе топлива и сжигание смеси в пылеугольном котле. Недостатком этого способа является возможность использовать лишь малую (до 5 %) долю биомассы. При раздельном вводе угля и биомассы в топку котла капитальные затраты увеличиваются примерно в два раза, но доля биомассы может быть увеличена до 50 % [1].



Один из способов улучшения теплотехнических и механических характеристик пеллет – применение технологии низкотемпературного пиролиза (торрефикации) [2]. Биомасса подвергается нагреву в бескислородной среде до температур порядка 200 – 300 °С с последующей выдержкой. В результате торрефицированная биомасса приобретает повышенные гидрофобные свойства и более высокую, чем у исходной биомассы, удельную теплоту сгорания (~ на 20 – 30 %). Работы в области торрефикации ведутся в ряде европейских стран и в США [3]. Среди компаний, занимающихся этой проблематикой, можно выделить Topell Energy (Нидерланды), Thermya (Франция), Atmosclear (Великобритания), Integro Earth Fuels (США). Несмотря на интерес к разработке технологического процесса и созданию реализующих его установок, в настоящее время большинство проектов находится на стадии создания пилотных образцов, хотя в ряде проектов заложены достаточно крупные объемы производства торрефицированных пеллет (более 1,5 млн. т в год).

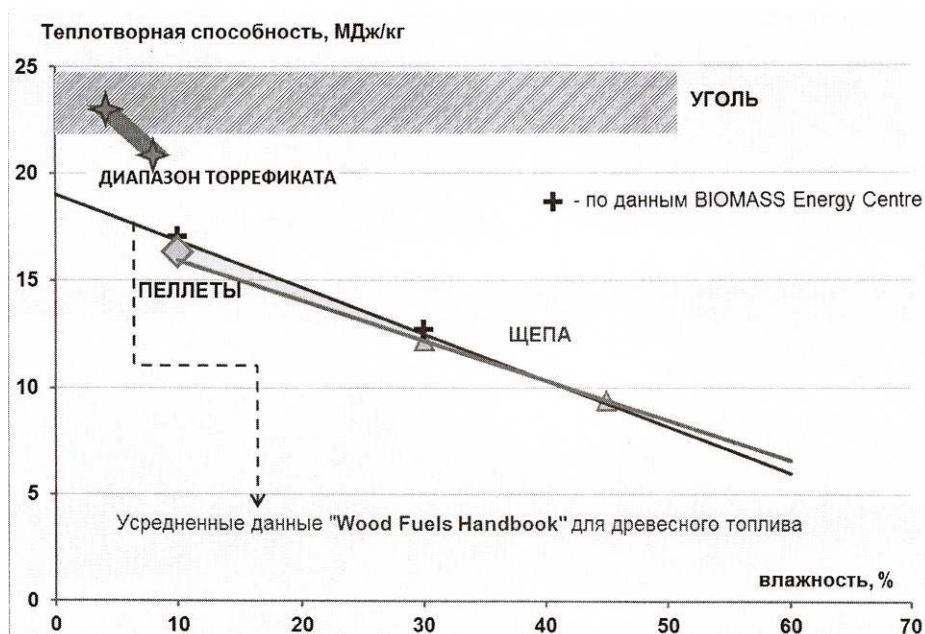


Рис. 1 Зависимость теплотворной способности от влажности для различных видов топлива

Из рисунка 1 видно, что с теплотехнической точки зрения торрефицированные пеллеты максимально приближены к углю. Таким образом, переход на торрефицированное топливо не приведет к снижению тепловой мощности котельных агрегатов.

Проблема, связанная с подготовкой топлива к сжиганию при замещении энергетического угля биомассой также может быть решена применением торрефицированной биомассы. Эта проблема заключается в том, что для совместного сжигания в пылеугольной горелке исходное сырье необходимо измельчить. Все виды древесного сырья требуют большего, чем у исходного угля, расхода электроэнергии на размол. На рисунке 2 приведены результаты исследований, проведенных группой организаций Европы и США, в которых показано, что для торрефицированных пеллет удельный расход электроэнергии на размол практически равен расходу в типовой системе углеподготовки (область А-А для торрефицированных пеллет из различных сортов древесины).

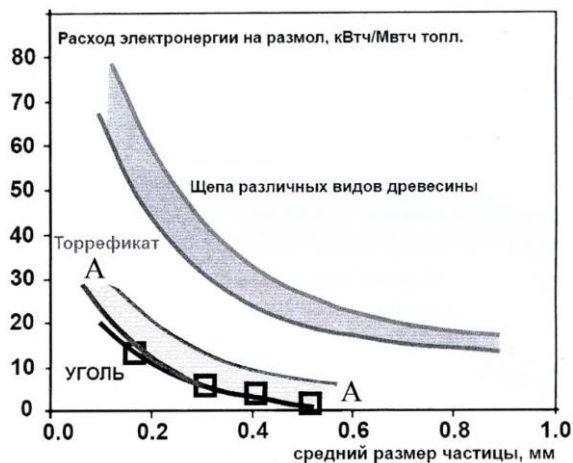


Рис. 2. Расход энергии на размол топлива [4]

Использование технологии торрефикации позволяет достигать больших значений экономии энергии по сравнению с затратами на размол исходной древесины.

В ОИВТ РАН предложена новая схема промышленной технологии торрефикации, включающая газопоршневую электростанцию. Наибольший экономический эффект данной схемы обеспечиваются тем, что нагрев перерабатываемого сырья производится продуктами сгорания ГПД, а тепловая энергия от теплообменного аппарата, в котором охлаждаются продукты сгорания, направляется на нужды потребителя. Температура торрефикации определяется не только разнообразием свойств исходной древесины, но и требуемыми свойствами конечного продукта. Реализация данной схемы позволяет по основным теплотехническим показателям приблизить пеллеты к углю в максимальной степени, что свидетельствует о возможности замещения угля торрефицированными пеллетами. Торрефицированный продукт является негигроскопичным и сохраняет целостность своей структуры при любых условиях хранения.

Для оценки экономической целесообразности производства торрефицированных пеллет на рисунке 3 приведено поштатное сопоставление всех затрат – от заготовки сырья до подачи готового топлива в котёл.

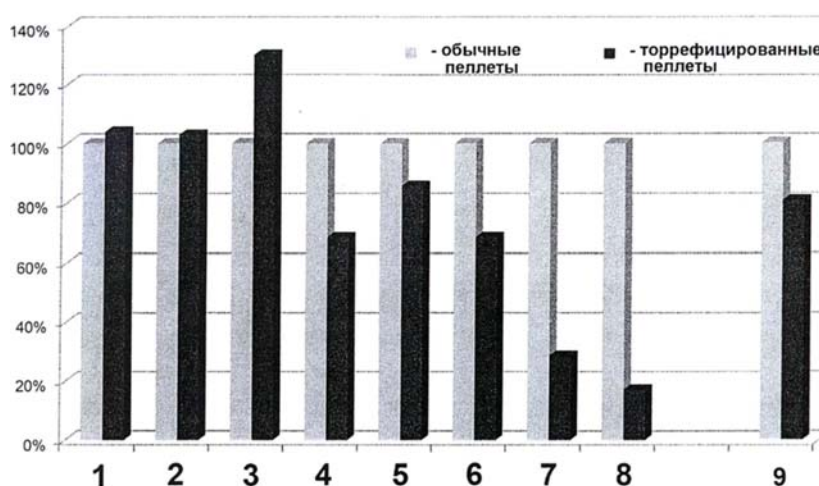


Рис. 3 Сравнение затрат на производство и доставку обычных и торрефицированных пеллет: 1 - заготовка сырья; 2 - транспортирование сырья; 3 - производство пеллет; 4 - промежуточное транспортирование пеллет; 5 - доставка пеллет потребителю морским транспортом; 6 - погрузочно-разгрузочные работы и хранение; 7 - хранение на электростанции; 8 - подготовка топлива к сжиганию; 9 - суммарные затраты [5].



При производстве энергии решающее значение имеет только сумма всех затрат вплоть до момента сжигания топлива. В частности, представляет интерес вариант, когда предприятие–изготовитель и потребитель разделены большим расстоянием, и для доставки используется и морская, и автомобильный транспорт.

Выполненный анализ показывает, что несмотря на то, что процесс производства торрефицированных пеллет значительно дороже, чем обычных древесных (почти на 30 %), совокупность экономии по остальным составляющим затрат делает выработку энергии на базе торрефицированных пеллет более выгодной. При этом основной вклад вносит снижение транспортных расходов и уменьшение затрат на подготовку топлива перед сжиганием на энергетической установке. При сравнении экономических параметров использованы данные литературных источников. Экономическое сопоставление с учётом схемных решений технологии ОИВТ РАН будет выполнено позднее.

Торрефицированные пеллеты могут стать альтернативой низкосортным бурым углям (39% твердого топлива РФ). Такой уголь поставляется потребителям по цене 4000 руб/тонну. При теплоте сгорания 14 МДж/кг закупочная цена составляет 285 руб/ГДж. Это означает, что при использовании торрефицированных пеллет с теплотой сгорания 22 МДж/кг закупочная цена будет составлять 180 руб/ГДж.

Преимуществами торрефикации являются высокая теплота сгорания топлива, высокая насыпная плотность, низкая влажность, отсутствие любой биологической активности (склонности к гниению, разложению), минимальная пожаро- и взрывоопасность.

Торрефицированное топливо может практически полностью заменить уголь без капитальной переделки существующих топливных систем. В тех же самых условиях щепой и необработанными пеллетами можно заменить только лишь 8-15% угля.

Работа выполнена при финансовой поддержке НШ-1708.2014.8

### Список литературы

1. Рябов Г.А. Актуальные направления исследований в области использования биомассы и отходов // Материалы Международного семинара «Биоэнергетика 2005» «Устойчивое развитие биоэнергетики в соответствии с требованиями Киотского протокола», В. Новгород, Россия, 16 – 17 июня 2005 г., с. 48 – 51.
2. V.V. Kosov, V.A. Sinelshchikov, G.A. Sytchev, and V.M. Zaichenko. Effect of Torrefaction on Properties of Solid Granulated Fuel of Different Biomass Types // High Temperature. 2014. Vol. 52. No. 6. P. 907–912.
3. Kleinschmidt. C. Overview of international developments in torrefaction. 2011. [www.bioenergytrade.org/downloads/grazkleinschmidtpaper2011.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/grazkleinschmidtpaper2011.pdf)
4. Dutta, Mathias A. Leon «Pros and cons of torrefaction of woody biomass» University of Guelph. 2012.
5. M. Wild (Wild & Partner KG) «The ratio behind torrefaction tradeoff between additional investment & energy use vs. logistical & end user advantages» Mitteleuropäische Biomassekonferenz, Graz, January 2011.

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ С ПОЛУЧЕНИЕМ СИНТЕЗ-ГАЗА И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Зайченко В.М., Косов В.Ф., Лавренов В.А.

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

Внезапный и всеобъемлющий закат эпохи газогенераторов, наступивший в середине XX века, был обусловлен бурным развитием нефтегазового промысла. Быстрое освоение технологий добычи и переработки ископаемых жидких и газообразных углеводородных топлив сделало процессы газификации неконкурентоспособными [1]. Это в кратчайшие сроки привело к повсеместному исчезновению газогенераторного оборудования в производстве и на транспорте, а также к практически полной утрате интереса к газификации твердых топлив в целом.

Сегодня возобновляемая энергетика переживает этап активного развития, и технологии термической конверсии биомассы, эволюционируя, приобретают современный облик, отвечающий жестким экологическим и экономическим требованиям. Модернизация известных процессов пиролиза и газификации позволяет получить качественно новый продукт либо существенно упростить полный цикл конверсии твердого топлива в газообразное. Одним из таких процессов является разработанный в ОИВТ РАН метод двухстадийной термической конверсии биомассы в синтез-газ, сочетающий пиролиз и высокотемпературный крекинг летучих продуктов на коксовом остатке биомассы, позволяющий получить среднекалорийный газ (10...11 МДж/м<sup>3</sup>), не содержащий пиролизных смол, на 90% и более состоящий из монооксида углерода и водорода [2]. Также в процессе переработки под воздействием водяного пара и летучих пиролизных продуктов из древесного угля (коксового остатка) образуется высококачественный активированный уголь. На рисунке представлены результаты термогравиметрических исследований образца древесной биомассы (массив дуба), который подвергался пиролизу от 20°C до 1000°C с темпом нагрева 10°C/мин.

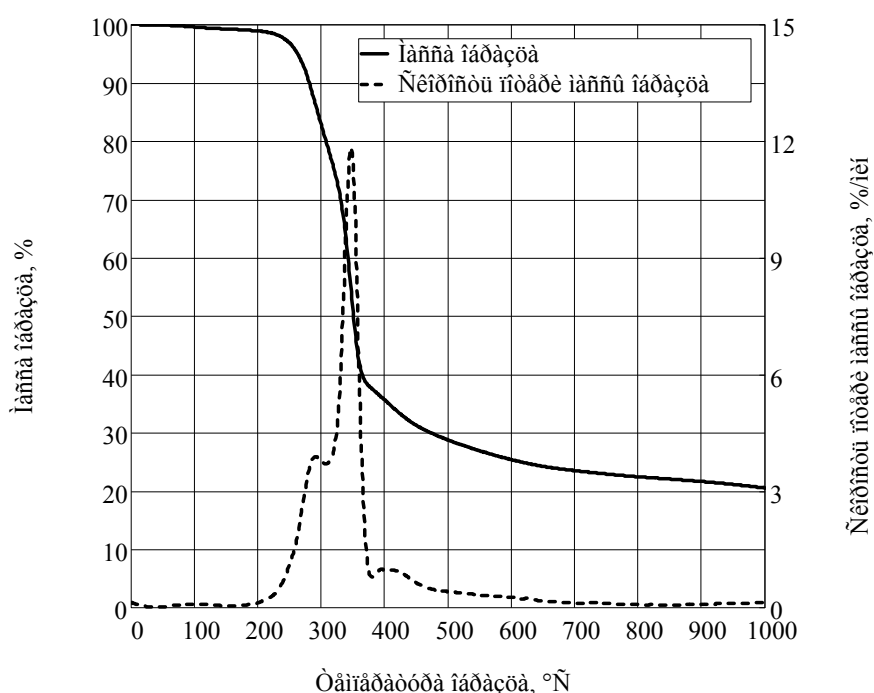


Рис. 1. Изменение массы и скорости потери массы образца древесной биомассы (массив дуба) при пиролизе от 20°C до 1000°C

На экспериментальном стенде института имеется опытно-промышленная установка, состоящая из четырех одинаковых модулей, на которой проводятся работы по оптимизации режимных параметров процесса, доводке и доработке узлов, а также повышению общей эффективности конверсии [3]. Для реализации процесса двухстадийной конверсии была разработана конструкция, состоящая из горизонтальной стальной трубы, в которой производился нагрев и пиролиз биомассы до температуры порядка 600...700°C, и вертикально расположенного бункера, в который попадал коксовый остаток, и летучие продукты пиролиза разлагались при 1000°C. Газоплотная загрузка обеспечивалась благодаря уплотнению внутри трубы пиролизера частиц биомассы поршнем. Плотность образующегося брикета – 800...1200 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от режима загрузки и вида биомассы. Использование для пиролиза трубы с принудительным перемещением биомассы посредством поршневого толкателя позволило успешно решить проблемы, связанные с разбуханием частиц биомассы при испарении влаги, а также их спеканием при выделении смол в температурном диапазоне 300...500°C. После такой термообработки в бункер попадал коксовый остаток в форме газопроницаемых таблеток, не имеющих склонности к агломерации. Труба пиролизера была выполнена с перфорацией и газовыми коллекторами для отведения летучих продуктов, благодаря чему было предотвращено образование скоплений газов под давлением. Сечение бункера коксового остатка было выполнено щелевидной формы с полукруглыми торцами для обеспечения равномерного прогрева и исключения незаполненных коксовым остатком каналов для газа, обычно образующихся в углах.

При конверсии древесной биомассы происходило образование избыточного количества коксового остатка, который отводится в специальный разгрузочный бункер на уровне выхода из трубы пиролизера. Полученный коксовый остаток представляет собой высококачественный активированный уголь, который может использоваться как самостоятельный продукт, а также в качестве топлива для обеспечения собственных нужд установки в тепловой энергии.

Приведенные в таблице экспериментальные данные (для одного модуля установки) подтвердили перспективность дальнейших работ по усовершенствованию конструкции.

Таблица. Экспериментальные данные и показатели эффективности установки

Величина	Размерность	Значение
Средний расход биомассы (опилки дуба)	кг/ч	6
Относительная влажность биомассы	% массов.	5,5
Зольность биомассы на сухую массу	% массов.	0,5
Расчетное значение низшей теплоты сгорания биомассы	МДж/кг	16,8
Средний расход синтез-газа (в условиях эксперимента)	м <sup>3</sup> /ч	8,46
Среднее избыточное давление синтез-газа	бар	0,03
Средний приведенный расход синтез-газа	нм <sup>3</sup> /ч	7,96
Измеренный химический состав синтез-газа (содержание горючих газов):		
- монооксид углерода (CO)	% объёмн.	46,0
- водород (H <sub>2</sub> )	% объёмн.	46,0
- метан (CH <sub>4</sub> )	% объёмн.	0,4
Расчётное значение низшей теплоты сгорания синтез-газа	МДж/нм <sup>3</sup>	11,0
Среднее теплотребление на собственные нужды	кВт	35,3
Среднее энергопотребление насосной станции	кВт	2,23
Эффективность конверсии биомассы в синтез-газ	%	86,9
Коэффициент полезного действия	%	37,1

В настоящий момент в разработке находится новая схема, призванная увеличить коэффициент полезного действия до значения порядка 60...75% за счет проведения следующих мероприятий:

- организации полного теплового самообеспечения установки за счет сжигания образующегося коксового остатка в пылеугольной горелке;
- снижения потребления топлива при подаче предварительно нагретого воздуха в горелку за счет отбора теплоты у горячих выхлопных газов;
- увеличения поверхностей теплообмена реакторов и оптимизации геометрии каналов горячего теплоносителя.

Конечной целью исследований является разработка серийного образца для генерации тепла и электроэнергии в составе котельных или газопоршневых электростанций, направленных на реализацию концепции распределенной энергетики на базе малых автономных когенерационных энергоустановок, ядро которых составляет установка двухстадийной термической конверсии биомассы в синтез-газ.

### Список литературы

1. Копытов В.В. Газификация конденсированных топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития. // М. : Инфра-Инженерия, 2012. – 504 с.
2. Victor Zaichenko, Valentin Kosov, Vladimir Kosov, Vladimir Sinelschikov. Development Of Technology For Biomass Processing Into Heat and Power // Bionature 2014: The Fifth International Conference on Bioenvironment, Biodiversity and Renewable Energies, p. 9-13, ISBN: 978-1-61208-336-0
3. Kosov V.F., Lavrenov V.A., Zaitchenko V.M. Tarless gas from biomass via two-stage thermal conversion // Venice 2014: 5-th International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice, Italy. ISBN 978-88-6265-085-4

## ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ НА МЕСТНЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ТОПЛИВНЫХ РЕСУРСАХ

Зайченко В.М., Косов В.Ф., Ларина О.М.

ФГБУН Объединённый институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), Москва, Россия

**Введение.** На территории России по данным Росстата на 2008 г. находится более 72 тысяч котельных. Основными видами топлива, используемыми в котельных, являются привозное жидкое и твердое или газовое топливо.

В городах теплоснабжение населения осуществляется в основном за счёт ТЭЦ, а котельные устанавливаются на отдельных предприятиях и жилых комплексах для создания автономной системы энергопотребления.

Получение тепловой энергии от котельных в небольших поселениях является острой необходимостью, т.к. такие районы чаще всего не газифицированы. Ситуацию с теплоснабжением населения вне крупных городов нашей страны можно наглядно рассмотреть на примере Архангельской области.

Основное количество источников производства тепловой энергии в области (83 %) – мелкие котельные, большинство из которых являются муниципальной собственностью [1]. 50 % котельных работают на дровах и древесных отходах, 44 % котельных работают на привозном топливе – каменном угле и жидком виде топлива [2]. В отдельных районах возникают трудности с завозом топлива и, как следствие, проблемы с теплоснабжением населения в осенне-зимний период. Одной из основных проблем, связанных с привозным топливом, является стоимость отпускаемой энергии. Так на территории Архангельской области находятся 63 местных дизельных электростанции (ДЭС). В связи с тем, что дизельное топливо является дорогостоящим, тарифы на производство энергии от ДЭС устанавливаются ниже экономически обоснованного уровня, при этом собственники ДЭС получают из бюджета компенсацию убытков на разницу в тарифах. Размер компенсации составляет порядка 1 млрд. руб. в год [3].

Аналогичная ситуация образовалась в Нижегородской области. В северной её части находятся 12 энергодефицитных районов, обеспечиваемых тепловой и электрической энергией за счёт средств бюджета области. В качестве источников тепловой энергии в Нижегородской области используется более 8 тысяч котельных, из которых 13 % приходится на эти 12 районов. На рисунке 1 представлена диаграмма используемого топлива в котельных в энергодефицитных районах Нижегородской области.

Из рисунка 1 видно, что привозное топливо – уголь, мазут, печное бытовое топливо (ПБТ) – являются основными для котельных. На торф отводится только 3 %. Котлы, использующие в качестве топлива дрова (33 %), требуют реконструкции или замены (рисунок 2).

**1. Основные трудности, возникающие при переводе твердотопливных котлов на местные топливные ресурсы.** Существует устойчивая тенденция роста цен на энергоносители. Высокая стоимость энергоносителей, а также необходимость снижения выбросов вредных веществ заставляет предприятия искать возможности по внедрению энергосберегающих технологий, по изменению топливного баланса в сторону использования возобновляемых источников энергии.

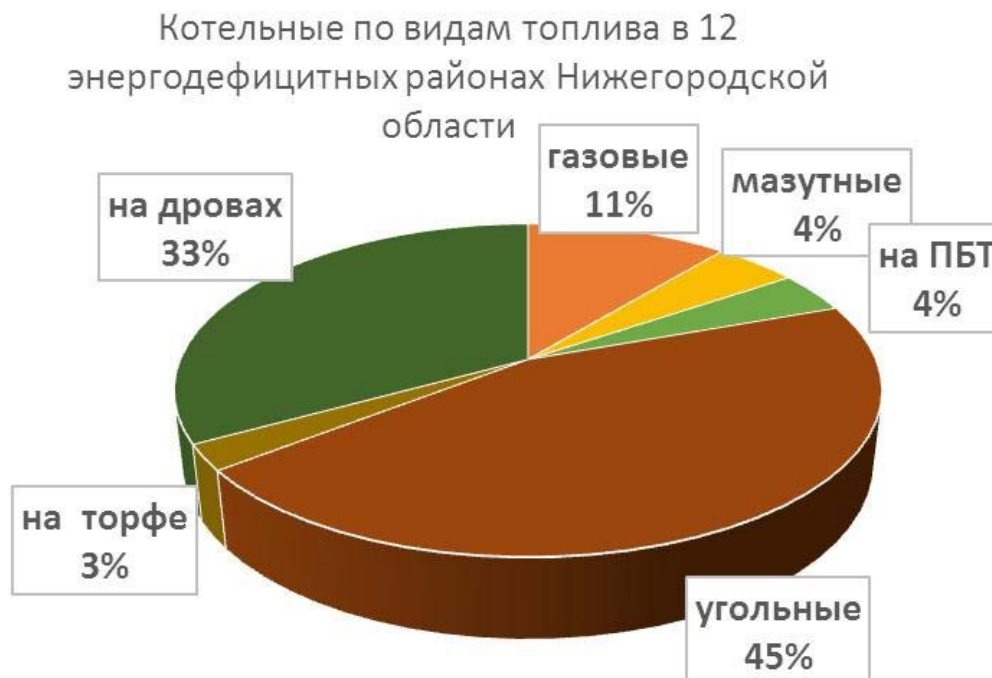


Рис.1. Виды котельных по используемому топливу в 12 энергодефицитных районах Нижегородской области



Рис.2. Котел KV-0,5, работающий на дровах, котельная Лесотехникума, г. Ветлуга, Нижегородская область

27 декабря 2010 г. была принята Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышения энергетической эффективности в период до 2020 года». Целью её является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для обеспечения устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению её внешнеэкономических позиций [2].

Перевод котельных жилищно-коммунального хозяйства с завозимых и поставляемых в регионы традиционных видов топлива (угля, мазута, печного бытового топлива) на альтернативный вид топлива позволит снизить бюджетную нагрузку региона и сэкономить дорогостоящие топливно-энергетические ресурсы.

Одной из энергосберегающих технологий является получение тепловой энергии в котельных за счёт использования местных топливных ресурсов: торфа, древесины.

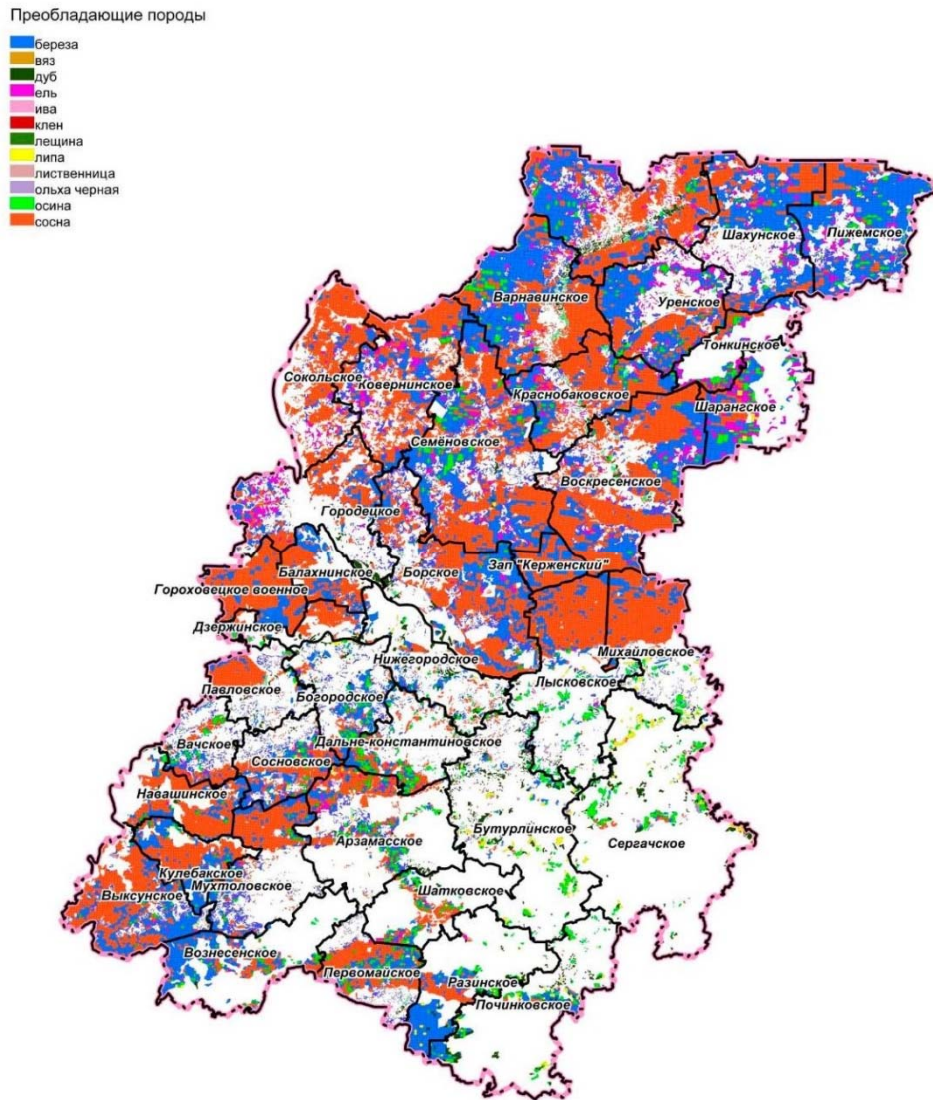


Рис.3. Карта лесов Нижегородской области [4]

Территория Нижегородской области, а особенно её северная часть, богата лесными ресурсами (рисунок 3). С экономической точки зрения использование древесины в качестве топлива для котлов будет существенно снижать затраты на транспортировку сырья. Перевод жидкотопливных и угольных котлов на местные топливные ресурсы является трудоёмким и экономически затратным процессом.

На рисунке 4 представлено изменение объёмной теплоты сгорания угольного и древесного топлив в зависимости от их влажности. Из рисунка видно, что объёмная теплота сгорания угля остается постоянной – 25-27 МДж/дм<sup>3</sup> вне зависимости от влажности угля. А объёмная теплота сгорания древесной щепы уменьшается с увеличением влажности древесины и при стандартной влажности свежесрубленного дерева 30-40 % имеет величину менее 5 МДж/дм<sup>3</sup>, что в более чем 5 раз меньше, чем объёмная теплота сгорания угля. Таким образом, для получения одного и того же количества тепловой энергии для потребителя требуется в 5 раз больше по объёму древесной щепы, чем угля, т.е. объём топки котла должен быть увеличен.

Теплота сгорания древесного топлива может быть увеличена в 2-3,5 раза за счет использования процессов пеллетизации и торрефикации (процесс пиролиза при температуре 250 °С) (рисунок 4), что требует дополнительных финансовых вложений.



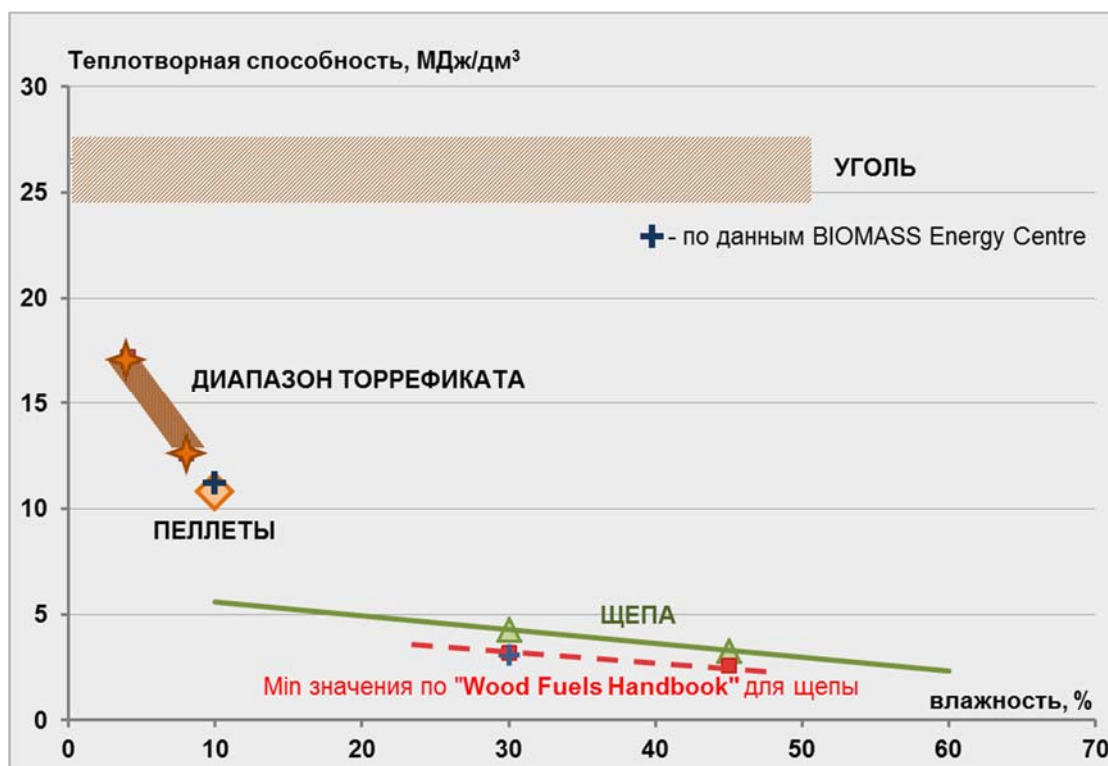


Рис. 4. Изменение теплоты сгорания топлив из древесины и угля в зависимости от влажности топлива

В Архангельской области было принято решение переводить коммунальную энергетику на биотопливо - низкокачественную древесину и отходы лесопереработки [2]. Учитывая, что 44 % котельных работает на привозном жидком и твердом топливах, реконструкции или замене подлежат значительная часть котлов. Благодаря вкладу инвесторов и муниципальных бюджетов идет работа по замене котлов в котельных, закрытию старых котельных и строительстве новых, работающих на биотопливе. Такой способ перехода на местные топливные ресурсы является финансово затратным, т.к. найти инвесторов сложно и не каждый бюджет области или района может позволить себе такие большие финансовые вложения.

## 2. Вариант перевода жидкотопливных котлов на местные топливные ресурсы.

Существует и другой способ перехода на местные топливные ресурсы. Особенно эффективно он может быть применен для жидкотопливных котлов. Он заключается в первоначальном превращении древесины в топливный газ теплотой сгорания 10-12 МДж/м<sup>3</sup> [5] посредством её термохимической конверсии с последующим сжиганием в котле. Для осуществления процесса подачи газа в котел потребуется замена горелки с жидкотопливной на газовую либо использование комбинированной горелки. Вторым вариантом горелки является наиболее удобным, так как позволяет создать запас резервного жидкого топлива (в случае, если поступление древесины в котельную по каким-то причинам прекратилось). Процесс перевода котла с одного жидкого топлива на газовое является трудоёмким, требующим отладки работы горелки. Но такой вариант возможен. В ОИВТ РАН проводятся экспериментальные исследования по отработке перевода жидкотопливных котлов на древесное топливо.

**Заключение.** Перевод котельных на местные топливные ресурсы в первую очередь позволит сократить бюджетные дотации, которыми возмещались разности тарифов стоимости тепловой энергии, во-вторых, задействовать запасенные в регионах лесозаготовительные отходы, уменьшить долю привозного топлива. А основная выгода от такого рода нововведений заключается в обеспечении населения небольших районов



бесперебойной подачей тепловой энергии, вне зависимости от времени года и погодных условий.

### Список литературы

1. Сайт портала по энергосбережению Энергосовет Использование биотоплива на котельных в Архангельской области. <http://www.energsovet.ru/stat561.html>.
2. Сайт регионального центра по энергосбережению Архангельской области. Ориентир коммунальной энергетики Архангельской области – биотопливо. [http://www.aoresc.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=172:2011-10-10-08-15-35&catid=4:cat-info&Itemid=31](http://www.aoresc.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=172:2011-10-10-08-15-35&catid=4:cat-info&Itemid=31).
3. Данные заседания экспертно-аналитического совета при Губернаторе Архангельской области 31 мая 2012 года «Состояние и проблемы развития энергетического комплекса Архангельской области».
4. Лесной план Нижегородской области, 2008 год.
5. *Батенин В.М., Зайченко В.М, Косов В.Ф., Синельников В.А.* Пиролитическая конверсия биомассы в газообразное топливо // Доклады академии наук, том 446, № 2, 2012. С. 179-182.

## АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ ВИЭ ELECTRIC ENERGY ACCUMULATION IN POWER SUPPLY SYSTEMS FOR REMOTE CONSUMERS BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Зайченко В.М.<sup>1</sup>, Иванов М.Ф.<sup>1</sup>, Смыгалина А.Е.<sup>1</sup>, Чернявский А.А.<sup>2</sup>**

1 – Объединенный институт высоких температур Российской академии наук:  
Москва, Россия, 125412, ул. Ижорская, д.13, стр.2; e-mail: [zaitch@oivtran.ru](mailto:zaitch@oivtran.ru)

2 – Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт  
«Ростовтеплоэлектропроект» – Филиал ENEX (Энергоэксперты – ОАО):  
Ростов-на-Дону, Россия, 344002, пр. Буденновский, д.2, e-mail: [info@rotep.ru](mailto:info@rotep.ru)

**Zaitchenko V.M.<sup>1</sup>, Ivanov M.F.<sup>1</sup>, Smygalina A.E.<sup>1</sup>, Cherniavskii A.A.<sup>2</sup>**

1 – Joint institute for high temperatures of the Russian academy of sciences: 125412, Izhorskaya st. 13  
bd.2, Moscow, Russia; e-mail: [zaitch@oivtran.ru](mailto:zaitch@oivtran.ru)

2 – Institute of survey, planning, and research “Rostovteploelectroproyekt” – ENEX branch (Experts  
on energy – JSCo): 344002, Budyonnovskii ave. 2, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: [info@rotep.ru](mailto:info@rotep.ru)

Рассмотрены вопросы создания автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Рассмотрена возможность использования газопоршневых электроагрегатов для работы на водороде в малых и средних системах аккумулирования. Исследованы способы обеспечения устойчивой бездетонационной работы газопоршневых двигателей на водороде. Проведено численное моделирование процессов горения в камере газопоршневого двигателя смесей водорода с различными добавками метана, пара и воздуха, способными снизить детонационную стойкость водорода.

**Keywords:** energy accumulation, hydrogen, spark-ignition engine, detonation, combustion, indicator diagram.

### 1. Введение

В Российской Федерации сегодня до 70% общей территории, на которой проживают, по разным оценкам, от 10 до 20 млн. человек, не обеспечены централизованными системами снабжения электрической энергией [1]. Практически все северные и восточные территории России, центральная часть Восточной и Западной Сибири не охвачены централизованным энергоснабжением. К территориям, выпадающим из зоны централизованного энергоснабжения, относятся также горные и высокогорные районы республик Северного Кавказа. На большей части этих территорий электроснабжение населения, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, заведений малого и среднего бизнеса осуществляется от мелких дизельных электростанций (ДЭС).

Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ДЭС достигает 30..40, а иногда и до 100 руб./кВтч [1]. В тоже время себестоимость производства энергии на объектах возобновляемой энергетики (ВИЭ) из года в год снижается (рис.1). В связи с увеличением доли электроэнергии, получаемой за счет ВИЭ, остро стоят вопросы аккумулирования электрической энергии.

Применение водорода решает проблемы широкомасштабного освоения энергетики на базе ВИЭ. В моменты получения излишних количеств электроэнергии на станциях с ВИЭ обеспечивается получение и накопление водорода. Затем накопленный водород используют для получения электрической энергии.

Исследования в этом направлении проводятся в США, Японии, Европейских странах. В России – в Объединённом институте высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН, Москва) и Научно-исследовательском и проектно-изыскательском институте «РОСТОВТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ» (РоТЭП, Ростов-на-Дону).

Возможным вариантом получения электроэнергии при использовании водорода в виде топлива является применение газопоршневых установок (ГПУ).

При использовании ГПУ в когенерационном режиме – с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии – их суммарный КПД может достигать 80...93%. В последние годы газопоршневые электроагрегаты находят преимущественное распространение при создании малых и средних автономных систем энергоснабжения.

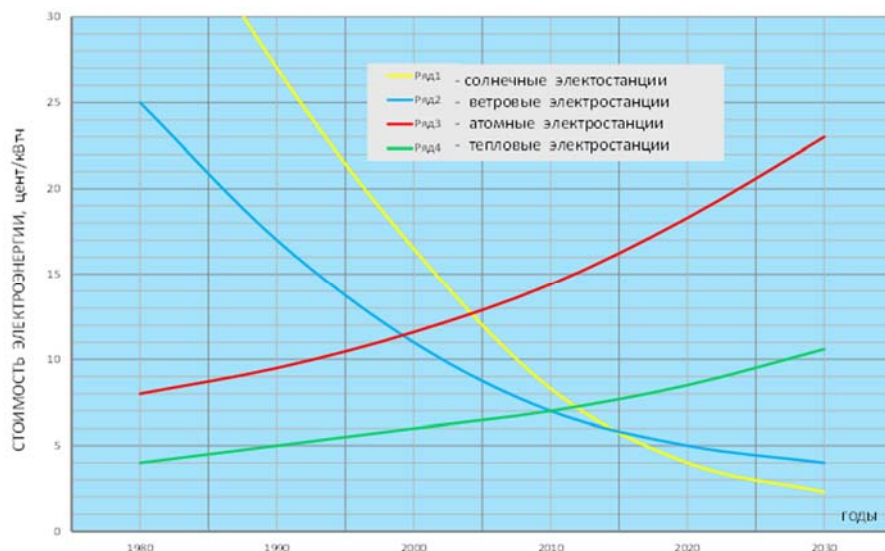


Рис.1. Сравнительные характеристики фактических и прогнозных изменений стоимости электрической энергии традиционных энергоустановок и систем на базе ВИЭ

## 2. Особенности работы ГПУ на водороде

При работе ГПУ на водороде необходимо учитывать, что водород обладает слабой детонационной стойкостью. Возникновение детонации может приводить к быстрому разрушению двигателя из-за скачков давления. В настоящей работе рассмотрены подходы к предотвращению детонации и повышению детонационной стойкости водородно-воздушной топливной смеси. Особенность рассматриваемых подходов заключается в использовании небольших добавок химически неактивных или слабоактивных компонентов к базовой водородно-воздушной смеси. В качестве добавок рассмотрены: метан, водяной пар и избыток воздуха (применение обедненных водородно-воздушных смесей).

Исследование проводилось методами вычислительной газовой динамики с использованием компьютерного кода, написанного на языке Fortran. В рамках вычислительного эксперимента моделировались сжатие топливно-воздушной смеси, находящейся в камере сгорания с цилиндрической симметрией, поджиг и последующая стадия расширения топлива и продуктов горения. Это соответствует второму и третьему тактам обычного четырехтактного двигателя внутреннего сгорания [2]. В начальный момент времени камера заполнялась гомогенной смесью топлива и воздуха заданного состава. Параметры двигателя: степень сжатия, объем камеры, скорость движения поршня, энергия и момент поджига были выбраны типичными для газопоршневых двигателей. Анализ режимов горения и определение его параметров проводились по индикаторным диаграммам.

## 3. Постановка вычислительных экспериментов

Описание горения и динамики смеси в цилиндре двигателя осуществлялось с использованием системы уравнений газодинамики Навье-Стокса для многокомпонентного газа с учётом вязкости, теплопроводности, диффузии и энерговыделения за счёт химических реакций. Расчёты проводились в предположении

аксиальной симметрии.

В силу того, что цель данной работы - определение конкретного состава горючих смесей, обеспечивающих бездетонационный режим горения, очевидна важность выбора кинетического механизма, способного наиболее корректно описать химическую кинетику в условиях сгорания смеси в камере работающего двигателя. В то же время, такой механизм должен обеспечить оптимальное время вычислений в используемой математической модели, поскольку наиболее затратным по времени вычислительным процессом является решение системы уравнений химической кинетики. В результате анализа ряда распространённых кинетических механизмов, который заключался в сопоставлении рассчитанных времен индукции с соответствующими экспериментальными данными, взятыми из литературы, и последующего сравнения полученных значений  $\zeta$  для разных кинетических схем (рис. 3.1), имеющих смысл относительных погрешностей, было показано, что для описания горения исследуемых смесей в камере поршневого двигателя наиболее подходящей является схема NUI Galway [3, 4]. При этом для описания горения смесей водорода с метаном использовался полный механизм [4], а для описания горения смесей водорода с паром и избытком воздуха использовался подмеханизм для водорода [3].

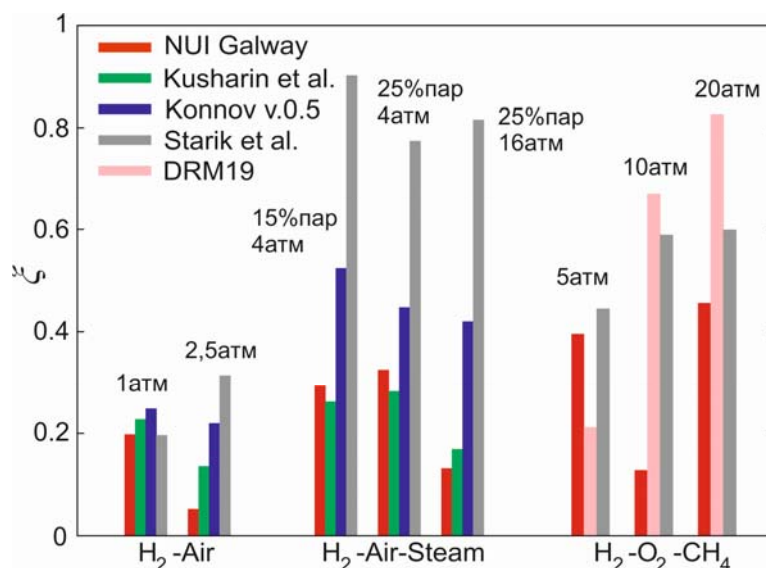


Рис. 3.1. Сравнение отклонений времен индукции, рассчитанных с помощью кинетических схем, от аналогичных экспериментальных значений

Численное решение системы уравнений газодинамики было реализовано с применением лагранжево-эйлерова метода [5,6] первого порядка точности по времени и второго порядка по пространству. Решение жесткой системы уравнений химической кинетики, описывающее изменение концентраций компонентов за счёт химических реакций, численно проводилось методом Гира с использованием стандартной библиотеки подпрограмм Slatec [7].

Расчёт искомых газодинамических характеристик у границы с движущимся поршнем осуществлялся путём объединения ячейки, пересекаемой поршнем с соседней по оси  $OZ$ . При движении поршня от верхней мёртвой точки (в.м.т.) происходит добавление ячейки. При этом воздействие поршня на газ в ячейке у поршня учитывалось как адиабатическое сжатие или расширение, в соответствии с фазой движения поршня.

Расчёты проводились в двумерной цилиндрической области с аксиальной симметрией, представляющей собой модель камеры сгорания. Размеры были выбраны типичными для газопоршневого двигателя: высота цилиндра 0,14 м, радиус 0,065 м. Таким образом, объём цилиндра составлял 1,86 литра. Степень сжатия была взята равной

11,4, угловая скорость вращения коленчатого вала – 1500 об/мин. Поступательная скорость движения поршня задавалась одинаково как для фазы сжатия, так и для фазы расширения по формуле [2]:

$$U_p = U_0 \sin(2\pi\nu t) \left( 1 + \frac{\cos(2\pi\nu t)}{\sqrt{11,9 - \sin^2(2\pi\nu t)}} \right),$$

где  $\nu$  - угловая скорость вращения вала,  $U_0$  принималась равной 6,34 м/с.

Параметры дискретизации были выбраны следующими: размер ячейки (ширина и высота)  $4 \cdot 10^{-4}$  м, шаг по времени 0.1 мкс. Начальный момент времени соответствовал  $0^\circ$  угла поворота коленчатого вала (у.п.к.в.), в.м.т.  $180^\circ$ , а конец фазы расширения  $360^\circ$  (полный цикл). Зажигание смеси осуществлялось во всех расчетах при  $170^\circ$ . Мощность источника зажигания составляла 20 кДж/(с·кг), длительность зажигания – 12 мкс.

Стенки камеры и поршня предполагались гладкими. Процесс рассчитывался без учёта тепловых потерь и потерь на трение на стенках камеры.

Составы смесей задавались следующим образом:  $(29,5-y)\%$   $H_2$ ;  $y\%$  добавки; 70,5% воздух (состав смесей здесь и далее задаётся в процентах от удельного объёма). Таким образом, в качестве базовой смеси была выбрана стехиометрическая водородо-воздушная смесь. В качестве добавки принимался метан, либо водяной пар, либо воздух. Значение  $y$  варьировалось от 0 до 3,5...8% в зависимости от типа смеси.

#### 4. Анализ полученных результатов

На рис. 4.1 приведены индикаторные диаграммы, или зависимости давления в камере сгорания от угла поворота коленчатого вала  $\varphi$  для смесей с добавлением пара: 1.0, 2.0 и 4.0%. Видно, что смесь с 1.0% пара сгорает в детонационном режиме, почти мгновенно, что характеризуется резким скачком давления, достигающим 24 МПа. Последующие пики давления отвечают отраженным ударным волнам, распространяющимся в объёме камеры после сгорания смеси. Для смесей с метаном и бедных смесей аналогичным образом были определены следующие граничные содержания добавок, ниже которых наблюдается детонация: 1.0%  $CH_4$  и 3.0% избытка воздуха соответственно.

Определенные граничные составы обеспечивают отсутствие детонации, но возникает вопрос о том, насколько они оптимальны для работы реального двигателя. В настоящей работе для количественного анализа сгорания были выбраны следующие параметры: максимальное давление за цикл ( $P_{max}$ ) и соответствующий его достижению угол поворота коленчатого вала ( $\varphi$  при  $P_{max}$ ).

Угол  $\varphi$  при  $P_{max}$  не должен превышать некоторых допустимых значений (примерно  $20^\circ$  у.п.к.в. после в.м.т.[8]), иначе мощность двигателя становится существенно малой. Кроме того, для надёжного функционирования двигателя максимально достигаемое за цикл давление должно быть ограничено. В разных случаях за максимально допустимые значения давления принимаются 8, 6 или 5 МПа (в настоящей работе принято 8 МПа).

На рисунках представлены значения максимального давления (рис. 4.2) и угла поворота вала, соответствующих достижению максимального давления (рис. 4.3) для смесей с различным содержанием водорода (или добавок).

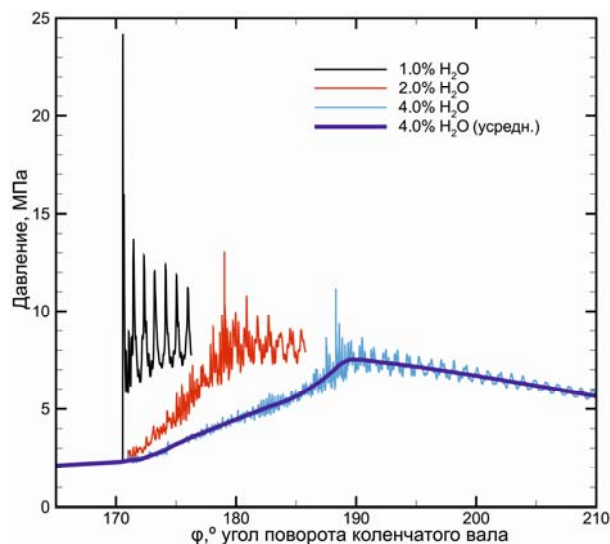


Рис. 4.1. Индикаторные диаграммы для смесей водорода с водяным паром

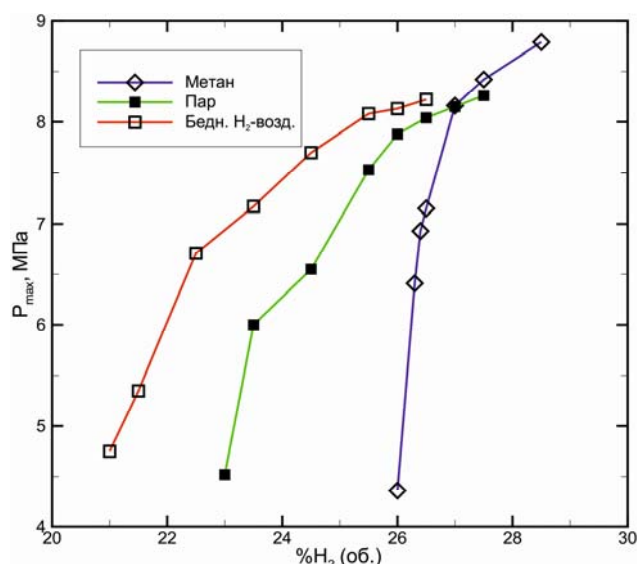


Рис.4.2. Максимальное давление, достигаемое в камере при сгорании смесей с различными типами и количествами добавок

Рисунки 4.2 и 4.3 показывают, что смеси с предельным для детонационного режима содержанием добавок (1.0%  $\text{CH}_4$ , 2.0% пара, 3.0% избытка воздуха) создают давления под поршнем выше 8 МПа, а полное сгорание происходит немного не достигая в.м.т., что не является оптимальным. С учётом выбранного критерия для оптимального режима, заключающегося в одновременном учёте двух условий:  $P_{max} < 8$  МПа, и  $\varphi$  (при  $P_{max}$ )  $< 20^\circ$  у.п.к.в. после в.м.т., можно сделать вывод, что оптимальный режим горения могут обеспечить составы из диапазонов: (2,6...3,0)%  $\text{CH}_4$ , (3,1...5,4)% пара, (4,2...7,3)% избытка воздуха.

Результаты (рис. 4.2) показывают, что при увеличении добавки максимальное давление уменьшается наиболее резко для смесей с метаном, а наименее резко такое уменьшение происходит для бедных водородно-воздушных смесей.

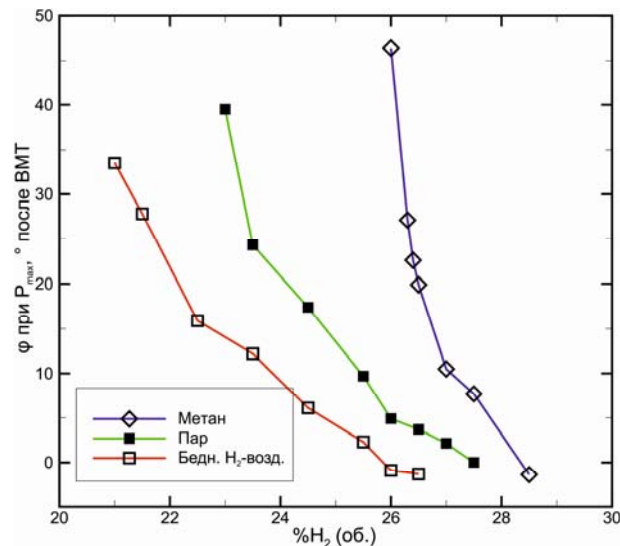


Рис. 4.3. Угол поворота коленчатого вала, соответствующий достижению максимального давления в камере, при сгорании смесей с различными типами и количествами добавок

В проведенной серии расчётов выявлены минимальные составы добавок к водородо-воздушной смеси, обеспечивающие бездетонационный режим горения: 1.0% метана, 2.0% пара, 3.0% избытка воздуха. Определены содержания добавок в смесях, делающих их сгорание оптимальным для рабочего цикла двигателя. При этом под оптимальными режимами понимались режимы с максимальным давлением не превышающем 8 МПа и соответствующим ему углом поворота коленчатого вала не превышающим 20° у.п.к.в. после в.м.т. Смесей с метаном продемонстрировали более высокую способность к понижению интенсивности сгорания, чем смеси с паром и избытком воздуха. Такое поведение объясняется тем, что смеси с метаном обладают большими временами задержки воспламенения, чем смеси с паром, в условиях по температуре и давлению, характерных для протекания процесса сгорания в двигателе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-02860\15.

### Список литературы

1. Зайченко В.М., Чернявский А.А. Автономные источники энергоснабжения. – М.: ООО «Издательский дом НЕДРА», 2015. – 304 с.
2. Heywood J.B. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw Hill, 1988. 930с.
3. O Conaire M., Curran H.J., Simmie J.M., Pitz W.J., Westbrook C.K. A comprehensive modeling study of hydrogen oxidation // Int J Chem Kinet 36(11), 2004. С.603-22.
4. Petersen E.L., Kalitan D.M., Simmons S., Bourque G., Curran H.J., Simmie J.M. Methane/propane oxidation at high pressures: experimental and detailed chemical kinetic modelling // Proc Combust Inst 31, 2007. С.447-54.
5. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. Москва: «Наука», 1982. С.392.
6. Ivanov M.F., Kiverin A.D., Yakovenko I.S., Liberman M.A. Hydrogen-oxygen flame acceleration and deflagration-to-detonation transition in three-dimensional rectangular channels with no-slip walls // Int J Hydrogen Energy 38, 2013. С.16427-40.
7. Slatec common mathematical library. Версия 4.1, 1993.
8. Стечкин Б.С., Генкин К.И., Золотаревский В.С., Скородинский И.В. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя. М.: Издательство Академии наук СССР, 1960. 200с.

## ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ АВ<sub>5</sub>-ТИПА ДЛЯ ОЧИСТКИ И ХРАНЕНИЯ БИОВОДОРОДА AB<sub>5</sub>-TYPE INTERMETALLIC COMPOUNDS FOR BIOHYDROGEN PURIFICATION AND STORAGE

Казаков А.Н.<sup>1</sup>, Дуников Д.О.<sup>1</sup>, Митрохин С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур РАН, Россия, Москва

<sup>2</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва

Kazakov A.N.<sup>1</sup>, Dunikov D.O.<sup>1</sup>, Mitrokhin S.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Joint Institute for High Temperatures Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow

<sup>2</sup>Moscow State University, Russia, Moscow

### Введение

В течение последних десятилетий получение водорода биологическими методами («биоводород») вызывает интерес во многих странах. Разработки крупных пилотных биореакторов темновой ферментации [1-3] позволяют утверждать о устойчивом развитии данной технологии и возможности практического использования в автономных комплексных системах энергообеспечения.

Главными недостатками в практическом применении технологии производства биоводорода методом темновой ферментации являются низкая концентрация водорода в продуктивном газе (30-50 %об.) и низкое парциальное давление водорода (менее 1 атм). Традиционные методы очистки (короткоцикловая абсорбция, мембраны) неприменимы к очистке биоводорода из-за высоких требований по составу подаваемого газа, рабочим давлениям и температурам [4]. Перспективными материалами для очистки и начального компремирования биоводорода могут быть интерметаллические соединения (ИМС) АВ<sub>5</sub>-типа. Сплавы этой группы отличаются высокой устойчивостью к примесным газам, циклической стабильностью, возможностью использования низкопотенциального теплоносителя (воды) [5]. Варьирование состава позволяет подобрать сплав с необходимыми давлениями абсорбции/десорбции в диапазоне температур 0 – 100 °С для удовлетворения требований как по очистке [6, 7], так и по начальному компремированию водорода [8].

В рамках данной работы изготовлены перспективные интерметаллические соединения и проведены исследования их РСТ-свойств. Частичное замещение Ni в сплавах LaNi<sub>5-x</sub>M<sub>x</sub> (M – Al, Sn, Fe; x = 0.1 – 0.3) позволяет добиться низких равновесных давлений при умеренных температурах. Термодинамические параметры определены из диаграмм Вант-Гоффа. РСТ-диаграммы сплавов измерены методом Сивертса в температурном интервале 20 – 60 °С.

### Экспериментальная часть

Выплавка образцов интерметаллических соединений семейства LaNi<sub>5</sub> проводилась в электродуговой печи фирмы Cianflone модели 2701 с нерасходуемым вольфрамовым электродом на водоохлаждаемом медном кристаллизаторе в аргоновой атмосфере [9].

В качестве исходных компонентов использовали металлы с указанной чистотой: La(99,9%) и Ni (свыше 99,9%), рассчитанные массы которых загружались в ячейку для плавки. В каждом случае к рассчитанной массе La добавляли 1-2% избытка для компенсации испарения во время плавления. Изначально рабочая камера печи вакуумировалась до остаточного давления порядка  $4 \cdot 10^{-5}$  Па, затем 2-3 раза продувалась аргоном высокой чистоты. Интенсивный продув рабочей камеры аргоном заменяет предварительное плавление титанового геттера. Во время плавления поддерживается подача аргона в рабочую камеру под давлением 41 кПа.



Для определения фазового состава и параметров кристаллической структуры использовались порошки сплавов, полученные перетиранием в фарфоровой ступке. Рентгеновский анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (Bruker) с медным излучением ( $K\alpha_1$  и  $K\alpha_2$ ). Шаг измерения составлял 0.02 градуса, время экспозиции 60.8с в точке. Измерение  $2\theta$ -углов находилось в диапазоне от  $10^\circ$  до  $120^\circ$ . Обработка полученных дифрактограмм осуществлялась в программных средах Jana2006 и Search-Match.

#### Установка для гидрирования и методика измерения изотерм десорбции водорода

Схема установки для гидрирования ИМС и измерения РС-изотерм в области давлений 0,01-100 атм. приведена на Рис. 1. Установка состоит из автоклавов, манометров, вентилях, коммуникаций, стеклянной калиброванной емкости с вакуумметром.

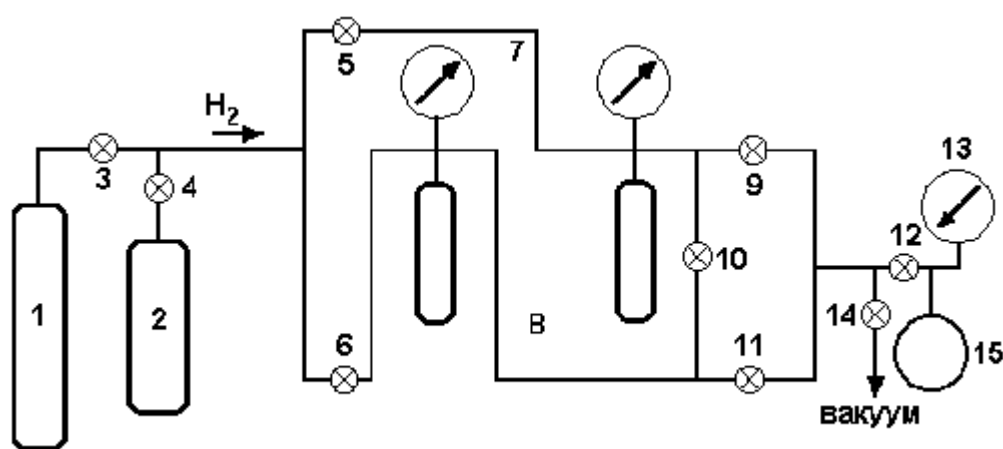


Рис.1. Схема установки для гидрирования и измерения изотерм «давление-состав» до 100 атм: 1 – баллон с водородом марки «А», 2 – водородный аккумулятор с  $\text{LaNi}_5$ , 3-6 и 9-11 – игольчатые вентили, 7 – образцовые манометры, 8 – автоклавы, 12,14 – вакуумные краны, 13 – образцовый вакуумметр, 15 – калиброванная стеклянная емкость.

Перед гидрированием навеску образца (~3 - 5 г) предварительно очищали на корундовом кругу от поверхностной оксидной пленки, взвешивали и помещали в рабочий автоклав. После этого систему вакуумировали до остаточного давления  $10^{-2}$  мм.рт.ст. форвакуумным насосом с использованием низкотемпературной ловушки с жидким азотом. После вакуумирования подавали водород из аккумулятора в буферный автоклав и фиксировали количество водорода в системе. Затем соединяли буферный автоклав с рабочим. Реакция взаимодействия ИМС с водородом протекала в течение 15-30 мин. После окончания реакции регистрировали давление и температуру. Для измерения изотерм десорбции водорода проводили отбор калиброванных порций водорода из рабочего автоклава в вакуумированный буферный автоклав или в калиброванную стеклянную емкость вакуумной установки. Равновесие в системе считали достигнутым, если изменения давления не происходило в течение 20 минут.

#### Результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ приготовленных интерметаллических соединений показал высокую однородность образцов. Все сплавы кристаллизовались в структурном типе  $\text{CaCu}_5$ . Параметры кристаллической решетки, рассчитанные из рентгенограмм,

представлены в таблице 1. Замещение атомов Ni на более крупные атомы Sn и Al приводит к увеличению размеров кристаллической решетки.

Таблица 1. Структурные параметры кристаллической решетки ИМС

Интерметаллическое соединение	Параметры		Плотность г/см <sup>3</sup>	Объем элементарной ячейки Å <sup>3</sup>
	<i>a</i> , Å	<i>c</i> , Å		
LaNi <sub>4.8</sub> Sn <sub>0.2</sub>	5.0332(4)	3.9987(5)	8.4083	88.3(3)
LaNi <sub>4.8</sub> Sn <sub>0.1</sub> Al <sub>0.1</sub>	5.0295(3)	3.9997(4)	8.2448	87.6(2)
LaNi <sub>4.6</sub> Sn <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.2</sub>	5.0403(5)	4.0107(5)	8.3486	88.2(2)
LaNi <sub>4.6</sub> Fe <sub>0.2</sub> Al <sub>0.2</sub>	5.0307(2)	4.0052(2)	8.2853	87.8

Приготовленные сплавы поглощали водород без предварительной активации с индукционным периодом от 5 до 15 минут. После гидрирования корольки сплавов превращались в мелкодисперсный порошок темно-серого цвета, активный на воздухе. Серии изотерм наиболее перспективных соединений при температурах **20 – 60 °C** представлены на Рис. 2 и 3.

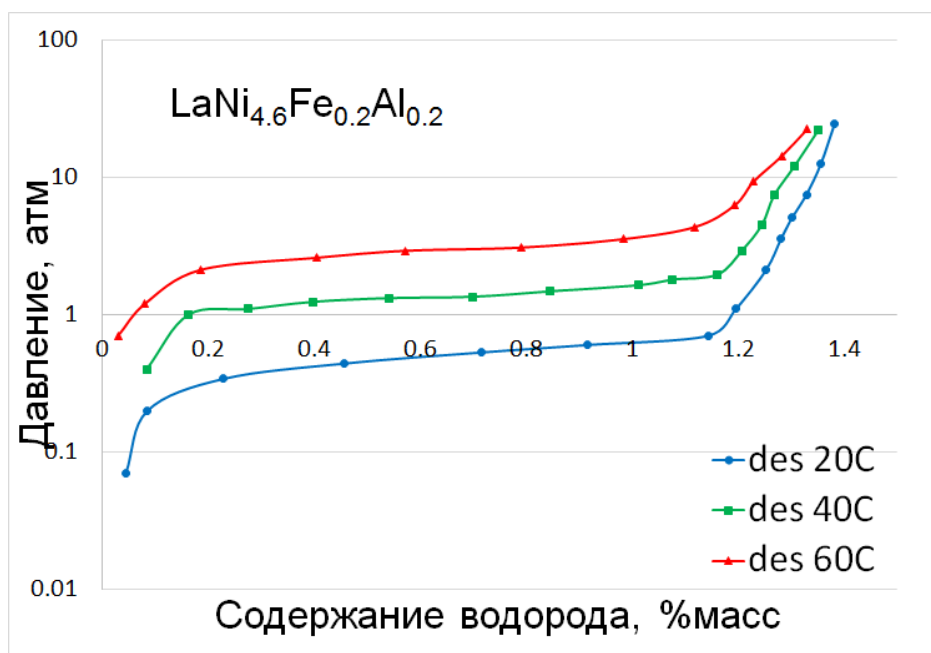
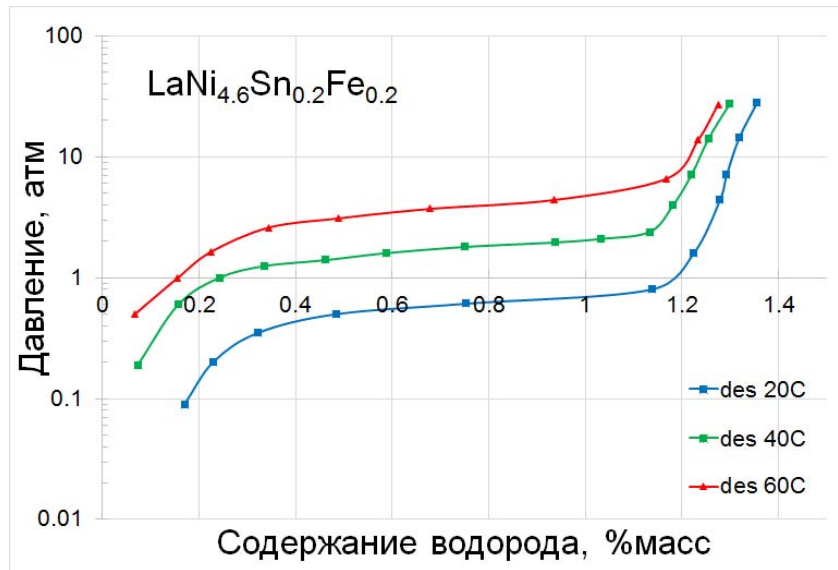


Рис.2. PCT-диаграмма для LaNi<sub>4.6</sub>Fe<sub>0.2</sub>Al<sub>0.2</sub>.

Рис.3. PCT-диаграмма для  $\text{LaNi}_{4.6}\text{Fe}_{0.2}\text{Sn}_{0.2}$ .

Для всех приготовленных сплавов характерно широкая область равновесного давления и незначительный наклон плато, что важно для использования в технических устройствах. Данные, полученные в ходе PCT-измерений представлены в Таблице 2.

Таблица 2. PCT-свойства интерметаллических соединений

ИМС	Температура, °C	Давление, атм	Обратимая емкость, %масс	Максимальная емкость, %масс
$\text{LaNi}_{4.8}\text{Sn}_{0.2}$	20	0.63	1.12	1.42
	40	1.85	1.07	1.28
	60	4	1.01	1.27
$\text{LaNi}_{4.6}\text{Sn}_{0.2}\text{Fe}_{0.2}$	20	0.55	1.00	1.36
	40	1.7	0.97	1.3
	60	3.72	0.94	1.28
$\text{LaNi}_{4.8}\text{Sn}_{0.1}\text{Al}_{0.1}$	20	0.71	1.16	1.38
	40	1.88	1.11	1.33
	60	4.2	1.03	1.28
$\text{LaNi}_{4.6}\text{Fe}_{0.2}\text{Al}_{0.2}$	20	0.49	1.11	1.38
	40	1.35	1.00	1.35
	60	3	0.94	1.33

Главными характеристиками для использования сплавов в очистке биоводорода являются низкое равновесное давление водорода и обратимая емкость сплава. На основе этих требований нами выделены два сплава наиболее удовлетворяющих этим требованиям:  $\text{LaNi}_{4.6}\text{Fe}_{0.2}\text{Al}_{0.2}$  и  $\text{LaNi}_{4.6}\text{Sn}_{0.2}\text{Fe}_{0.2}$ . Низкие равновесные давления этих сплавов благоприятны для непосредственного поглощения водорода из биогаза, производимого в ходе темновой ферментации.

Исходя из данных PCT-диаграмм также были рассчитаны термодинамические параметры исследуемых сплавов. Результаты приведены в Таблице 3

Таблица 3. Термодинамические параметры систем ИМС-Н<sub>2</sub>

ИМС	$\Delta H$ , kJ/mol	$\Delta S$ , kJ/mol K
LaNi <sub>4.8</sub> Sn <sub>0.2</sub>	-34.2	114.2
LaNi <sub>4.6</sub> Sn <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.2</sub>	-36.9	121.3
LaNi <sub>4.8</sub> Sn <sub>0.1</sub> Al <sub>0.1</sub>	-35.8	119.4
LaNi <sub>4.6</sub> Fe <sub>0.2</sub> Al <sub>0.2</sub>	-36.8	119.7

Все приготовленные образцы отличаются высокой стабильностью, что важно при использовании сплавов в циклической работе.

Равновесные давления десорбции для исследуемых сплавов находятся в интервале 0.4 – 0.8 атм при 293 К, что указывает на перспективность использования данных сплавов в металлгидридных реакторах очистки водорода, производимого биологическим путем. Сплавы LaNi<sub>4.6</sub>Fe<sub>0.2</sub>Sn<sub>0.2</sub> и LaNi<sub>4.6</sub>Fe<sub>0.2</sub>Al<sub>0.2</sub>, обладающие низкими равновесными давлениями и высокой обратимой емкостью, наиболее интересными для извлечения водорода из продуктового биогаза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 14.604.21.0123, уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60414X0123), РФФИ (грант 14-08-92001). Авторы также выражают благодарность членам лаборатории Водородных энергетических технологий ОИВТ РАН за обсуждение работы, полезные советы и практическую помощь в исследованиях.

#### Список литературы

1. Kim, D.-H., et al., Experience of a pilot-scale hydrogen-producing anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) treating food waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010. **35**(4): p. 1590-1594.
2. La Licata, B., et al., Bio-hydrogen production from organic wastes in a pilot plant reactor and its use in a SOFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2011. **36**(13): p. 7861-7865.
3. Morra, S., et al., Expression of different types of [FeFe]-hydrogenase genes in bacteria isolated from a population of a bio-hydrogen pilot-scale plant. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2014. **39**(17): p. 9018-9027.
4. Freeman, B. and Y. Yampolskii, *Membrane Gas Separation*. 2011: John Wiley & Sons.
5. Sandrock, G., A panoramic overview of hydrogen storage alloys from a gas reaction point of view. *Journal of Alloys and Compounds*, 1999. **293-295**: p. 877-888.
6. Дуников, Д.О., et al., Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор). *Теплоэнергетика*, 2013(3): p. 48-57.
7. Блинов, Д.В., et al., Очистка водорода методом продувки через металлгидрид. *Вестник МЭИ*, 2012(2): p. 44-49.
8. Lototskyu, M.V., et al., Metal hydride hydrogen compressors: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2014. **39**(11): p. 5818-5851.
9. Kazakov, A.N., Dunikov, D.O., Borzenko, V.I., Development of technique for preparation and research of intermetallic compounds' samples for hydrogen purification and storage systems. *Vestnik MEI*, 2014. **3**: p. 16-20.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ И НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

**Карамов Д.Н., Клер А.М.**

Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия

Автономные системы электроснабжения (АСЭС) играют заметную роль в Северных и Северо-Восточных регионах РФ. Причем основными источниками электроэнергии в таких системах являются дизельные электростанции (ДЭС). К примеру, в компании «Сахаэнерго» суммарная установленная мощность ДЭС составляет свыше 210 МВт. Данные системы характеризуются крайне высокой себестоимостью электроэнергии (20-40 руб./кВт\*ч), в связи с дороговизной топлива.

Одним из основных перспективных направлений развития АСЭС является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), причем самые «универсальные» виды возобновляемой энергии — это энергия Солнца и энергия ветра. Следует отметить, что мощность электрогенераторов, использующих указанные виды энергии имеет стохастический характер, связанный со случайными изменениями скорости ветра, облачности и других метеопараметров. Кроме того, мощность солнечных энергоустановок в ночное время равна нулю. В этих условиях эффективно применение в АСЭС накопителей энергии (НЭ) позволяющих приблизить график выдачи мощности от ВИЭ к графику нагрузки потребителей.

Проблемам математического моделирования и оптимизации АСЭС, использующих ВИЭ посвящено достаточно много работ, выполненных как в РФ, так и за рубежом, например, [1-4].

Для учета случайного характера скорости ветра и других метеопараметров в указанных работах используются различные законы распределения вероятностей, параметры которых подбираются на основе анализа статистики метеонаблюдений. Применение такого подхода при расчетах режимов функционирования АСЭС позволяет обоснованно проводить их оптимизацию при использовании одного из двух указанных видов возобновляемой энергии без использования НЭ. Однако при рассмотрении сочетания ветроэнергетических установок (ВЭУ) и фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), а также НЭ возникают следующие требования: 1) необходимость учета корреляции между скоростью ветра, облачностью, давлением, и другими метеопараметрами; 2) необходимость учета случайного характера продолжительности временных отрезков, на протяжении которых различные метеопараметры остаются в пределах некоторых границ.

Учет первого требования необходим для корректной оценки, ожидаемой суммарной генерируемой мощности ВЭУ и ФЭП. Учет второго требования необходим для оценки ожидаемой продолжительности отрезков времени с различным, в том числе низким уровнем генерируемой мощности ВИЭ и правильного выбора установленной емкости НЭ. Существующие результаты обработки метеонаблюдений не позволяют учесть указанные требования.

Единственная, с точки зрения авторов, возможность такого учета состоит в непосредственном использовании в расчетах АСЭС результатов метеонаблюдений автоматических метеостанций. Такие станции в последние десятилетия появились даже в весьма отдаленных населенных пунктах РФ. Они проводят синхронные замеры основных параметров окружающей среды (облачности, скорости ветра, давления и др.) с шагом равным, как правило, трем часам. Для большинства метеостанций продолжительность периода наблюдений в настоящее время составляет не менее 8 лет.

Массивы результатов наблюдения метеостанций находятся в свободном открытом доступе [5].

Авторами предлагается проводить расчеты работы АСЭС для всех лет периода метеонаблюдений ближайшей к расположению АСЭС автоматической метеостанции с шагом равным одному часу. При этом параметры окружающей среды принимаются равными параметрам, замеренным на соответствующем трехчасовом интервале рассматриваемого года. Расчеты проводятся при ожидаемых графиках нагрузки потребителей. Принимая вероятность реализации сочетания метеоусловий каждого года наблюдений одинаковой, можно определить среднегодовую выработку электроэнергии на генераторах, использующих ВИЭ и дизель-генераторных установках (ДГУ), среднегодовой расход топлива, показатели экономической эффективности при заданном составе генерирующих мощностей и емкости НЭ. Для реализации подобного подхода в ИСЭМ СО РАН разработаны методика и реализующий её вычислительный комплекс, в котором оптимизация мощностей генераторов разного типа и емкости НЭ проводится методом покоординатного спуска.

В разработанной математической модели АСЭС реализованы модели устройств генерации, распределения, преобразования и передачи электроэнергии. В качестве электрогенерирующих установок могут рассматриваться фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), ветроэнергетические установки (ВЭУ), ДГУ, а в качестве накопителей энергии – аккумуляторные батареи (АБ).

При моделировании генерирующих установок используются методики расчета разработанные как российскими, так и зарубежными коллективами. Модель ФЭП описанная в [6], позволяет учитывать влияние температуры окружающей среды на КПД ФЭП. Моделирование ВЭУ, основано на работах [7,8]. Модель позволяет по мгновенным характеристикам скорости ветра, параметрам окружающей среды, и конструктивным характеристикам ВЭУ определить её мгновенную генерируемую мощность. Описание рабочих параметров АБ с учетом мгновенных режимов и электрических потерь выполняется на основании методики, представленной в [9], а ДГУ по [10] соответственно.

Поскольку не всегда имеется возможность размещать ВЭУ и ФЭП вблизи потребителя, то в расчетной модели предусмотрены объекты преобразования и передачи электроэнергии. На основании используемых методик расчета элементов преобразования и передачи электроэнергии [12] созданы модели трансформаторов (ТР), воздушных линий (ВЛ) [11], сетевых инверторов (СИН), батарейных инверторов (БИН).

Одной из основных задач, решаемых для каждого рассматриваемого часа работы АСЭС является задача распределения нагрузок между генерирующими мощностями. В настоящей работе для решения данной задачи используется следующий подход.

1. Для каждого часа каждого года периода метеонаблюдений определяется (исходя из текущих параметров окружающей среды и астрономических параметров Солнца) потенциально-возможная выработка электроэнергии ФЭП и ВЭУ (при их заданной установленной мощности).
2. Определяется потери активной мощности при передаче потенциально-возможной выработки ФЭП и ВЭУ до потребителя.
3. Если поступающая к потребителю суммарная мощность ФЭП и ВЭУ не меньше текущей нагрузки потребителя, то вся она покрывается за счет ВИЭ.
4. Если наблюдается избыток мощности, то он поступает на зарядку накопителей. В случае, когда накопители уже заряжены полностью, то на соответствующую величину сокращается мощность ВИЭ. Причем в первую очередь сокращается генерируемая мощность ВЭУ (как наиболее изнашивающихся при работе), а затем ФЭП.

5. Если суммарная мощность ВИЭ меньше нагрузки потребителей, то недостаток мощности покрывается за счет накопителей.
6. Если накопители разряжены (заряд 30% от номинального), то включается необходимое число ДГУ. ДГУ включаются на полную мощность и отключаются при достижении зарядом накопителя некоторого порогового значения (50% от номинального).
7. Если мощность ДГУ совместно с ВИЭ при разряженном накопителе, меньше нагрузки потребителя, то имеет место недоотпуск электроэнергии.
8. По известному заряду накопителя в начале рассчитываемого часа работы АСЭС и режиму его работы на протяжении этого часа определяется заряд накопителя в конце часа.

По генерируемой мощности ДГУ определяется их часовой расход топлива. Представленные расчеты проводятся для каждого часа расчетного периода, для которого имеются замеры автоматическими метеостанциями. Затем определяются среднегодовые показатели (расход топлива, выработка электроэнергии ДГУ, ВЭУ и ФЭП).

Для сравнения вариантов применяется методика уравниваемой стоимости электроэнергии (Levelized cost of electricity; LCOE) [23, 24]. LCOE – это приведенные затраты на единицу электроэнергии отпускаемой потребителю. При оптимизации ищется минимум LCOE. Целевая функция имеет вид:

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{K_i + M_i + F_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{(1+r)^i}}, \quad (1)$$

где  $K_i$  – капиталовложения,  $M_i$  – условно постоянные эксплуатационные издержки,  $F_i$  – топливные издержки,  $E_i$  – поступление электроэнергии потребителям,  $r$  – коэффициент дисконтирования,  $n$  – число лет расчетного периода; подстрочным индексом  $i$  обозначены величины, относящиеся к  $i$ -ому году расчетного периода.

Капиталовложения по элементам АСЭС имеют следующий вид:

$$K_i = K_{ФЭП_i} + K_{ВЭУ_i} + K_{ДГУ_i} + K_{АБ_i} + K_{СИН_i}^{\Phi} + K_{ТР_i}^{\Phi} + K_{ВЛ_i}^{\Phi} + K_{ТР_i}^B + K_{ВЛ_i}^B + K_{ТР_i}^O + K_{ВП_i}^{AB} + K_{ИН_i}^{AB}, \quad (2)$$

где  $K_{ФЭП_i}$ ,  $K_{ВЭУ_i}$ ,  $K_{ДГУ_i}$ ,  $K_{АБ_i}$ ,  $K_{СИН_i}$ ,  $K_{ТР_i}$ ,  $K_{ВЛ_i}$ ,  $K_{ВП_i}$ ,  $K_{ИН_i}$  – соответственно капиталовложения в фотоэлектрические преобразователи, ветроэнергетические установки, дизель-генераторы, аккумуляторные батареи, силовые инверторы, трансформатор, воздушные линии, выпрямители, инверторы. Надстрочными индексами «Ф» и «В» обозначаются показатели сетевых элементов относящихся к электрическим связям ФЭП с АБ и ВЭУ с АБ соответственно. Надстрочным индексом «О» обозначены показатели общих сетевых элементов установленных у потребителя, а «АБ» показатели сетевых элементов относящихся к АБ соответственно.

Эксплуатационные расходы по элементам АСЭС имеют вид:

$$M_i = M_{ФЭП_i} + M_{ВЭУ_i} + M_{ДГУ_i} + M_{АБ_i} + M_{СИН_i}^{\Phi} + M_{ТР_i}^{\Phi} + M_{ВЛ_i}^{\Phi} + M_{ТР_i}^B + M_{ВЛ_i}^B + M_{ТР_i}^O + M_{ВП_i}^{AB} + M_{ИН_i}^{AB}, \quad (3)$$

где  $M_{ФЭП_i}$ ,  $M_{ВЭУ_i}$ ,  $M_{ДГУ_i}$ ,  $M_{АБ_i}$ ,  $M_{СИН_i}$ ,  $M_{ВП_i}$ ,  $M_{ИН_i}$  – соответственно эксплуатационные расходы в фотоэлектрические преобразователи, ветроэнергетические установки, дизель-генераторы, аккумуляторные батареи, силовые инверторы, трансформаторы, воздушные линии, выпрямители, инверторы. Принято, что эти расходы составляют определенные доли от капиталовложений.

В качестве примера рассмотрим АСЭС «Алысардах» Ленского района Якутии. Максимальная электрическая нагрузка потребителей составляет 11 кВт, характер нагрузки коммунально-бытовой. Цена дизельного топлива с учетом доставки составляет 55 руб./литр. Параметры окружающей среды принимались по замерам автоматической

метеостанции, расположенной в 36 километрах от с. «Алысардах». Период метеонаблюдений составил 10 лет. В связи с малой нагрузкой потребителя ФЭП и ВЭУ располагались непосредственно у потребителя, поэтому трансформаторы и воздушные линии отсутствуют.

Параметры элементов генерации и их экономические показатели даны в таблице

Таблица. Технические и экономические параметры элементов генерации \*

Тип, марка	$P_{уст}$ , кВт	КПД, %	К, руб	М, %	$M_{уст}$ , %	$K_{прк}$
ФЭП, TCM-250 A	0,250	20	16950	2	25	1,7
ВЭУ, Sokol air vertical	10	40	560000	2	25	1,7
ДЭУ, АД 12-Т400	12	35	350000	1	25	1,7
АБ, ДТ(Delta-12-200)	2,4 (кВт*ч)	95	17530	7	10	1,7

\* $P_{уст}$  - единичная установленная мощность агрегата,  $K$  - стоимость,  $M$  - доля годовых издержек от капиталовложений,  $M_{уст}$  - доля затрат от капиталовложений на доставку и установку оборудования,  $K_{прк}$  - повышающий районный коэффициент на строительство.

При определении LCOE коэффициент дисконтирования принимался равным 0,07.

Для оптимизации вариантов разработан расчетный комплекс, использующий метод покоординатного спуска, в соответствии с которым, все оптимизируемые параметры, кроме одного фиксируются, а один оптимизируется. Затем оптимизируется второй параметр, а первый фиксируется на ранее найденном оптимальном значении. Такой процесс повторяется до тех пор, пока ни один параметр не может быть улучшен.

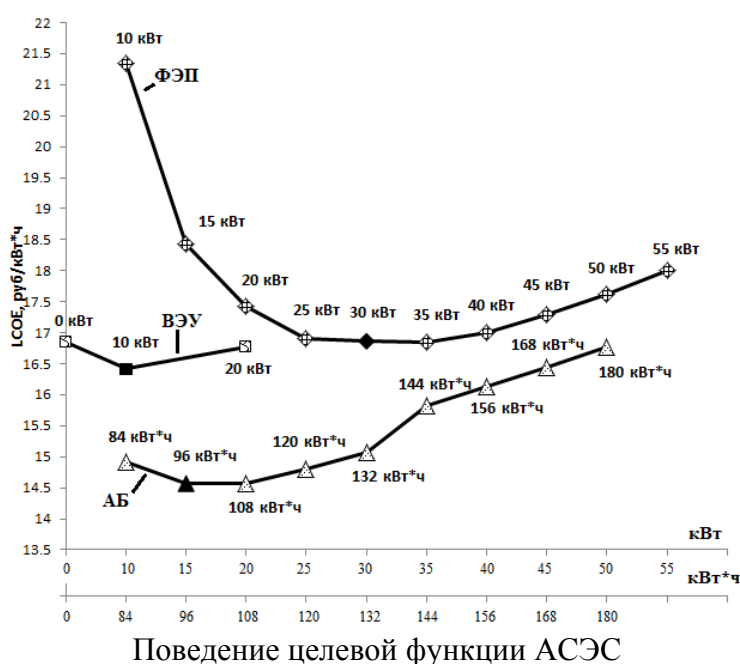
На рисунке показано поведение целевой функции на шагах покоординатного спуска.

1 – первый шаг (оптимизируется установленная мощность ФЭП при установленной мощности ВЭУ равной нулю и емкости АБ – 180 кВт\*ч)

2 – второй шаг (оптимизируется установленная мощность ВЭУ при установленной мощности ФЭП 30 кВт и емкостью АБ – 180 кВт\*ч)

3 – третий шаг оптимизируется установленная емкость АБ при установленной мощности ФЭП 30 кВт и ВЭУ равной 10 соответственно.

Дальнейшее повторение оптимизации ФЭП не дало улучшения целевой функции.





Согласно полученным результатам, оптимальной технологией производства электроэнергии для АСЭС «Алысардах» является фото-ветро-дизельный комплекс генерации с аккумуляторными батареями (ФЭП-ВЭУ-ДГУ-АБ), включающий следующее количество элементов: 120 ФЭП, 1 ВЭУ, 40 АБ, 2 ДГУ.

В оптимальном варианте предусмотрена установка сетевого оборудования (сетевые, батарейные инверторы) общей стоимостью 0,406 млн. рублей.

Среднегодовой расход дизельного топлива в оптимальном варианте (ФЭП-ВЭУ-ДГУ-АБ) составляет 3,5 тонны, капиталовложения 4,64 млн. рублей, при этом критерий экономической эффективности LCOE равен 14,56 руб./кВт\*ч.

В чисто дизельном варианте среднегодовой расход топлива составляет 13,9 тонны, капиталовложения 0,3 млн. рублей, а LCOE равен 27,81 руб./кВт\*ч.

### Выводы

1. Представлена методика оптимизации АСЭС, использующей ВИЭ и АБ. На основании описанной методики реализован расчетный комплекс. Разработанный расчетный комплекс позволяет решать задачи структурной оптимизации, а именно, нахождение оптимального соотношения генерирующих мощностей, выбора оптимального единичного типоразмера оборудования и установленных мощностей элементов силовой электроники, трансформации и распределения.

2. Применение разработанной методики демонстрируется на примере АСЭС «Алысардах». Итоговые результаты показывают, что комбинированное применение ФЭП-ВЭУ-ДГУ-АБ обеспечивает получение наиболее дешевой электроэнергии за счет сокращения расхода дизельного топлива по сравнению с существующим чисто дизельным вариантом.

### Список литературы

1. Майков И.Л., Директор Л.Б. Решение задач оптимизации и управления гибридными энергетическими комплексами в структуре распределенной генерации // Управление большими системами. 2011. V. 35. P. 250-264.
2. Сурков М.А., Пупасов-Максимов А.М., Чернов Д.Е. Применение экспериментального программного комплекса «Power System Simulation» и оценка возможности укрупненного зонирования территории РФ на оптимальные структуры комплексов с участием ВИЭ. 2013. V. 3. P. 1-9.
3. Rodolfo Dufo-López, José L. Bernal-Agustín, José M. Yusta-Loyo, José A. Domínguez-Navarro, Ignacio J. Ramírez-Rosado, Juan Lujano, Ismael Aso. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV–wind–diesel systems with batteries storage // Applied Energy. 2011. V. 88. P. 4033-4041.
4. Minna Ranjeva, Anil K. Kulkarni. Design Optimization of a Hybrid, Small, Decentralized Power Plant for Remote/Rural Areas // Energy Procedia. 2012. V. 20. P. 258-270.
5. Архив климатических данных [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rp5.ru>
6. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
7. Peter Musgrove. Wind Energy. // Cambridge university press, 2010. 323 p.
8. Стычинский З.А., Воропай Н.И. Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика. Магдебург – Иркутск, 2010. 215 с.
9. Tremblay O., Dessaint L. Experimental validation of a battery dynamic model for EV application // World Electric Vehicle Journal. 2009. V 3. P.1-10.
10. Erkan Dursun, Osman Kilic. Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2012. V. 34. P. 81-89.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ НЕТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОБИЛЬНЫХ  
ДЕРИВАЦИОННЫХ МКГЭС И СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ  
MATHEMATICAL MODELLING AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF  
NON-STANDARD ELEMENTS OF MOBILE MICRO-HYDROELECTRIC POWER  
PLANT OF DERIVATIVE TYPE AND FACILITIES ENGINEERING PROTECTION**

**Кашарин Д.В.**

ООО «Импульс», г. Новочеркасск, Россия

**Kasharin D. V.**

JSC Impuls, Novocherkassk, Russia

В настоящее время актуальным является вопрос децентрализованного водо- и энергоснабжения сезонно-действующих потребителей с малой энергоёмкостью за счёт использования ресурсов малых горных рек гидроэнергетический потенциал которых практически не используется. Нами разработано новое техническое решение мобильной деривационной микроГЭС (МДМкГЭС), обеспечивающее большую надёжность по сравнению с рукавными микроГЭС в условиях сложного рельефа местности и более широких диапазонах напоров от 10 до 500 м и мощности от 5 до 100 кВт. К преимуществам МДМкГЭС перед постоянными деривационными ГЭС относится: снижение затрат на возведение деривационного водовода и сооружений по его трассе; возможность возведения без применения тяжелой строительной техники, устройство вспомогательных объектов инфраструктуры [1].

Новизна технического решения заключается в применении сооружений головного гидроузла (ГГУ), инженерной защиты и составного деривационного водовода (ДВ) из гибких и жестких композитных материалов, что позволяет использовать ресурсы малых горных рек для водо- и энергоснабжения децентрализованных объектов малой энергоёмкости. За счёт применения составного деривационного водовода МДМкГЭС и конструкций по его закреплению, он может применяться в условиях сложного рельефа местности (рис. 1, 2) [2].

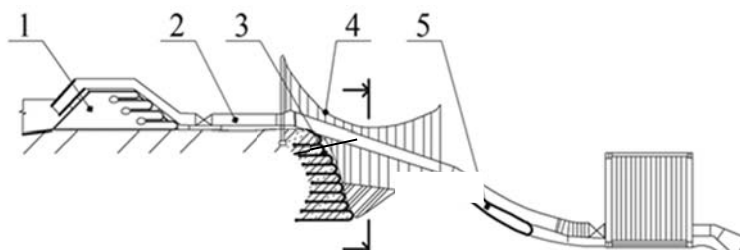


Рис. 1. Общая схема МДМкГЭС: 1 – водоподпорное сооружение ГГУ; 2 – ДВ; 3 – подпорная стенка; 4 – вантовая система закрепления ДВ; 5 – грутонаполняемое сооружение по трассе ДВ; 6 – грунтоармированное подпорное сооружение

Для выбора вариантов компоновки МДМкГЭС и параметров, составляющих её элементы необходимо создание ММ и проведение экспериментальных исследований нетиповых элементов нового технического решения. К нетиповым элементам относятся: водоподпорные сооружения головного гидроузла (ГГУ) (мембранно-вантовые плотины; грунтоармированные плотины); гибкий участок деривационного водовода (ДВ); вантовая система для закрепления ДВ; сооружения инженерной защиты (грунтоармированные подпорные стены; замкнутые и незамкнутые грутонаполняемые конструкции). При создании МДМкГЭС используем ММ с системным подходом. Нетиповые элементы МДМкГЭС составляют из отдельных подсистем, а затем

интегрируют их в общее сооружение с учётом выбора типовых элементов. Каждая из подсистем имеет свои целевые функции, критерии выбора и диапазон параметров. Далее приведена обобщённая структура оптимизационной ММ МДМкГЭС (рис. 3).

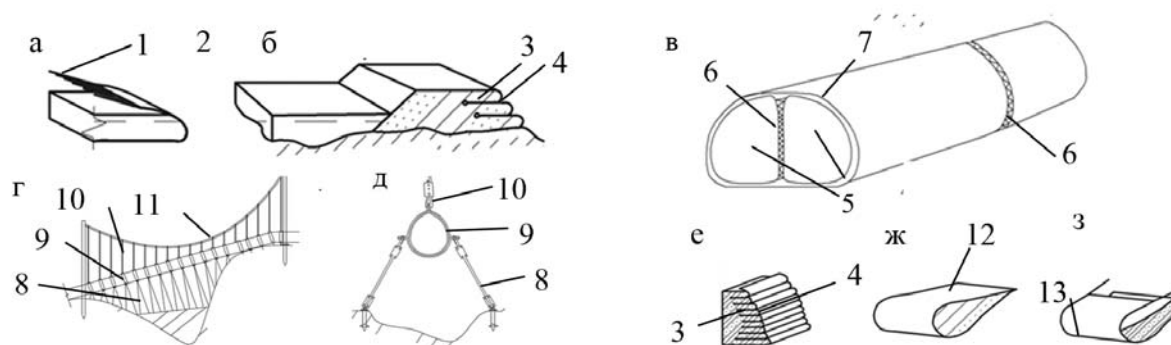


Рис.2. Нетиповые элементы МДМкГЭС: а, б – соответственно, мембрано-вантовая и грунтоармированная плотины; в – гибкий участок ДВ; г, д – соответственно, общий вид вантовой системы для закрепления ДВ и её поперечный разрез; е, ж, з – соответственно, грунтоармированная подпорная стенка, замкнутые и незамкнутые грунтонаполняемые конструкции по трассе ДВ: 1 – вантовая ферма; 2 – незамкнутая водоподпорная оболочка; 3 – армоленты; 4 – лицевая стенка; 5 – внутренняя водонаполняемая оболочка; 6 – гибкие связи; 7 – внешняя оболочка; 8, 10 – ваны - оттяжки; 9 – обечайка; 11 – ванта-подбор; 12, 13 – соответственно, замкнутая и незамкнутая грунтонаполняемые оболочки

Создание ММ имеет общую цель -Ц, которая формирует ряд исходных требований - Т и критериев выбора - КВ. На основании исходных требований создают отдельные подсистемы – П, из которых затем формируют группу элементов – Э. Конечная ММ представляет собой набор взаимосвязанных элементов, полученных на основании выбора - В по заранее сформированным критериям. Исходные данные – Д определяют на стадии формирования исходных требований и дополнительно на стадии формирования элементов ММ МДМкГЭС.

При создании оптимизационной ММ использован априорный метод. В данном методе многокритериальная задача оптимизации сводится к однокритериальной с помощью замены векторного критерия оптимальности, состоящего из нескольких частных критериев целевой функцией. Минимум целевой функции с учетом назначаемых ЛПР ограничений принимается оптимальным решением [3-5].

Выбор оптимальных параметров МДМкГЭС заключается в рассмотрении множество вариантов альтернативных решений компоновки элементов, состоящих их замкнутых и незамкнутых оболочек из композитных материалов, характеристик различных заполнителей, проводится их сравнение с традиционными элементами [2].

Структура многоступенчатой оптимизации МДМкГЭС построена по агрегатному принципу [5-7]. На первом этапе задаются гидрологические, гидрогеологические и морфологические характеристики водного объекта; его расположение. При этом задают основные критерии и ограничения, применяемые для выбора компоновки и параметров сооружений (конструкций) [5]. На втором этапе происходит выбор трассы ДВ и его компоновки. Окончательный выбор значений параметров какого-то определенного элемента сооружения возможен только после его параметрической оптимизации на 3-м и 4-м уровнях, поскольку данные, полученные при оптимизации его параметров, могут быть существенно отличны от результатов предварительного экспресс-расчёта.

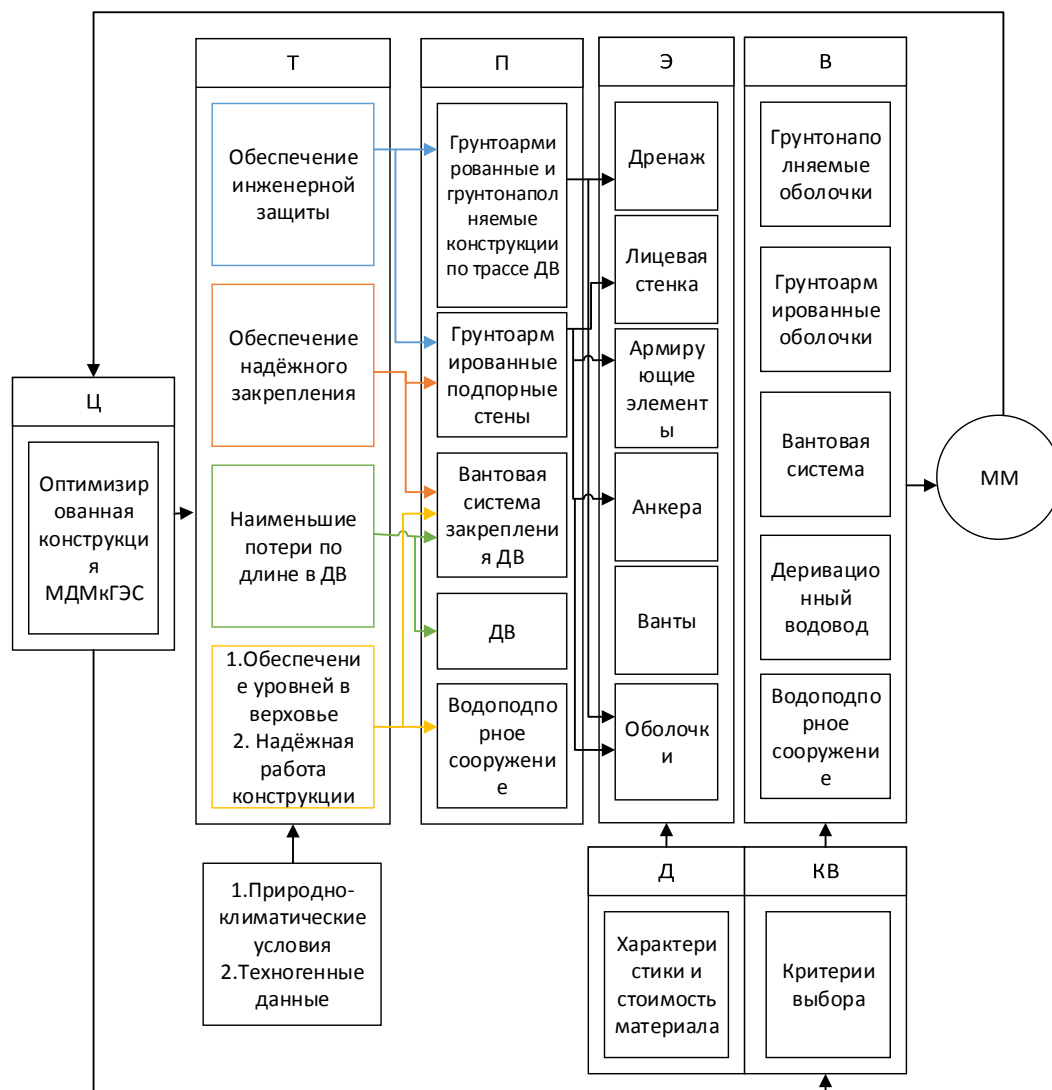


Рис. 3. Обобщенная структура оптимизационной ММ МДМкГЭС

Для выбора окончательного проектного решения на 4-м уровне оптимизации, обоснованного на предыдущих этапах, определяют параметры сооружения с применением программных модулей, а также программ, использующих методы численного моделирования Ansys 15, Plaxis и др. На этом уровне выполняют окончательный выбор технических решений нетиповых элементов МДМкГЭС, подбор типовых и окончательный расчет параметров МДМкГЭС.

На пятом уровне производят окончательный расчёт выбранного сооружения (конструкции) с выводом его параметров.

Наиболее сложной задачей является определение напряженно-деформированного состояния (НДС) нетиповых элементов МДМкГЭС, включающих замкнутые и незамкнутые оболочки (мембраны) из композитных материалов, работающих в области больших деформаций. Для определения НДС замкнутых и незамкнутых оболочек из композитных материалов на основе экспериментальных исследований с использованием методов телеметрии получены эмпирические зависимости. Это позволило проверить достоверность применяемых в настоящее время аналитических зависимостей и результаты численного моделирования оболочек с учетом гидродинамического воздействия, а также получить уточненные уравнения для расчёта гибкого участка ДВ МДМкГЭС и сооружений инженерной защиты.

Для повышения устойчивости гибких участков ДВ было предложено использование двухоболочковой конструкции (рис. 2, в). На лабораторном стенде (рис. 4) были проведены экспериментальные исследования однооболочкового и двухоболочкового водовода с диаметрами 50, 100, 150 мм, выполненными из ткани Unisol 650. Расход подаваемый через ДВ находился в диапазоне от 2 до 23 л/с.

Испытательный стенд, представленный на рис. 4 представлял собой 13 метровый лоток с переменным углом наклона от 10 до 18°. На лоток испытательного стенда размещалась физическая модель однооболочкового и двухоболочкового ДВ (рис. 5, а, б). Определялись геометрические параметры ДВ по пяти створам, давление с помощью пьезометров, расход с помощью ультразвукового расходомера, а также напряженно-деформированное состояние (НДС) с использованием метода телеметрии с использованием высокоскоростных камер (рис. 5, в, г).

При проведении измерений НДС на физической модели гибкого участка ДВ была подготовлена поверхность стохастической пиксельной матрицы посредством последовательное нанесение фона белой краской и черных точек-маркеров. После калибровки и обработки посредством программного обеспечения Vic3D были определены следующие данные по гибкому ДВ: перемещение по трем осям деформации:  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{yy}$ ,  $\varepsilon_{xy}$ ; главным осям деформации  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ; критерии деформации и напряжений Вон Мизеса.

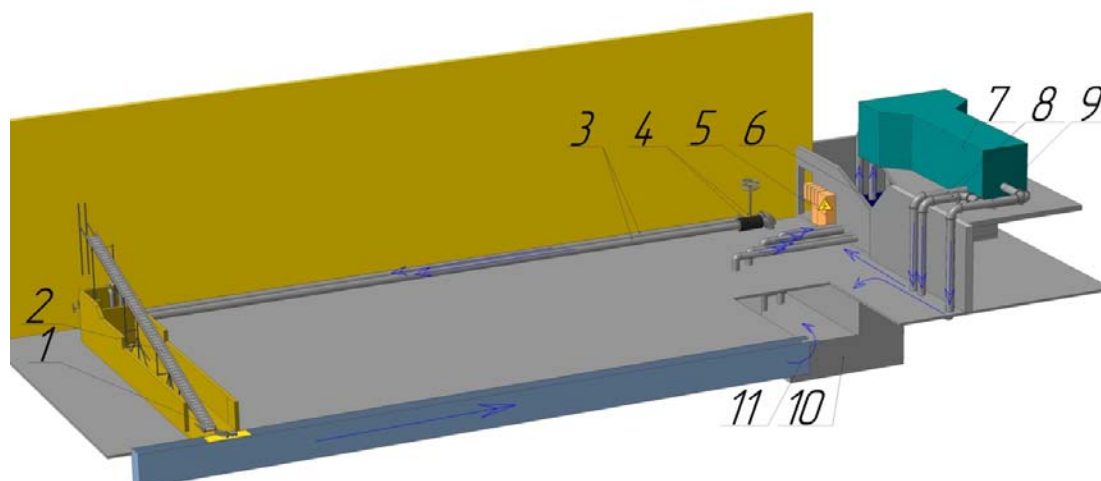


Рис. 4. Схема испытательного стенда: 1 – наклонное основание, 2 – магистральный трубопровод; 3 – задвижки магистрального трубопровода; 4 – энергоблок; 5 – насосная станция; 6 – бак постоянного напора; 7, 8 – трубы подводящие воду к магистральному трубопроводу; 9 – водосбросная труба; 10 – циркуляционный бак; 11 – водосбросная галерея

Наиболее обобщённым является критерий фон Мизеса, полученный из анализа энергии сдвиговой деформации [7]:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_y^2$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  – главные напряжения;  $\sigma_y$  – напряжение в ДВ в поперечном сечении оболочки.

Данный критерий является наиболее показательным при оценке надежности работы гибкого деривационного водовода. Ниже представлены результаты измерения напряженно-деформированного состояния физической модели однооболочкового и двухоболочкового деривационного водовода.

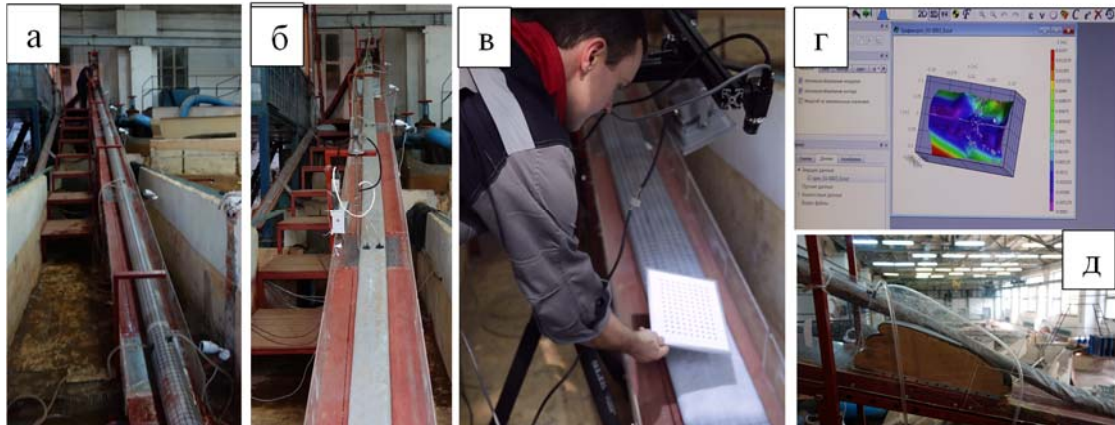


Рис. 5 – Экспериментальные исследования НДС гибкого участка физической модели ДВ  
 а – исследование однооболочкового ДВ диаметром 150 мм; б – исследование двухоболочкового деривационного водовода; в – калибровка маркеров при измерении деформаций гибкого участка деривационного водовода методом телеметрии; г - результаты измерения деформации; д испытание грунторамированной конструкции по трассе деривационного водовода

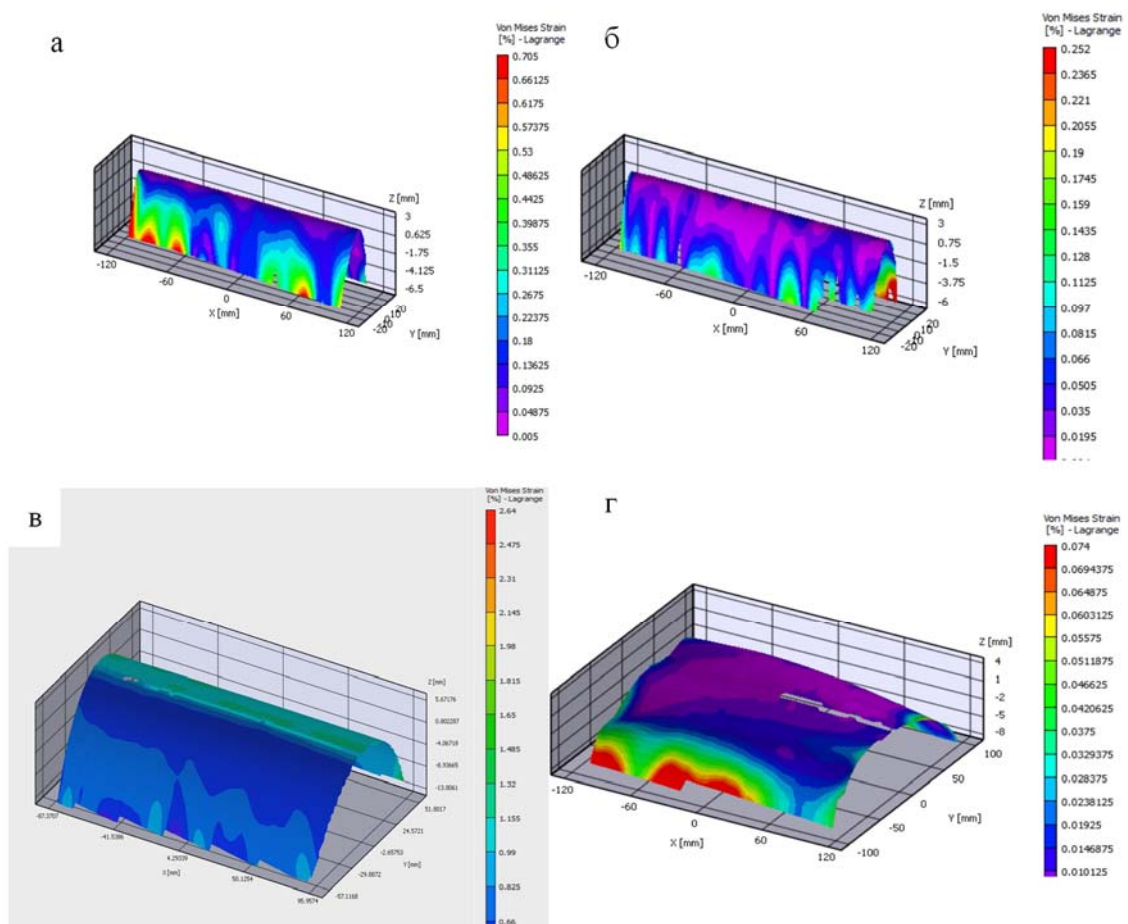


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований НДС на физической модели ДВ (представлены напряжения по критерию фон Мизеса, выраженные в %)  
 а, б – соответственно однооболочковый и двухоболочковый водовод диаметром 50 мм при расходе 14 л/с и давлении 50МПа; в, г – соответственно однооболочковый и двухоболочковый водовод диаметром 150 мм при расходе 23 л/с и давлении 50 МПа.

Как видно из рисунка 6 при использовании двухоболочковой конструкции ДВ можно снизить в 3...4 раза максимальные напряжения, действующие на материал оболочки, а значит повысить надежность ДВ и снизить себестоимость материала для его изготовления.

Для защиты ДВ по трассе, на опасных участках, предусматривают установку грунтоармированных конструкций (рис. 2, е). Для моделирования этих конструкций были изготовлены их физические модели (рис. 5, д). Определялись такие показатели, как деформация лицевой стенки, напряжение в материале грунтоармированной конструкции.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости и коэффициенты, позволяющие рассчитать диапазоны армирования (высоту армирования  $y_a$ ,  $h$  – шаг армирования и длину  $l$ ) для насыпных грунтов и оценить в баллах надежность грунтоармированной конструкции целом  $B$ .

Далее проводятся эмпирические зависимости влияния параметров армирования, полученные по результатам экспериментальных исследований:

$$B = [2 \cdot 10^6 y_a^2 + 2 \cdot 10^6 y_a + 393148] \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2 + [-173800 y_a^2 + 242219 y_a - 40411] \times \\ \times \left(\frac{h}{l}\right) + [-6772,8 y_a^2 + 4982,9 y_a - 2338,2];$$

Результаты ММ МДМкГЭС будут использованы с учетом экспериментальных исследований при корректировке разработанного технического решения и создании опытно конструкторской документации для опытной установки МДМкГЭС.

#### Список литературы

1. Заявка на изобретение № 2015106761 2015106761 от 26.02.2015 года «Составной деривационный водовод и способ его возведения»
2. Кашарин, Д.В. Использование для мобильных деривационных гидроэлектростанций трубопроводов из композитных материалов Д.В. Кашарин, Т.П. Кашарина, П.А. Годин, М.А. Годин // Гидротехническое строительство. 2014. № 10. С. 32-37.
3. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации: учебник [Книга] / ред. С.В. Зарубин. - Москва : МГТУ, 2003.
4. Воронцов Г.В. Лисовская Г.Г., Петров И.А. Методы расчета и оптимизации натяжения и температуры ленточных композитных материалов при намотке оболочек вращения: учеб. пособие для вузов. - Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2010. 104 с.
5. Кашарин Д. В. Защитные инженерные сооружения из композитных материалов в водохозяйственном строительстве / Д. В. Кашарин // Министерство образования и науки Российской Федерации; Южно-Российский государственный технический университет (НПИ). - Новочеркасск, 2012. – 51-119 с.
6. Кашарин Д. В. Использование для мобильных деривационных гидроэлектростанций водоводов из композитных материалов / Д. В. Кашарин и др. // Гидротехническое строительство. – 2014. - №10. - С. 32-37.
7. Кашарин Д. В. Многокритериальная оптимизация параметров мобильных водоподпорных конструкций сооружений инженерной защиты из композитных материалов / Д. В. Кашарин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2011. - № 23. - С. 145-155.



## ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

<sup>1,2</sup>Киселева С.В., <sup>1</sup>Фрид С.Е., <sup>1</sup>Коломиец Ю.Г., <sup>1</sup>Лисицкая Н.В.  
<sup>1</sup>ОИВТ РАН, Москва, РФ, <sup>2</sup>МГУ им. Ломоносова, Москва, РФ

Для выявления возможностей использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и развития возобновляемой энергетики на заданной территории необходимо максимально качественно и точно оценить ресурсы различных видов ВИЭ. В настоящей работе акцент сделан на проблемах оценки ресурсного потенциала солнечной энергии<sup>1</sup>.

При оценке ресурсов солнечной энергии для целей проектирования фотоэлектрических станций и солнечных водонагревательных установок необходимы исходные данные о приходящей солнечной радиации, причем точность моделирования определяется точностью, а также «скважностью» значений (территориальной и временной частотой или сеткой данных). Как показывает анализ результатов моделирования солнечных установок и история развития инструментов моделирования, необходимыми являются часовые суммы солнечной радиации, учитывающие угол наклона приемной поверхности. В отсутствие таких данных используются среднесуточные (среднедневные), среднемесячные, в крайнем случае, – среднегодовые значения падающей солнечной радиации. Помимо временного распределения важно рассмотреть проблему пространственного обеспечения данными оценки ресурсов солнечной энергии.

Как указывалось в [1], определить падающую солнечную радиацию в заданной точке можно несколькими методами:

- аналитическим (необходимые параметры для конкретной географической точки определяются расчетным путем);
- многолетними наземными измерениями в заданной точке;
- математическим моделированием распространения солнечной энергии в атмосфере на основе спутникового мониторинга и наземных данных.

В фундаментальном исследовании [2] и более ранних работах тех же авторов приведен широкий спектр методов, позволяющий аналитически оценить суммы падающей солнечной радиации. Аналогичные методики были развиты в [3, 4] для территории СССР.

Помимо расчетов на основе радиационных данных, в [2] изложены и проиллюстрированы полезными примерами аналитические методы оценки различных составляющих суммарного солнечного излучения (прямая, рассеянная радиация) в пределах часов, дней, месяцев, а также падающая радиация на наклонные поверхности при различных типах рассеяния (изотропное, анизотропное). Эти – и в целом все методы аналитических расчетов – имеют значительную погрешность. Однако они дают не только возможность проведения первичных оценок, но предоставляют основу для разработки математических моделей падающей солнечной радиации в различных точках и климатических условиях<sup>2</sup>.

Многолетние актинометрические наблюдения являются преимущественными (с точки зрения точности, номенклатуры и длительности рядов) источниками данных о падающей солнечной радиации. Результаты обработки измерений приводятся в печатных изданиях (бюллетени, справочники) и в виде электронных баз данных (БД) с

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14.50-01-24.

<sup>2</sup> Специалисты приводят, в частности, следующий довод к использованию указанных подходов: хоть аналитические методы лучше всего работают при ясном небе, именно в этих условиях солнечные установки дают наибольшую отдачу.



различной степенью доступа (открытые, коммерческие). Для России в настоящее время доступны осредненные данные актинометрических станций СССР за периоды 1930-1980 гг, опубликованные в Справочнике по климату СССР, Научно-прикладном справочнике по климату СССР [5, 6] и ряде подобных изданий, в том числе региональных [7]. Кроме того, результаты наблюдений актинометрических станций РФ (и мира) аккумулированы в архивах Мирового центра радиационных данных ГГО им. А.И. Воейкова: МЦРД предоставляет данные в свободном доступе [8]. Ряд зарубежных электронных баз данных, имеющих выход в интернет, также предоставляет результаты актинометрических наблюдений на территории бывшего СССР: в открытом (RETScreen [9], NASA SSE [10]) или в коммерческом доступе (Meteonorm [11], 3TIER [12])<sup>3</sup>.

Наземные актинометрические измерения обеспечивают достоверные данные, по своей номенклатуре практически достаточные для проведения оценок производительности солнечных установок<sup>4</sup>. Проблемой является незначительное количество актинометрических станций на территории России. В связи с этим можно прибегнуть к методам экстраполяции и интерполяции данных актинометрических станций. Методы и оценки погрешностей интерполяции/экстраполяции были рассмотрены в работах специалистов ГГО им. А.И. Воейкова [3, 4]. Показано, что данные измерений с приемлемой погрешностью могут распространяться на расстояние не более 100-130 км от метеостанции.

Для решения проблемы недостаточности наземных данных о ресурсах солнечной энергии в последние десятилетия все шире стали использоваться математическое моделирование и восстановление данных. В качестве таковых можно рассматривать, во-первых, реанализ, который широко применяется в метеорологии, климатологии, океанологии и других областях. В настоящее время как в данных NCEP-реанализа [13], так и в ERA-реанализе [14] представлены данные о падающей солнечной радиации на сетке с высоким разрешением. На основе восстановления данных на регулярной сетке была разработана глобальная по охвату база данных NASA SSE (БД NASA Surface meteorology and Solar Energy) [10], которая широко используется в настоящее время при прогнозировании и проектировании в солнечной энергетике. Краткая характеристика БД NASA SSE, в том числе верификация данных для территории России, проводилась нами ранее в [1, 15, 16]. С использованием данных NASA SSE были построены карты распределения ресурсов солнечной энергии по территории РФ [1] и, позднее, рассчитаны их валовой и технический потенциалы для различных регионов страны. Алгоритм расчета потенциалов представлен в [17], пример карты распределения потенциалов солнечной энергии по регионам России приведены на рисунке.

Удобство использования БД NASA SSE определяется ее выраженной специализацией: номенклатура характеристик солнечной радиации соответствует потребностям современной солнечной энергетике.

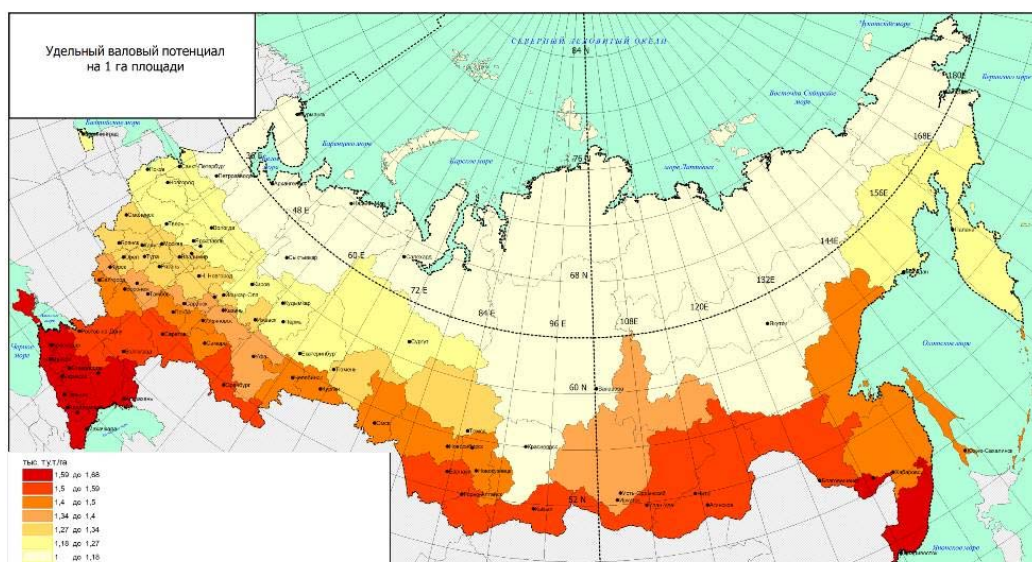
Широкий спектр источников данных представлен на электронных ресурсах Solar Energy Services for Professionals (SoDa) [18], Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) [19] и других. Особенно следует отметить в качестве концентрированного информационного источника атлас IRENA [20], где содержится широкий набор интерактивных карт, ссылки на источники фактических данных о ресурсах различных

<sup>3</sup> Зачастую источником этих данных является МЦРД, на электронный архив которого делается ссылка.

<sup>4</sup> На актинометрических станциях, как правило, не проводят измерения солнечной радиации на поверхности, ориентированные не горизонтально, а именно они представляет интерес для солнечной энергетике. Этим определяется задача пересчета поступления солнечной радиации на различным образом ориентированные поверхности [2].

видов ВИЭ, а также (в некоторых случаях) – средние значения падающей солнечной радиации данные для выделенных точек, скорости ветра и иных составляющих ресурсов ВИЭ.

В рамках активно развиваемого проекта NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) в открытом доступе предоставляются *суточные* значения (включая суммарную солнечную радиацию на верхней границе атмосферы и на уровне Земли, нисходящий поток длинноволновой солнечной радиации, скорость ветра на высоте 10 м) с разрешениями  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  и  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$  для каждого дня (суток) с 1983 г. по настоящее время. Таким образом, возникает возможность использовать при моделировании и проектировании солнечных установок многолетние последовательности суточных сумм солнечного излучения и других климатических параметров. Использование при моделировании многолетних рядов суточных данных открывает новые возможности по сравнению с генерацией «метеогодов» на основе среднемесячных значений радиации, особенно для автономных солнечных установок, на работу которых оказывают существенное влияние редкие, но сильные отклонения климатических параметров от многолетних средних значений.



### Распределение валового потенциала солнечной энергии по территории России

Таким образом, проблема недостаточности данных для оценок ресурсов солнечной энергии, проектирования и прогноза производительности солнечных энергоустановок в настоящее время решается путем активного развития методов математического моделирования и использования спутникового мониторинга состояния атмосферы. Полученные актинометрические и метеорологические данные предлагаются в открытом доступе, или на условиях коммерческого договора через сеть интернет. В настоящее время на основе баз данных проекта NASA POWER созданы локальные базы данных для территории РФ, проводится их верификация по данным МЦРД и ВНИИГМИ.

### Список литературы

1. Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Киселева С.В., Терехова Е.Н. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. М.: Изд-во МФТИ. 2010. 83 с.
2. Основы солнечной теплоэнергетики. Учебно-справочное руководство/ Даффи Дж., Бекман У., пер. с англ. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект» – С. 64-167.

3. *Пивоварова З.И.* Радиационные характеристики вычислений. – Л.: Гидрометеиздат. 1977. 335 с.
4. *Пивоварова З.И., Стадник В.В.* Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 291 с.
5. Справочник по климату СССР. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеиздат, 1967.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
7. Справочник эколого-климатологических характеристик г. Москвы (по данным Метеорологической обсерватории МГУ). Том 1. Солнечная радиация, солнечное сияние. Метеорологические элементы и явления. Характеристики пограничного слоя атмосферы. – М.: Изд-во Моск. Ун-та. 2003. С. 35-87
8. Мировой центр радиационных данных [Электронный ресурс] – [http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwrootnew/wrdc\\_ru\\_new.htm](http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwrootnew/wrdc_ru_new.htm) (дата обращения 21.04.15).
9. RETScreen International // Renewable energy decision support center [Электронный ресурс] – <http://www.retscreen.net/ang/databases.php> (дата обращения: 20.04.2015).
10. NASA Surface meteorology and Solar Energy // Atmospheric science data center. [Электронный ресурс]. – <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (дата обращения: 15.04.2015).
11. Meteororm [Электронный ресурс] – <http://meteororm.com/> (дата обращения: 18.04.2015).
12. 3TIER // Renewable Energy Assessment and Forecasting [Электронный ресурс] – <http://www.3tier.com/en/> (дата обращения: 18.04.2015).
13. The NCEP/NCAR Reanalysis Project [Электронный ресурс] – <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/> (дата обращения: 14.04.2015).
14. ERA Interim reanalysis system [Электронный ресурс] – [http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim\\_full\\_daily/](http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim_full_daily/) (дата обращения: 14.04.2015).
15. *Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Киселева С.В., Лисицкая Н.В.* Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных): Учебное пособие. М.: Изд-во МФТИ. 2010, 56 с.
16. *Гридасов М.В., Нефедова Л.В., Попель О.С., Фрид С.Е.* Разработка геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии России»: постановка задачи и выбор методов// Теплоэнергетика. 2011. № 11. С. 38-45.
17. *Киселева С.В., Попель О.С., Коломиец Ю.Г.* Оценка ресурсов солнечной энергии Центральной Азии// Гелиотехника. 2015. №3. С.69-74.
18. SoDa // Solar Energy Services for Professionals [Электронный ресурс] – <http://www.soda-is.com/eng/index.html> (дата обращения: 20.04.2015).
19. SWERA // Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) [Электронный ресурс] – <http://maps.nrel.gov/SWERA> (дата обращения: 20.04.2015).
20. Global Atlas for Renewable energy IRENA [Электронный ресурс] – <http://irena.masdar.ac.ae/#> (дата обращения: 02.04.2015).
21. И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро — Справочник по проектированию электрических сетей/ Издание 4-е, переработанное и дополненное/ Москва «Энас». 2012. 376 стр.
22. Salas V, Alonso-Abella M., Chenlo F., Olias E. Analysis of the maximum power point tracking in the photovoltaic grid inverters of 5kW //Renewable Energy. 2009. V. 34. P. 2366–2372.

**СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ ОПРОС «ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ  
НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ К ВОПРОСУ РАЗМЕЩЕНИЯ  
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ»  
SURVEY “RESEARCHING OF RUSSIAN RESIDENTS’ OPINION ABOUT WIND  
TURBINES’S INSTALLATION IN THE URBAN ENVIRONMENT”**

**Климов Е.И.<sup>1</sup>, Ежиков Н.И.<sup>2</sup>, Киричев А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск, <sup>2</sup>АО «ЭСК ЧТПЗ», г. Челябинск

**Klimov E.I.<sup>1</sup>, Egikov N.I.<sup>2</sup>, Kirichev A.V.<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup> SUSU(NRU), Chelyabinsk, Russia, <sup>2</sup> JSC «EC ChelPipe», Chelyabinsk, Russia

**Keywords:** survey, renewable energy sources, wind power, opinion

Вопрос размещения ветроэнергетической установки (ВЭУ) в городской среде вызывает ряд негативных ассоциаций: влияние шума и вибрации на население, блокирование территории, возникновение радиопомех и эстетическая неприязнь [1]. Но упомянутые недостатки исправимы и зависят от конструкции ВЭУ [2]. Вопрос блокирования территории мы предлагаем решать, размещая ВЭУ на инженерных конструкциях (кровлях зданий, мостовых конструкциях и др.). Для выявления отношения населения к размещению ВЭУ в городской среде проводилось исследование в форме опроса, распространяемом при помощи социальных сетей. Опрос был создан при помощи сервиса «Google Docs», и содержал ряд вопросов о респондентах (пол, возраст, образование и др.), а также вопросы об отношении к возобновляемой энергетике и размещению ВЭУ в городской среде. Вопросы были расположены согласно пяти принципам выделенных В.А. Ядовым [3]. Руководствуясь ими, были выбраны размеры вопросов и порядок их расположения (для распределения оказываемой на респондента нагрузки).

Рассмотрим результаты опроса. По данным на 2 октября 2015 года было получено 246 ответов. На вопрос «Ваше отношение к возобновляемой энергетике?» респонденты ответили в большей степени «положительно», соотношение ответов представлено на рисунке 1. В «другие» вошли ответы, которые условно можно разделить на: «положительное»; «скептическое»; «промежуточное».

Следующим представим соотношение ответов на вопрос «Ваше отношение к размещению ветроэнергетических установок в публичных местах?», под публичными местами понимается размещение ВЭУ на крышах торговых центров, мостах и других инженерных конструкциях. Больше половины опрошенных ответили «положительно», соотношение ответов представлено на рисунке 2. В «другие» вошли ответы, в которых респонденты устанавливали условия касательно размещения установки:

1. Установка не должна наносить вред населению города (исключить влияние шума и вибрации).
2. Установка должна вписываться в архитектурный стиль города.
3. Исключить возможность размещения ВЭУ на архитектурных памятниках.

Среди респондентов выразивших отрицательное отношение к расположению ВЭУ в публичных местах преобладали обладатели технических специальностей (более 80%), в частности специалисты «традиционной» и ядерной электроэнергетики.

Схожее соотношение ответов и на вопрос «Ваше отношение к размещению ветроэнергетических установок на крышах жилых зданий?», рисунок 3. В «другие» ответы так же вошли выдвинутые при прошлом вопросе условия, плюс выдвинутое респондентами ограничение на установку ВЭУ только на многоэтажных зданиях. Респонденты, имеющие гуманитарные специальности, из числа ответивших «Другое»,

выдвигают требования по безопасности чаще, чем респонденты технических специальностей, что говорит о недостаточном уровне осведомленности населения касательно технических особенностей ВЭУ. Соотношение «традиционных» энергетиков выразивших отрицательное отношение к данному вопросу, из числа общего количества рецензентов, резко сократилось по сравнению с предыдущим вопросом.

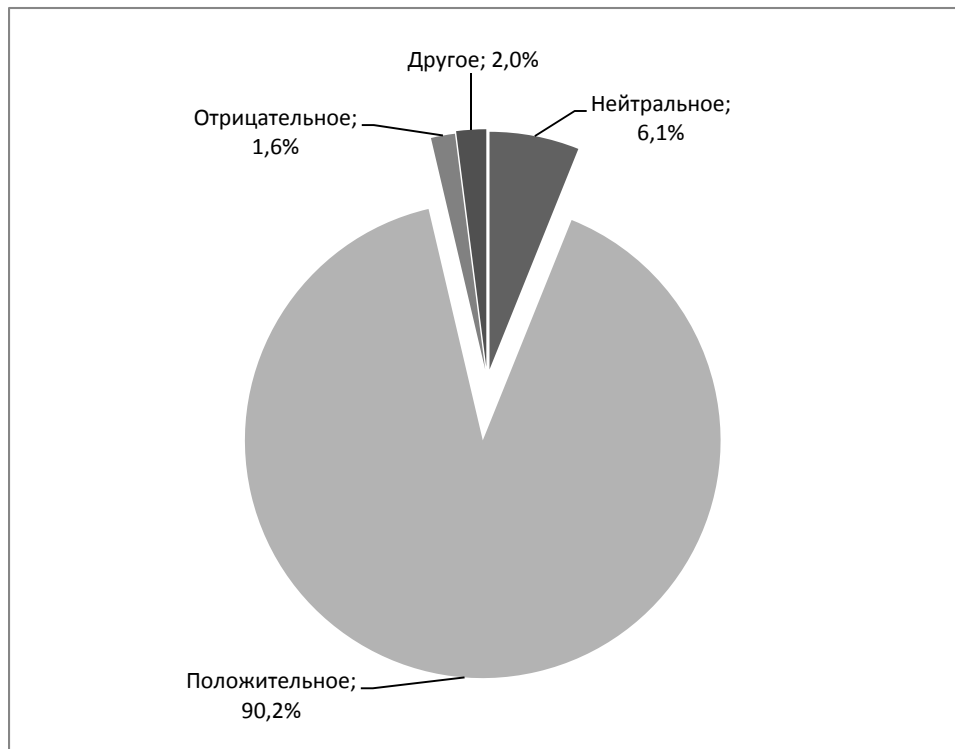


Рисунок 1. Соотношение ответов на вопрос «Ваше отношение к возобновляемой энергетике?»

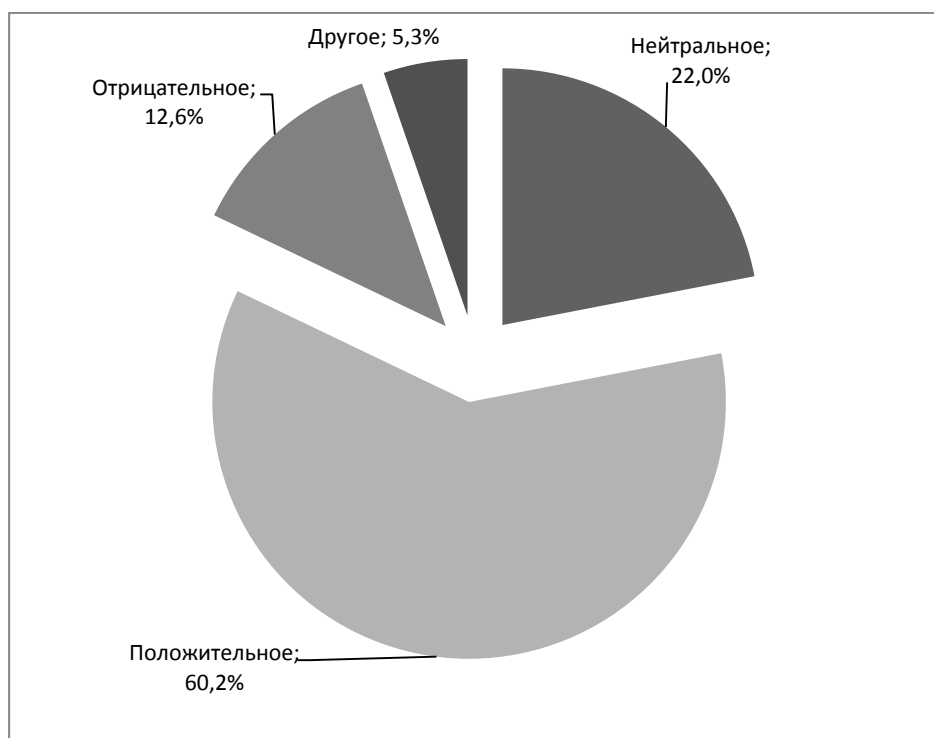


Рисунок 2. Соотношение ответов на вопрос «Ваше отношение к размещению ветроэнергетических установок в общественных местах?»

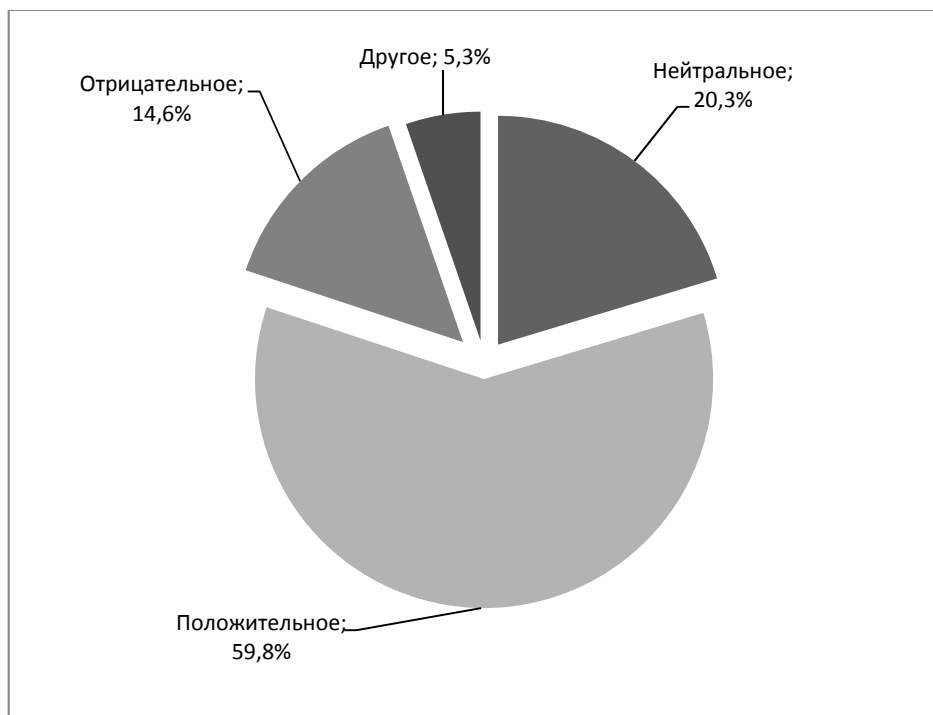


Рисунок 3. Соотношение ответов на вопрос «Ваше отношение к размещению ветроэнергетических установок на крышах жилых зданий?»

Далее мы хотим представить соотношение ответов на вопрос «Считаете ли Вы важным вопрос внедрения установок возобновляемой энергетики в России?», рисунок 4. Как видно из рисунка 4, респонденты считают что вопрос внедрения установок возобновляемой энергетики имеет большую важность в нашей стране. Результаты «других» ответов, в этом вопросе, склоняются в сторону положительного ответа.

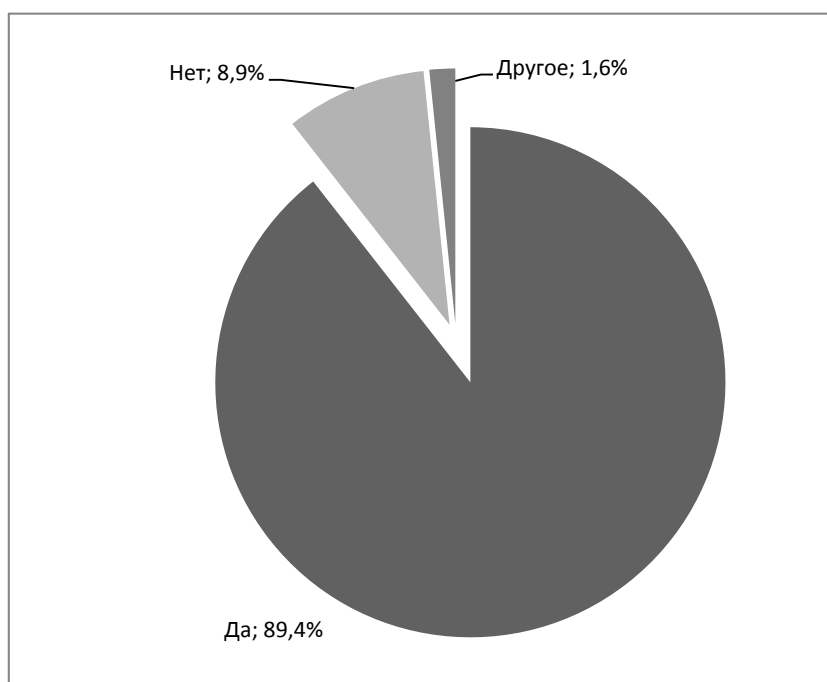


Рисунок 4. Соотношение ответов на вопрос «Считаете ли Вы важным вопрос внедрения установок возобновляемой энергетики в России?»

Среди респондентов преобладали мужчины ( $\approx 64,6\%$  опрошенных). Возраст опрошенных входит в диапазон от 14 до 53 лет, с преобладанием от 18 до 23 лет (активная интернет-аудитория). Из общего числа респондентов  $\approx 41,5\%$  опрошенных имеют высшее образование, в частности, среди опрошенных было выявлено 2 кандидата наук,  $\approx 49\%$  имеют неоконченное высшее образование. По специальностям респонденты были дополнительно распределены на три группы: «Техническая специальность», «Гуманитарная специальность» и «Нет», для респондентов, не выбравших свое направления учебы или работы. По количеству респондентов преобладает группа «Техническая специальность», зависимость можно пронаблюдать на рисунке 5. Исходя из соотношения можно сделать вывод, что рецензенты инженерных специальностей проявляют больший интерес к ветроэнергетике и возобновляемым источникам энергии.

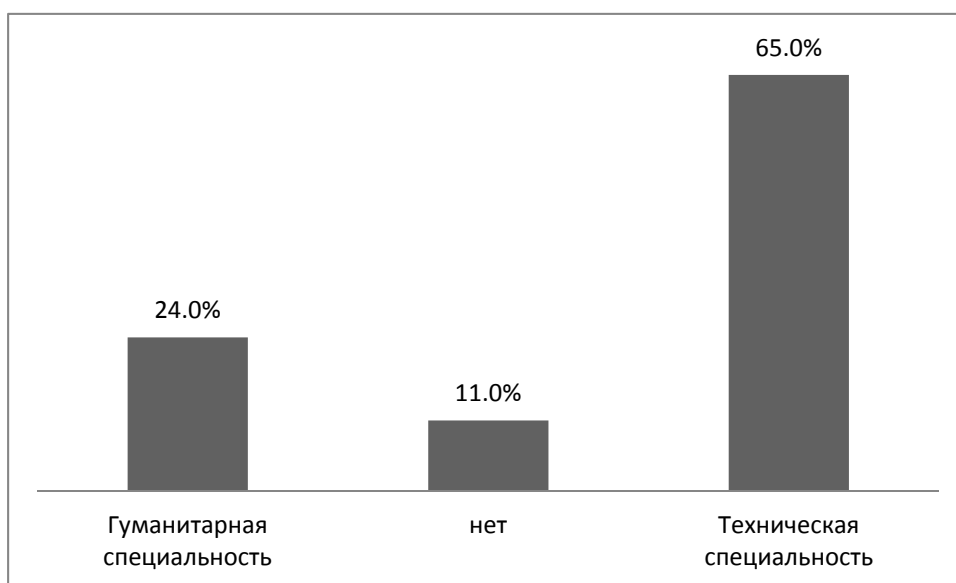


Рисунок 4. Соотношение респондентов по их специальности

Согласно комментариям респондентов, можно с уверенностью сказать, что большинство из них ассоциирует ВЭУ скорее с шумом и вибрацией, чем с проблемой визуального восприятия (хотя и эта проблема была поднята при ответах на вопросы, связанные с расположением ВЭУ в городской среде).

Результаты доказывают, что граждане РФ поддерживают инициативу размещения ВЭУ на инженерных сооружениях в городской среде. Это говорит о том, что эстетическая неприязнь к ВЭУ среди населения не имеет достаточной силы для препятствия их размещению в городской среде. Однако стоит уделить внимание условиям, выдвинутым респондентами при ответе на поставленные вопросы.

#### Список литературы

1. Колесникова, И.В. Эстетико-экологические проблемы ветроэнергетики // ВЕСТНИК ОГУ. 2013. - № 7 (156). С. 142-146.
2. Соломин, Е.В. Размещение ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения на ответственных инженерных объектах // Вестник ЮУрГУ. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – Вып. 11, 33(209). С.47–51.
3. Ядов, В.А. Социологическое исследование: методология, программа, методы. Самара: Самарский ун-т, 1995. – 328 с.

## ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КЫРГЫЗСТАНЕ

Коломиец Ю.Г.<sup>1</sup>, Киселева С.В.<sup>1</sup>, Попель О.С.<sup>1</sup>, Обозов А.Д.<sup>2</sup>, Исаев Р.Э.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Объединенный Институт высоких температур РАН (ИВТ РАН), Москва

<sup>2</sup> Институт дистанционного обучения и повышения квалификации КГТУ, Кыргызстан

Весь Центрально-азиатский регион и Кыргызстан, в частности, является одним из перспективных районов для эффективного использования солнечной энергии. Структуры энергетических балансов стран Центральной Азии различны. И если в Узбекистане, Туркменистане и Казахстане основой топливно-энергетического комплекса является углеводородное ископаемое топливо [1], то в Кыргызстане свыше 80% всей генерации энергии производится гидроэлектростанциями [2]. Развитие и модернизация системы энергоснабжения в Кыргызстане требует строительства передающих и распределительных сетей, что сопряжено с большими инвестициями в данный сектор экономики. В этих условиях представляется актуальным анализ альтернативных возможностей энергоснабжения, в том числе путем более широкого использования ресурсов местных возобновляемых источников энергии. В рамках данной работы рассматривается проблема адекватной оценки солнечных энергетических ресурсов на территории Кыргызстана с учетом доступных площадей для размещения энергосистем и установок.

### Оценка ресурсов солнечной энергии Кыргызстана

Оценка ресурсов солнечной энергии проводилась для показателей валового и технического потенциалов на основе информации взятой из базы NASA SSE [3]. Сама база и верификация ее данных подробно описывалась в [4, 5]. Эти работы показали, что погрешность данных базы NASA SSE составляет 10-15%, в том числе в условиях гор, что вполне приемлемо для инженерных расчетов эффективности использования солнечных установок и оценки потенциалов солнечной энергии.

Проведенные исследования [5] показали, что среднегодовые дневные суммы солнечной радиации, приходящей на неподвижную поверхность различной ориентации в Кыргызстане превышают 4 кВтч/(м<sup>2</sup>день) или около 1,5 МВтч/(м<sup>2</sup>год). В летнее время дневные суммы превышают 6,5 кВтч/(м<sup>2</sup>день). Эти показатели соответствуют наиболее благоприятным для использования солнечной энергии районам мира и превосходят показатели многих европейских стран, где солнечные установки нашли широкое практическое применение.

**Валовой потенциал возобновляемого источника энергии** – это средний годовой объем энергии, содержащийся в данном виде возобновляемого источника при полном ее превращении в полезно используемую энергию [6]. Валовой потенциал солнечной энергии  $P_{ВАЛ}$  на территории Кыргызстана был оценен на основе данных NASA SSE и представляет собой годовую сумму суммарной солнечной радиации, приходящей на площадь рассматриваемого района  $S$ :

$$P_{ВАЛ} = \frac{I}{8140} S, \text{ (т. у. т.)} \quad (1),$$

где  $I$  - сумма суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность за год (кВтч/м<sup>2</sup>). Поступление солнечной радиации пространственно неоднородно, поэтому для оценки валового потенциала был разработан следующий алгоритм расчета:

1. Поскольку в БД NASA значение, характеризующее солнечную радиацию, присваивается ячейке размером (1°×1° географической широты и долготы), территория рассматриваемого региона (страны) разбивается на такие ячейки.



2. Рассчитывается площадь каждой ячейки, с учетом изменения по широте.
3. На основе данных NASA SSE определяется годовое поступление суммарной солнечной радиации в данной ячейке. В не полностью «занятых» ячейках величина приходящей за год суммарной радиации рассчитывается с учетом площади территории, попадающей в нее.
4. Полученные значения годового поступления солнечной радиации суммируются по всем ячейкам, с учетом территориальных границ регионов (стран).

На основе приведенного алгоритма определен валовой потенциал солнечной энергии для территории Кыргызстана, который составил около 35 млрд. т у.т./год.

**Технический потенциал возобновляемого источника энергии** – часть валового потенциала, преобразование которой в полезно используемую энергию возможно при данном уровне развития технических средств и при соблюдении требований по охране окружающей среды [6]. Для его определения необходимо определить факторы, ограничивающие на заданной территории использование энергии солнца. В качестве наиболее значимых факторов были приняты следующие:

1. *Территория, на которой возможно устанавливать преобразователи солнечной энергии.* Поскольку для каждой категории земель применимы разные нормы строительства, нами были введены земельные коэффициенты. Они определяют долю площади каждой категории земель (и основных подкатегорий), которую можно использовать для размещения солнечных энергетических установок. На основе распределения земель по категориям [7], доля доступных земель для размещения солнечных установок в Кыргызстане была оценена нами как 0,016 от территории страны.

2. *Техническое совершенство преобразователей солнечной энергии.* В качестве основной характеристики этого фактора был принят средний к.п.д. преобразования энергии солнца в электрическую (14%) и тепловую (40%) энергию.

В результате технический потенциал солнечной энергии для территории Кыргызстана был определен с учетом валового потенциала солнечной энергии и указанных ограничивающих факторов:

$$P_{ТЕХ} = P_{ВАЛ} \times f(S, K_{зем}) \times \text{к.п.д. (эл. \times тепло)}, \quad (2),$$

где  $P_{ТЕХ}$  – технический потенциал,  $f(S, K_{зем})$  – функция, отражающая долю доступных территорий.

Учитывая возможное взаимное затенение приемников солнечной энергии, для расчета технического потенциала в качестве базовой величины (валового потенциала) принимались годовые суммы суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтально ориентированную поверхность.

Рассчитанный по вышеописанному алгоритму технический потенциал солнечной энергии Кыргызстана составляет для выработки электроэнергии около 700 млрд. кВтч/год, а для выработки тепла около 2 млрд. Гкал/год.

Отметим, что в настоящее время производство электроэнергии в Кыргызстане составляет около 13 млрд. кВтч в год (1,9% от технического потенциала солнечной энергии). При этом в Кыргызстане имеет место дефицит электроэнергии. Приведенные выше оценки технического потенциала показывают огромные ресурсные возможности солнечной энергии, однако, эти результаты требуют дальнейшей проработки с точки зрения оценки рентабельности производства энергии с помощью солнечных систем и определения рационального экономического потенциала использования солнечной энергии. Один из подходов к оценке экономической эффективности применения солнечных установок был описан в работе [8], где представлена инженерная методика и проведены прогнозные оценки среднемесячной производительности фотоэлектрической станции (ФЭС) на основе мультикристаллических фотоэлектрических модулей (ФЭМ) близ городов Бишкек и Ош. Ожидаемая стоимость вырабатываемой электроэнергии в

условиях Кыргызстана без учета затрат на обслуживание заемных средств на строительство ФЭС по выполненным оценкам может составить около 10 евроцентов/кВтч. Наибольший вклад в стоимость электростанции и, соответственно, в себестоимость произведенной электроэнергии вносит стоимость ФЭМ. Цены на ФЭМ в основном определяются степенью локализации, объемами и уровнем автоматизации производства, а также выбором поставщиков исходных материалов.

#### **Благодарность**

Исследование проводилось при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-08-90105)

#### **Список литературы**

1. Перспективы развития возобновляемой энергетики [Электронный ресурс] URL:<http://www.undp.uz/ru/publications/publication.php?id=79>
2. Электроэнергетика 2014 [Электронный ресурс] URL: <http://www.open.kg/about-kyrgyzstan/kyrgyz-economy/industry/1473-elektroenergetika.html>
3. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set [Электронный ресурс] URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
4. О.С. Попель, С.Е. Фрид, Ю.Г. Коломиец, С.В. Киселева, Е.Н. Терехова. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России Москва ОИВТРАН: 2010. С.81
5. С.В. Киселева, О.С. Попель, Ю.Г. Коломиец. Оценка ресурсов солнечной энергии Центральной Азии// Гелиотехника. 2015. №3. С.69-74.
6. ГОСТ Р 54531-2011
7. Земельный фонд Кыргызской республики 2014 [Электронный ресурс] URL: [http://www.gosreg.kg/index.php?option=com\\_content&view=article&id=114&Itemid=149](http://www.gosreg.kg/index.php?option=com_content&view=article&id=114&Itemid=149)
8. Киселева С.В.; Коломиец Ю.Г.; Попель О.С.; Тарасенко А.Б. Оценка эффективности фотоэлектрических станций в климатических условиях Кыргызстана// Альтернативная энергетика и экология №1, Научно-технический центр ТАТА 2015 г., С.14 – 25.

## АВТОНОМНАЯ ВЕТРОВАЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ИМПУЛЬСНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Кострица В.Н.<sup>1</sup>, Тарасенко А.Б.<sup>1</sup>, Туманов В.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

<sup>2</sup> – Общество с ограниченной ответственностью «Товарищество энергетических и электромобильных проектов», Москва, Россия

Наряду с ростом энергопотребления в последние годы неуклонно растет потребление пресной воды – как на питьевые нужды, так и в сельском хозяйстве для производства продовольствия. В настоящее время для ряда регионов мира пресная вода становится весьма ценным ресурсом для ряда регионов планеты. Помимо дефицита пресной воды во всех видах в ряде стран (например, на Африканском континенте), ситуация усугубляется засолением водоносных горизонтов близлежащими морскими водами [1] и ухудшением качества воды вследствие хозяйственной деятельности человека [2]. В настоящее время разработан ряд методов удаления из воды солей и других примесей, но все эти методы являются достаточно энергоемкими [3], поэтому в регионах с высоким потенциалом возобновляемых источников энергии (ВИЭ) целесообразно использовать именно их, либо их комбинацию с двигателями на органическом топливе, тем более что в пустынных районах бывает достаточно солнечных дней, а на островных территориях и морском побережье преобладают относительно высокие скорости ветра. Этими факторами и обусловлена мотивация исследования [4], направленного на оценку возможностей использования энергии ветра для получения пригодной для питьевых нужд воды. Тем не менее, проблема использования возобновляемых источников энергии на нужды опреснения воды требует особого подхода в силу стохастического характера выдачи мощности ветровыми и солнечными установками, а идея использования энергии биомассы или рек не имеет особого смысла – в районах с высоким потенциалом гидроэнергетики или большим количеством растительности проблема пресной воды обычно не стоит остро.

В работе [5] описан опыт применения возобновляемых источников энергии (ветра и солнца) для получения пресной воды на Канарских островах. Архипелаг состоит из семи островов, расположенных недалеко от Африканского побережья (Западная Сахара) и добыча пресной воды была одной из ключевых проблем с самого начала его освоения. Падение уровня грунтовых вод в силу их интенсивного использования в XX веке составило до 20 м/год. В настоящее время средняя глубина шахт для добычи воды составила 600 м, а протяженность горизонтальных галерей, отходящих от этих шахт – от 3,5 до 4,5 км (против 100 м в 1900 г). Два острова и вовсе снабжаются водой с помощью танкеров военно-морского флота Испании. Острова также не имеют электрических кабелей, соединяющих их с материком, равно как и единой централизованной сети всего архипелага, собственные источники ископаемого топлива также отсутствуют. Общая мощность генерации на всем архипелаге по состоянию на 2012 год составила 3163 МВт, из них 11% генерируется за счет возобновляемых источников, в том числе 145 МВт приходится на ветровую и 162 МВт – на солнечную энергетику, при этом последняя представлена преимущественно наземными солнечными электростанциями, доля индивидуальных крышных энергоустановок крайне мала. К 2015 г долю энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками, планируется довести до 30%.

В этих условиях использование опреснительных установок, в том числе и питаемых от солнечной и ветровой энергии, оказалось едва ли не единственным окном возможностей для развития сельского и жилищно-коммунального хозяйства островов. Роль опреснительных установок в жизни архипелага огромна – на одном из островов архипелага, Фуэртевентура, ресурсов грунтовых вод достаточно для обеспечения 10 000

человек, в то время как население острова сейчас составляет около 110 000 человек. Другой остров, Лансароте, покрывает 99% своей потребности в пресной воде от опреснительных установок. В 1990-е годы на архипелаге были представлены все технологии обессоливания воды. При этом установки на основе электродиализа и обратного осмоса использовались преимущественно для очистки сточных вод, солоноватых грунтовых вод и дождевой воды, в то время как мгновенное вскипание, многоступенчатые испарители и парокомпрессионные системы – для обработки морской воды, первые и вторые – на больших опреснительных заводах, третьи – на малых установках, преимущественно для водоснабжения отелей. Архипелаг является своеобразным полигоном по отработке новых технических решений для опреснения. Обратноосмотические системы в силу малого удельного энергопотребления становятся на архипелаге все более популярными. С начала 2000-х годов все вводимые установки работали по данной технологии, а дистилляционные установки постепенно выводятся из эксплуатации (в настоящее время работает только один завод, использующий технологию многоступенчатого испарения). Для снижения энергопотребления в обратноосмотических установках используются рекуператоры энергии рассола, выводящегося из установки под давлением 30-35 атм и представляющие собой гидротурбины. С той же целью все большее применение находят так называемые изобарические камеры – в них происходит повышение давления подаваемой к обратноосмотической мембране воды за счет снижения давления отводимого рассола. За счет подобных решений удается добиться снижения энергопотребления установки до 3 кВтч/м<sup>3</sup> опресненной воды.

Условно основные современные методы можно разделить на дистилляционные и мембранные. Дистилляционные включают в себя мгновенное вскипание, многоступенчатое испарение, термокомпрессионное выпаривание. К мембранным технологиям опреснения относятся электродиализ и обратный осмос. В таблице 1 представлены некоторые удельные величины для различных технологий обессоливания воды.

С учетом широкого диапазона производительности опреснительных систем и высокой энергетической эффективности в настоящее время достаточно большое распространение получает обратноосмотическая технология обессоливания воды.

Работа [8] посвящена использованию энергии ветра для переработки сточных вод. Искусственно созданный состав (концентрация NaCl 5500 мг/л) обрабатывался промышленным обратноосмотическим модулем BW30, причем источник питания модуля имитировал выработку ветротурбины на основе данных ветромониторинга (закладывались секундные последовательности данных соответствующие средней скорости ветра 6,1 м/сек, и базирующиеся на реальных метеонаблюдениях). При этом установка автоматически отключалась, если выдаваемая мощность выходила за пределы, обеспечивающие безопасный для мембран диапазон давлений и расходов воды. Такой выход периодически обеспечивался из-за стохастического характера ветрового потока. В этом режиме установка показала выработку воды на уровне солёности 191 мг/л в объеме 0,78 м<sup>3</sup>/сутки при потреблении электрической энергии 7,2 кВтч/м<sup>3</sup>. Введение в систему батареи суперконденсаторов позволило добиться снижения потребления энергии до 4,2 кВтч/м<sup>3</sup> при концентрации соли 173 мг/л и ростом производительности до 0,93 м<sup>3</sup>/сутки. Увеличение батареи суперконденсаторов в три раза позволило получить 1,15 м<sup>3</sup>/сутки при концентрации 172 мг/л и энергопотреблении 3,1 кВтч/м<sup>3</sup>. Нахождение мембран в безопасных диапазонах давлений и расходов увеличилось с 8 до 19 часов за сутки. Такие результаты свидетельствуют о том, что применение суперконденсаторов в автономных опреснительных установках является перспективным способом повышения их операционных характеристик. Также важным представляется

учет кратковременных (до 1 сек) флуктуаций выработки ветротурбины с точки зрения возможного разрушения мембран бросками давления.

Таблица 1. Некоторые удельные величины для основных технологий обессоливания воды [2, 4, 5, 6, 7].

Технология	Обратный осмос	Электродиализ	Термокомпрессионное выпаривание	Мгновенное вскипание	Многоступенчатое испарение
Удельный расход пара, кг на $\text{м}^3$ дистиллята	-	-	-	0,1-0,17	0,08-0,7
Рабочие температуры, $^{\circ}\text{C}$	5-40	5-40	60-70	90-120	60-120
Удельный расход электроэнергии, $\text{кВтч}/\text{м}^3$	1,8-5*	1,5-6*	8-11	-	-
Типичная производительность, $\text{м}^3/\text{сутки}$	10-100000	До 25000	750-10000	До 1000000	До 1000000
Удельные капитальные затраты, $\text{долл.}/\text{м}^3$	0,27-0,56		0,5-1	0,5	0,5-0,7

\*- сильно зависит от солености исходной воды. Электродиализные системы используются преимущественно для очистки сточных вод.

Разрабатываемая установка включает в себя энергетический блок на основе ветроэлектродгенераторов и дизель-генераторной установки отечественного производства, модуль импульсного обратноосмотического опреснения, блок термической утилизации концентрата, блок ультрафиолетового обеззараживания (рис.1).

Последние два блока отличают систему от традиционных решений. Наличие первого из них связано с экологическими проблемами, неизбежно возникающими при использовании любой опреснительной технологии – утилизацией значительных объемов генерируемого при работе установки рассола, а также стандартной комплектацией каждого ветроэлектродгенератора электронагревателем для утилизации избытков энергии при недостатке ее потребления во избежание разноса турбины ветроэлектродгенератора. В данном случае возникающие избытки энергии используются для упаривания рассола, остающегося после работы обратноосмотического блока. Модуль импульсного ультрафиолетового обеззараживания предназначен для очистки воды от микроорганизмов в случае ее длительного хранения в накопителе воды, что позволяет хранить воду для обеспечения гарантированного водоснабжения потребителя достаточно длительное время, не прибегая к использованию электрохимических аккумуляторов электрической энергии. Используемые в составе установки электрохимические аккумуляторы предназначены для электропитания именно этого модуля. Для покрытия импульсных нагрузок, возникающих при запуске насосов, флуктуациях мощности ветроэлектродгенераторов, работе модуля импульсного

ультрафиолетового обеззараживания, используются суперконденсаторы с органическим электролитом, что позволяет применить в установке относительно дешевые свинцово-кислотные аккумуляторы. Выбор системы аккумулирования осуществлялся на основе инженерного расчета. При одной и той же длительности пиковой и базовой нагрузки рассмотрены варианты построения как чисто аккумуляторной, так и гибридной накопительной системы при различном отношении мощностей пиковой и базовой нагрузок. Требуемая энергоемкость аккумуляторов определялась как суммарная, потребная для покрытия базовой (5 кВт, 5 ч) и пиковой (1,8 ч, мощность кратна мощности базовой нагрузки с коэффициентом от 2 до 10) нагрузок.

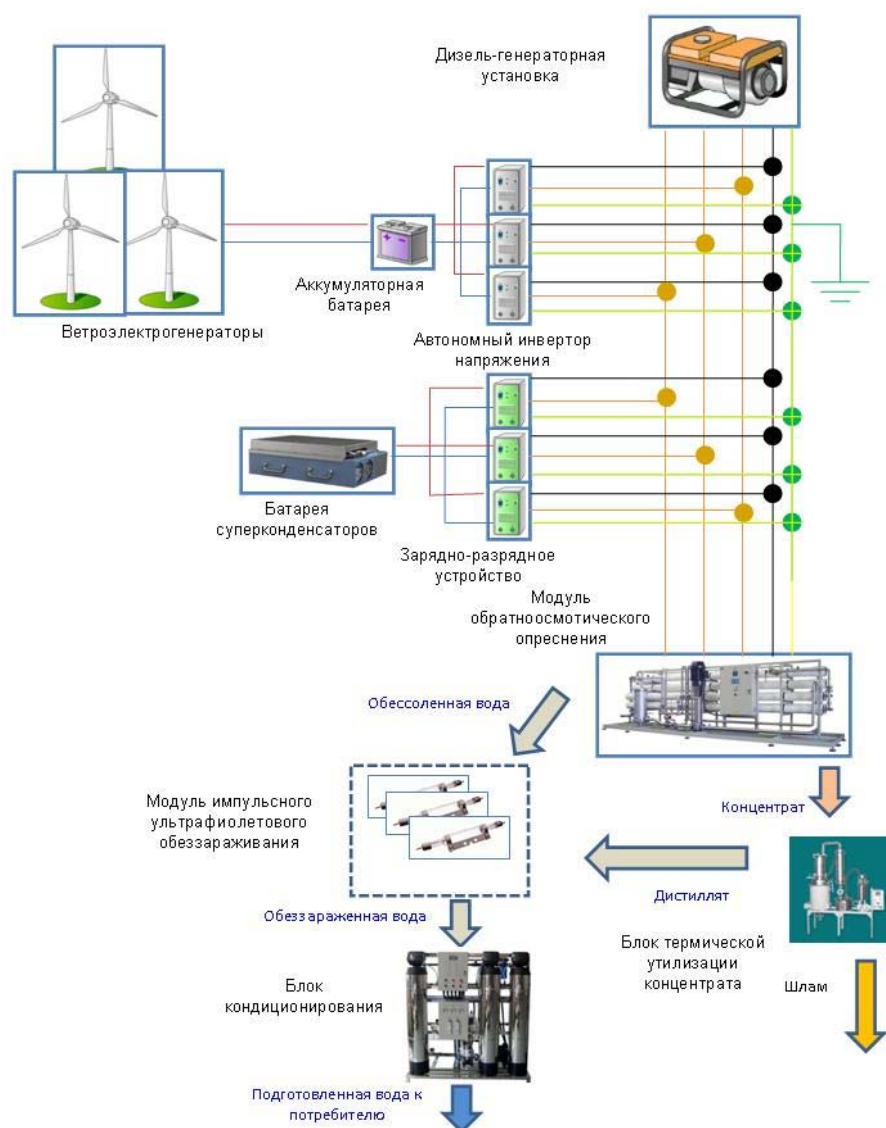


Рис.1. Блок-схема автономной опреснительной ветровой установки

Однако дополнительная энергоемкость для покрытия пиковой нагрузки требовалась исходя из ограничений по току заряда-разряда аккумуляторной батареи (например, не более 10% от номинальной энергоемкости в случае свинцово-кислотной аккумуляторной батареи). Альтернативным вариантом является использование суперконденсаторов для покрытия пиковой нагрузки. Результаты анализа представлены на рисунке 2.

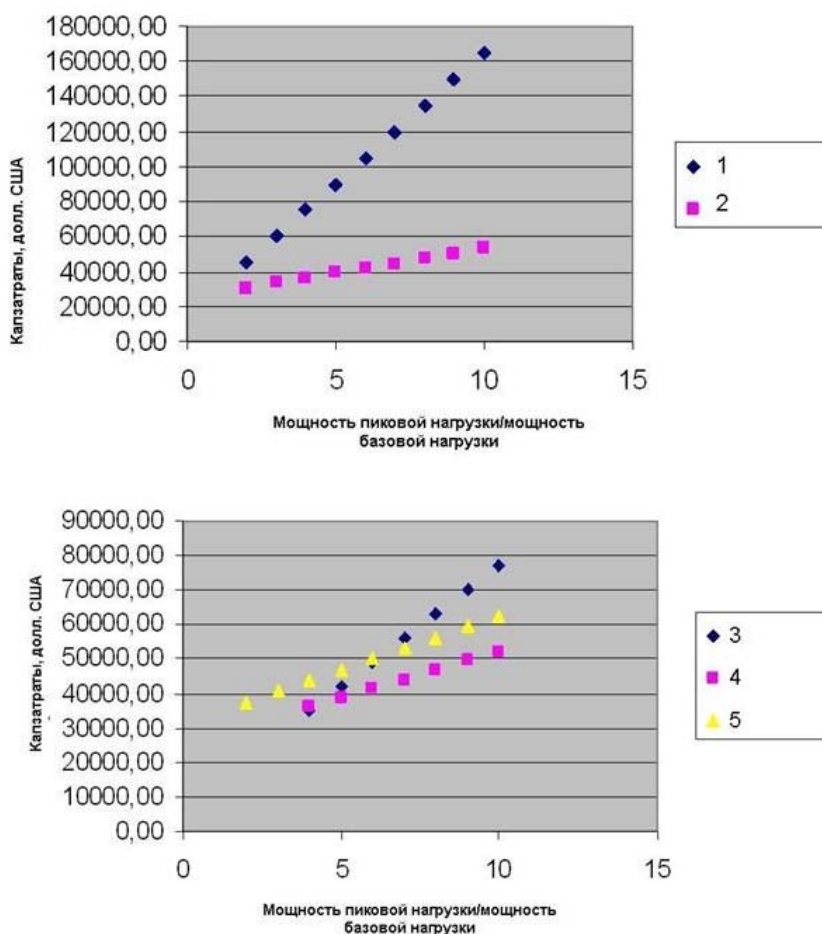


Рис.2. Техничко-экономические оценки различных систем аккумулирования энергии для покрытия пиковой нагрузки. Обозначения: 1 – свинцово-кислотные аккумуляторы, 2 – гибридный накопитель на основе свинцово-кислотных аккумуляторов и суперконденсаторов, 3 – литий-ионные аккумуляторы ( $\text{LiFePO}_4$ ), гибридный накопитель на основе литий-ионных аккумуляторов ( $\text{LiFePO}_4$ ) и суперконденсаторов, 5 – литий-ионные аккумуляторы ( $\text{LiNiCoMnO}$ ).

Видно, что несмотря на высокую стоимость энергоемкости (12 долл. США/Втч), заложенную в расчет, для литий-железофосфатных аккумуляторов использование суперконденсаторов представляется выгодным в тех случаях, когда мощность пиковой нагрузки превышает базовую в 4 и более раз. Для свинцово-кислотных аккумуляторов суперконденсаторы целесообразно применять во всем диапазоне отношений пиковой и базовой мощности. Для литий-ионных аккумуляторов с углеродным анодом и катодом на основе литированных смешанных оксидов суперконденсаторы не требуются в силу высоких значений допустимых токов заряда и разряда, однако в целом применение таких аккумуляторов в условиях данных допущений оказывается менее выгодным, чем гибридной системы на основе более дешевых и менее эффективных аккумуляторов, работающих совместно с суперконденсаторной батареей.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение № 14.577.21.0123 о предоставлении субсидии от 20.10.2014 г., уникальный идентификатор прикладного научного исследования RFMEFI57714X0123).

**Список литературы:**

1. Н.С. Огняник, С.А. Гавловский, А.П. Швец, Актуальные проблемы рационального использования подземных вод Крыма в условиях интенсивного действия водохозяйственных объектов//Гидрогеология. Инженерная геология, Геологический журнал №6, т. 47 (1987), стр.30-38;
2. Feasibility study on wind-powered desalination, Markus Forstmeier, Fredrik Mannerheim, Fernando D'Amato, Minesh Shah, Yan Liu, Michael Baldea, Albert Stella// Desalination 203 (2007) 463–470;
3. Танганов Б. Б., Улан-Удэ В. Морская вода и проблема ее опреснения//Современные наукоемкие технологии. – 2010. – №. 7. – С. 90-92;
4. Болтунов А. Е., Коновалов Е. Н. Установка мгновенного вскипания//Ресурсоэффективным технологиям–энергию и энтузиазм молодежи – 2011. – С. 27;
5. Energy efficiency and desalination in the Canary Islands, Julieta Schallenberg-Rodríguez, José Miguel Veza, Ana Blanco-Marigorta //Renewable and Sustainable Energy Reviews 40 (2014)741–748;
6. Мосин О.В. Физико-химические основы опреснения морской воды // Сознание и физическая реальность, 2012, № 1, с. 19-30.;
7. Экологический мониторинг водных объектов (учебное пособие)/ Тихонова И.О., Кручинина Н.Е. Десятков А.В. М., «ИНФРА-М», 2012. 152 с.;
8. Renewable energy powered membrane technology: Brackish water desalination system operated using real wind fluctuations and energy buffering, Bryce S. Richards, Gavin L. Park, Thomas Pietzsch, Andrea I. Schäfer//Journal of Membrane Science 468 (2014) 224–232;



## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ ТОРФА И ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ СЖИГАНИЯ В ТОПКАХ КОТЛОВ

Кормилицын В.И.<sup>1</sup>, Белый В.В.<sup>2</sup>, Житков А.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИУ «Московский энергетический институт», Москва, Россия

<sup>2</sup>Публичное Акционерное Общество «Т Плюс», Московская область, Россия

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» совместно с КЭС холдингом проводит исследовательские работы по использованию ВИЭ для промышленного применения, одним из направлений которых является использование фрезерного торфа и отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности как энергетического ресурса.

В 2014 году со вступлением в силу национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 55114-2012 (ЕН15210-1:2009) «Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива». Часть 2. Древесные пеллеты для непромышленного использования» ограничено применение древесных пеллет для промышленного применения за исключением торрефицированных древесных пеллет. Торрефикация (отжиг) - предварительная термохимическая обработка биомассы при температуре между 200°C и 300°C без доступа кислорода, выпаривании воды и горючих газов с превращением ее в энергоемкий продукт. (ГОСТ Р 55114-2012. 1 Область применения. Примечание 2.Стр. 1)

Представлены результаты испытаний древесных пеллет, произведенных по стандартам Европейского Союза, подтверждающих невозможность их применения для сжигания в энергетических котлах по технологическим параметрам, главным из которых является высокая влагоемкость. Практически невозможно доставить древесные пеллеты в бункер сырого угля без потери их качества, в частности, из-за применяемой водной системы взрывопожаробезопасности.

Для снижения высокой влагоемкости, повышения теплотворной способности и прочности топливных гранул (древесных пеллет) предложено использовать связующее, торфяной гель, природное вещество, созданное на основе торфа по технологии профессора Кормилицына В.И.[1,2]. Торфяной гель, произведен из поверхностного торфа месторождения «Дымное», является торрефицированной составляющей нового энергетического топлива.

Торфяной гель предлагается рассматривать и как составную часть новой перспективной технологии приготовления жидкого топлива. Анализируются результаты исследований полученных образцов топливных гранул (пеллет) на основе торфяного геля с различными наполнителями. Проведены теплотехнические испытания топливных гранул с наполнителем из фрезерного торфа и с наполнителем из сырья для производства древесных пеллет. Для сравнения были испытаны собственно торфяной гель и древесные пеллеты произведенные по технологии ЕС. Анализируются результаты исследований полученных образцов топливных гранул (пеллет) на основе торфяного геля с различными наполнителями. Осуществление топливоподготовки по нашей технологии позволит получить энергетическое топливо - торрефицированные топливные гранулы (ТТГ) на основе ВИЭ - фрезерного торфа и древесных отходов.

Сравнение топливных гранул, разработанных нами в сравнении с исходным фрезерным торфом и древесными пеллетами по основным показателям приведены в Таблице 1.

Применение топливных гранул позволит достигнуть при эксплуатации котельных установок следующих преимуществ:

1.Количество горючего (топлива) в виде ТТГ на одну тонну условного топлива составит 1,511 т/тут. в сравнении с исходным фрезерным торфом -3,684 т на одну тонну

условного топлива (что является существенным преимуществом, неиспользуемым в настоящее время).

2. Насыпная плотность возрастает с 400 кг/м<sup>3</sup> до 650 кг/м<sup>3</sup>. Экономия транспортных расходов по объему в 1,6 раза.

3. Удельная плотность возрастает с 600 кг/м<sup>3</sup> до 1200 кг/м<sup>3</sup>. Экономия транспортных расходов по весу в 2 раза

4. Относительная влажность ТТГ снижается до 8 - 10% при существующей влажности фрезерного торфа 52%. В зимний период ТТГ не смерзается, сыпучесть не понижается, налипания и замазывания элементов топливоподачи не происходит, не образуется большого количества водяных паров.

5. Успешно решаются при применении ТТГ и другие проблемы от повышенной засоренности исходного торфа: зависание сырья в бункерах, его самовозгорание, образование нежелательной сепарации.

Получают преимущества и производители топливных гранул, которые выражаются в экономии электроэнергии при их изготовлении до 40% по сравнению с классическим производством древесных пеллет и возможностью использования при сушке низкопотенциального тепла и сушки на открытом воздухе под навесом.

Рассматриваемые задачи в настоящее время на предмет оказания услуг:

- системный подход к производству ТТГ с полезным энергетическим использованием измельченных отходов торфа и древесных отходов, образующихся при разработке торфяных залежей.

- исследование и разработка технологии применения торфяного геля как связующего и основы для производства торрефицированного твердого топлива **на основе торфа** с применением наполнителя из собственно торфа, из измельченных отходов торфа, образующихся при его добыче, подготовленных отходов древесины образующихся при разработке торфяного месторождения, в том числе выполнить классификацию фрезерного торфа и отходов при его добыче, торфяных и древесных и оценить эффективность использования торрефицированных топливных гранул при сжигания на ТЭЦ, на примере производственного участка «Дымное» и ТЭЦ-4.

- исследование и разработка технологии применения торфяного геля как связующего и основы для производства торрефицированного твердого топлива **на основе отходов древесины** с применением торфяного геля для использования в качестве энергетического топлива. Таблица 2.

- экспертные заключения **по перспективам утилизации ТБО**, промышленных и техногенных отходов, подлежащих утилизации или огневому обезвреживанию.

- разработка технологий **производства композитных торрефицированных топливных гранул** (пеллет) для промышленного применения с оптимизацией затрат для использования на твердотопливных ТЭЦ и применения в распределенной энергетике и ЖКХ.

- экспертное заключение и выдача данных для расчетов экономической эффективности территориальных проектов по использованию ВИЭ и модернизации топливоподачи.

### Список литературы

1. Кормилицын В.И Производство и использование альтернативных топлив в тепло- и распределенной энергетике. Как одно из эффективных направлений снижения потребления традиционных не возобновляемых энергетических топлив. Доклад/. XIII московский международный энергетический форум «ТЭК России в XXI веке». 20 апреля 2015 г. Москва.
2. Патент РФ №2010105986-05,24.02.2010. Кормилицын В.И.; Петров А.В.; Лобко В.П. Топливный элемент-брикет,гранула//Патент на изобретение №2413755.
3. Патент РФ №2010151781/04,17.12.2010. Кормилицын В.И., Болотников Б.В., Петров А.В. Технологическая линия по производству лигно-гелевых топливных гранул//Патент на полезную модель №103106.

Таблица 1. Результаты сжигания проб топливных гранул.

Номер и наименование пробы	Наименование показателей качества твердого топлива						
	Влага общая в рабочем состоянии, %	Зольность в рабочем состоянии, %	Зольность в пересчете на сухое вещество, %	Высшая теплота сгорания, кДж/кг (ккал/кг)	Низшая теплота сгорания, кДж/кг (ккал/кг)	Низшая теплота сгорания в рабочем состоянии, кДж/кг (ккал/кг)	Массовая доля общей серы в пересчете на сухое вещество, %
1 Торфяной гель	51,19	2,79	5,72	20365 (4864)	19055 (4551)	7511 (1794)	0,33
2 Фрезерный торф	52					(1900)	
3 ТТГ на фрезерном торфе 1	8,29	8,78	9,57	24937 (5956)	23627 (5643)	19390 (4631)	0,24
4 ТТГ на фрезерном торфе 2 + прис.	10,19	8,35	9,30	23861 (5699)	22551 (5386)	18121 (4328)	0,3
6 ТТГ на древесных отходах	6,49	3,57	3,82	21518 (5139)	20208 (4827)	18016 (4303)	0,2
7 Древесные пеллеты.	6,40	0,31	0,33	19786 (4726)	18475 (4413)	17078 (4079)	0,13

Определение общей серы методом ЭШКА по ГОСТ 8606-93, Определение влаги по ГОСТ 11305-83

Определение зольности по ГОСТ 11306-83

Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания по ГОСТ 147-95

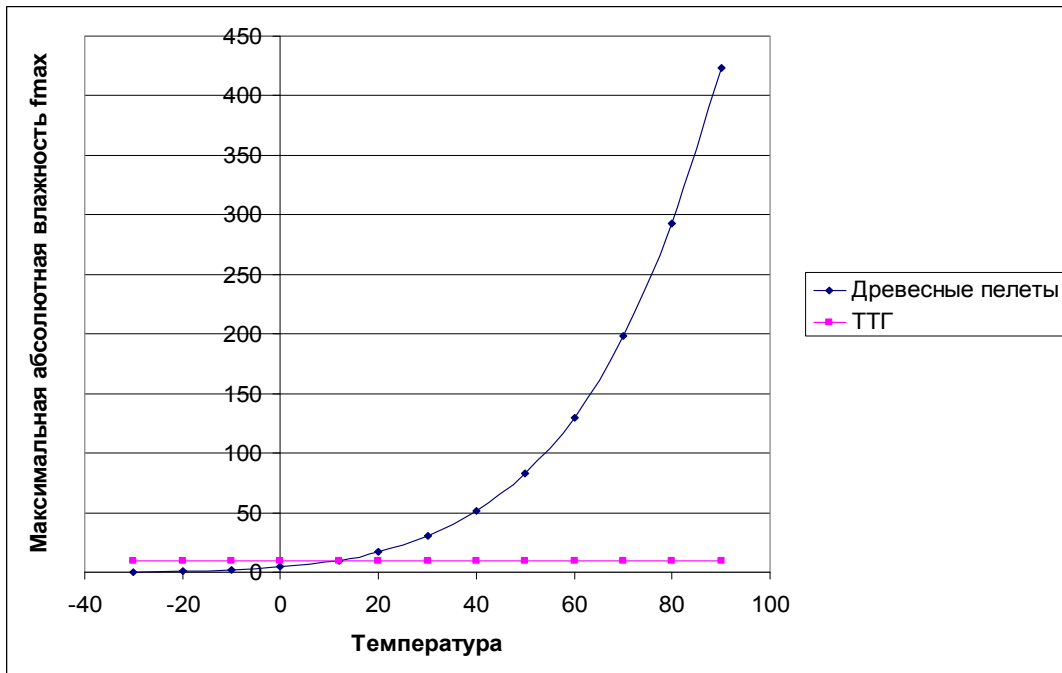


Рис.1 Параметры влагоемкости древесных пеллет и ТГГ

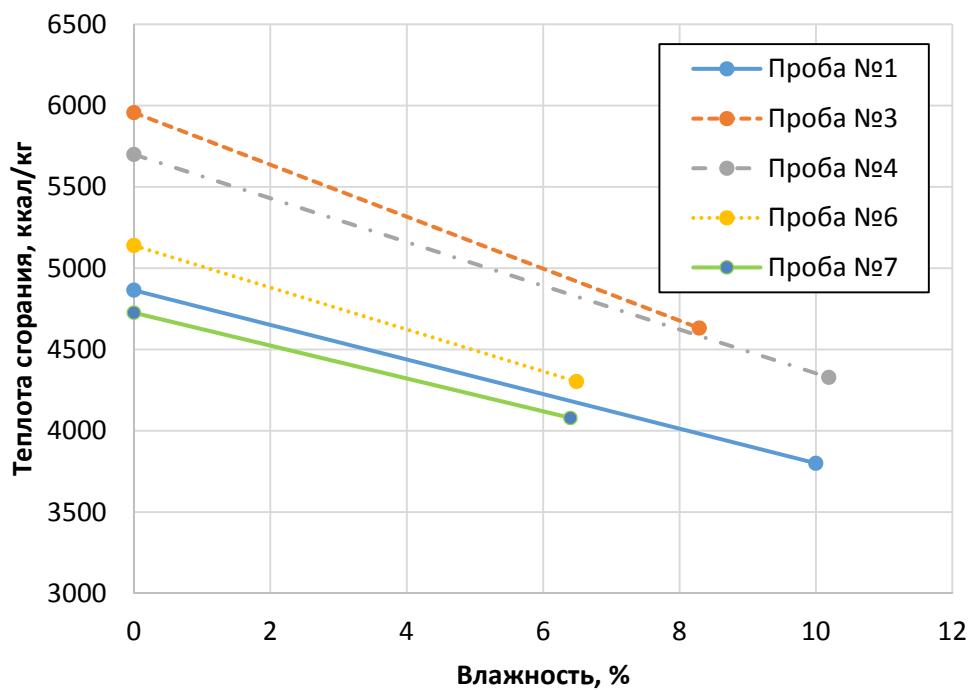


Рис.2 Высшая теплота сгорания топливных гранул и низшая теплота сгорания в рабочем состоянии.

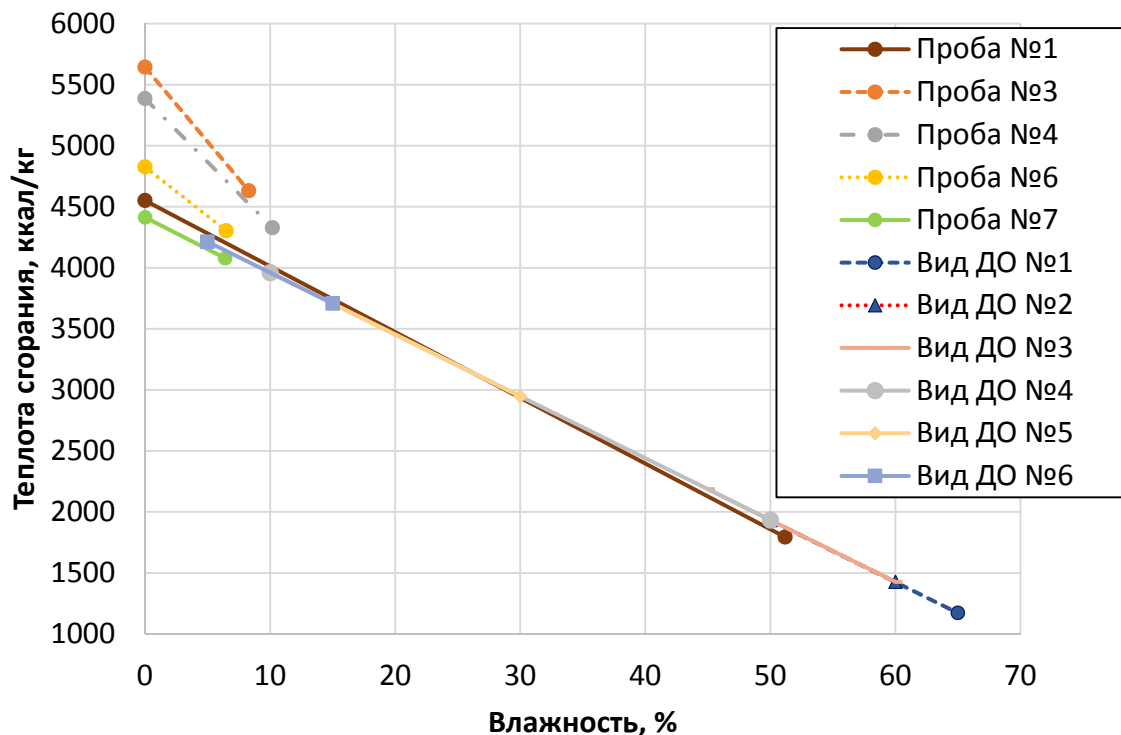


Рис 3 Низшая расчетная на сухую массу и низшая рабочая теплотворная способность проб топливных гранул, древесных пеллет, торфяного геля и видов древесных отходов лесоперерабатывающей промышленности

Проба №1 – Торфяной гель, образец 2 (торф, Киров)

Проба №3 – Топливные гранулы: связующий – торфяной гель, образец №1, Наполнитель торф фрезерный, г. Киров.

Проба №4 – Топливные гранулы: связующий – торфяной гель, образец №2, Наполнитель торф фрезерный, г. Киров.

Проба №6 – Топливные гранулы: связующий – торфяной гель, образец №1. Наполнитель древесные составляющие для производства древесных пеллет, г. Киров.

Проба №7 – Пеллеты древесные, г. Киров.

Вид древесных отходов (ДО) №1- Кора мягких пород древесины.

Вид ДО №2- Щепы лесозаготовки.

Вид ДО №3- Щепы от целых деревьев, щепы от отходов лесопиления, щепы от окорки, щепы от пней.

Вид ДО №4- Щепы от древесных отходов лесопереработки.

Вид ДО №5- Утиль древесины.

Вид ДО №6- Древесная пыль, фанерные отходы

Таблица 3. Сравнительная таблица топлив по калорийности

Параметры топлива	Торф фрезерный пу Дымное Кировской обл.		Топливные гранулы (пеллеты) Технология авторов на торфяном геле пу Дымное		Древесные пеллеты Кировская обл.
	Факт за 2012 г.	По паспорту на котел БКЗ 210	Наполнитель фрезерный торф	Наполнитель сырье для прессования дрв. пеллет	ГОСТ Р 55114-2012 для не промышленного применения
Массовая доля влаги в рабочем состоянии $W_t^r$ , %, не более	52	50	8.29	6.49	6,40
Зольность $A^d$ , %, не более	23	5,5	8,78	3.57	0.31
Низшая степень сгорания на рабочее топливо $Q_H^r$ , ккал/кг, не менее	1900	2030	4631	4303	4079
Массовая доля общей серы $S^d$ , %, не более	0.5	0.1	0.24	0.2	0,13
Необходимое количество топлива на 1 тун по калорийности, тонн.	3.684	3.448	1.511	1.626	1.717

## ПРОЕКТ СТРОИТЕЛЬСТВА ИМПОРТООПЕРЕЖАЮЩИХ ОТХОДОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ (МИНИ-ТЭЦ) НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЕННО-ВОДОРОДНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

Ложкин С.Г., Котляр Э.А.

ООО «Научно-инжиниринговая компания «РусЭкоЭнерго», г. Москва

В настоящее время в мировой энергетике одним из основных направлений является использование в качестве топлива газообразных продуктов переработки возобновляемых источников энергии (ВИЭ), получаемых при термической конверсии биомассы. В США, Индии, ряде стран Евросоюза разработаны и действуют национальные программы по производству теплоэнергоресурсов путем использования получаемых газов в двигателях внутреннего сгорания. Одновременно с этим в практике обращения с твердо-бытовыми отходами наметилась устойчивая тенденция внедрения плазменно-термической переработки. Данная технология гарантирует сокращение выбросов токсичных веществ, а также избавляет от золошлаковых отходов, образующихся при сжигании. Продуктами переработки являются горючий газ, используемый для получения электрической и тепловой энергии, а также нейтральный остеклованный шлак, который может быть применен в производстве строительных и дорожных материалов.

Решение задачи создания отечественных экономически рентабельных заводов плазменно-термической переработки ТБО возможно при использовании новых эффективных технологических схем с одновременной выработкой электроэнергии и тепла на основе использования современных газопоршневых энергоагрегатов. Разработки и строительство подобных комплексов осуществляют десятки компаний в США, Германии, Франции, Канаде и других странах, лидерами являются ALTER NRG, Plasco Energy Group Inc. и EUROPLASMA. Однако стоимость их объектов на 50–350 тыс. тонн сырья в год составляет 55–300 млн. долл., что определяет невозможность их применения в РФ – из-за высокой стоимости оборудования, отсутствия дотаций, льготных тарифов и длительного срока окупаемости.

В связи с этим, научно-инжиниринговая компания «РусЭкоЭнерго» на основе объединения внедренных отечественных технологий подготавливает проект высокоэффективных, конкурентоспособных на мировом уровне отходоперерабатывающих комплексов (мини-ТЭЦ) для получения тепло- и энергоресурсов. В основу технологии заложен многостадийный процесс глубокой экологически безопасной термической переработки любого углеводородного сырья (ТБО, торфа, угля, сельскохозяйственных отходов и т.д.). Сырье проходит стадии измельчения, сепарации, сушки и низкотемпературного пиролиза, при котором обеспечивается быстрый нагрев сырья в течение 15-20 секунд с выделением летучих веществ (вода, газ, смола). Непрореагировавшие остатки в виде полукокса вместе с получаемыми жидкими фракциями направляются в нижнюю часть плазменного реактора, что обеспечивает получение топливного газа более стабильного состава с калорийностью 2500-3000 ккал/м<sup>3</sup>. Здесь в зоне дугового разряда при температуре 1500–1600°C происходит высокотемпературная тепловая минерализация, что позволяет полностью обезвреживать токсичные, канцерогенные и другие опасные вещества. При работе на смесевом сырье выравнивание параметров топливного метан-содержащего газа дополнительно будет проведено в редукторе-усреднителе, а итоговая регулировка работы ДВС будет осуществляться системой управления.



Рис. 1

При этом удельная потребляемая мощность значительно ниже, чем в других проектах по плазменной газификации. Это связано с тем, что в высокотемпературную зону реактора поступают уже горячие измельченные коксозольные остатки (в объеме не более 20-30% от первичного сырья) вместе с небольшим количеством окислителей (пара, кислорода и воздуха), а плазмотроны используются только для поддержания и стабилизации необходимых температур (автотермический режим). В настоящее время на опытно-демонстрационной установке производительностью 100 кг/час на различных видах сырья проводятся демонстрационные показы для заинтересованных заказчиков и инвесторов. Данная установка (по уровню комплектности и выходу полезных продуктов) является единственной действующей на территории стран СНГ и Восточной Европы. При получении первичного финансирования будет проведена ее докомплектация и начнется проектирование и строительство типовых мини-ТЭЦ на 8 - 16 МВт в составе 2 - 4-х линий (объем утилизации – 120 - 240 тыс. т/год.).

Подготавливаемый нами проект представляет собой решение, эффективное сразу по многим параметрам:

- минимальное воздействие на окружающую среду;
- низкое энергопотребление;
- полностью механизированная переработка любого сырья;
- модульность, компактность, возможность перебазирования;
- уровень капиталовложений в 4–6 раз ниже, чем у аналогов;
- малые сроки строительства (12–15 мес.) и окупаемости (около 4 лет).



Рис. 2



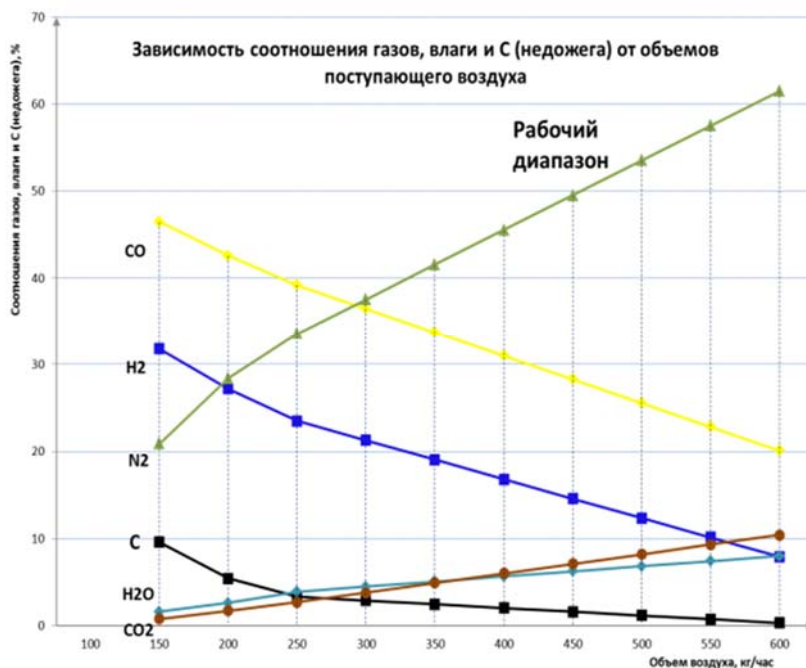


Рис. 3

Перед началом проектирования компанией «РусЭкоЭнерго» совместно с несколькими научно-исследовательскими организациями было проведено моделирование параметров многокамерного плазменного реактора с целью определения баланса энергопотребления и структуры газовых потоков. При этом были выполнены расчеты состава и объемов отходящих газов в верхней и нижней камерах. На графике слева приведены составы газов нижней части реактора, исходя из различных объемов подаваемого воздуха.

По итогам 25-ти запусков установки в 2-х режимах: медленного пиролиза в период с июля по ноябрь 2014 года и при быстром пиролизе (апрель, июль и август 2015 года) с переработкой щепы и фракции RDF в объеме 80-100 кг/час установлена степень ее работоспособности в размере 80%. При этом в 9-ти запусках зафиксирована стабильная работа во всех вышеуказанных составляющих техпроцесса длительностью эксплуатации ДВС от 10 до 45 мин. (с ручным управлением заслонкой поступления воздуха), наблюдался сине-красный и оранжевый цвет топливного газа с его устойчивым горением. В 11-ти пусках установки имелись небольшие отклонения от стабильности с многократными запусками и остановками при работе двигателя не менее 2-5 мин., цвет газа - прозрачно-красноватый с горением. В 5-ти запусках были сложности с непрерывной подачей сырья, возвратом в реактор обводненной пиро-смолы, регулировкой температурного режима, соответственно не обеспечивалось получение качественного газа.

В целом установлено, что уровни энергопотребления и расхода воздуха соответствуют расчетному графику на 1 тонну сырья в час (приведен справа) и в 4-5 раз меньше, чем у имеющихся в РФ аналогов.

Для анализа ряда технологий по коэффициентам выходов энергоресурсов из 1 тонны сырья (общих и полезных - для продажи) и их сравнения с предлагаемым нами процессом 3-х стадийной пиролизно-плазменной паро-воздушно-кислородной газификации ниже приведена таблица, составленная на основе имеющихся данных.

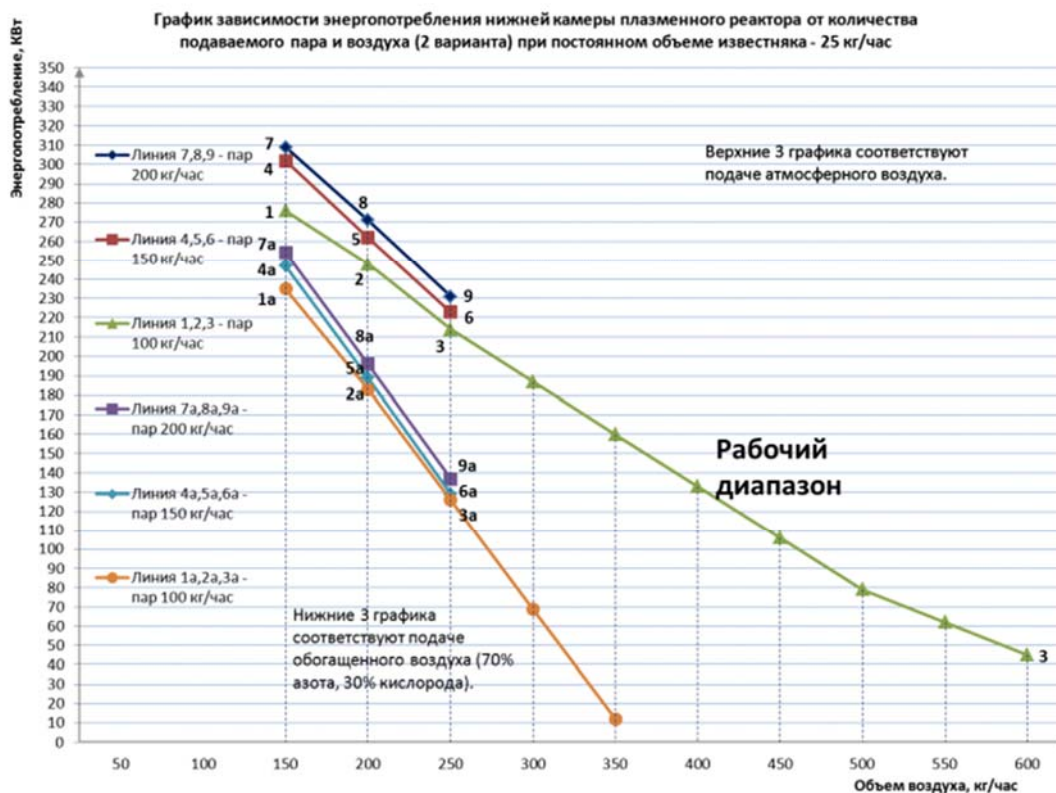


Рис. 4

Таблица. Сравнение коэффициентов выходов энергоресурсов из 1 тонны сырья (общих и полезных - для продажи)

Название	Plasco (Канада)	Курчатовский институт	APP (Англия)	РусЭко Энерго	AlterNRG (Канада)
Отношение общей энерговыработки к 1 тонне ТБО	Нет данных	12 МВт/час с 14 тонн в час 0,86	8,6 МВт/час с 13 тонн в час 0,66	14 МВт/час с 15 тонн в час 0,93 (расчет)	57,6 МВт/час 41,7 тонн в час 1,38
Отношение продажной выработ. эл. эн. на 1 т	2,9 МВт/час с 16 тонн в час <b>0,18</b>	3,6 МВт/час с 16 тонн в час <b>0,26</b>	5,2 МВт/час с 16 тонн в час <b>0,4</b>	8 МВт/час с 15 тонн в час <b>0,53</b>	41 МВт/час с 41,7 тонны в час <b>0,98</b>

Из нее видно, что расчетные параметры предлагаемой технологии находятся в средней зоне между всеми указанными аналогами, при этом отношение выработки общей электроэнергии из 1 тонны ТБО соответствует данным в проекте института им. Курчатова (0,93 и 0,86). Но из-за применяемой нами многоступенчатой технологии термопереработки с предварительной сушкой и обработкой сырья в зоне пиролиза (без энергозатрат) требуется значительно меньший расход энергии, что является основным преимуществом проекта.

Другим преимуществом по сравнению со всеми аналогами, является пониженный объем получаемого более калорийного топливного газа (около 60-80% к весу сырья), в

то время как в других проектах за счет ввода большого количества кислорода или воздуха вес получаемого менее калорийного газа составляет 150 - 240% к массе сырья, что требует установки дорогостоящего газоочистительного оборудования значительно больших габаритов и ведет к удорожанию.

Рассматривая экологические преимущества плазменной газификации (по сравнению со сжиганием и другими термическими способами утилизации) видно, что поскольку высокотемпературная тепловая минерализация происходит в зоне дугового разряда при 1500-1600°C, это позволяет осуществлять разложение различных отходов с полным обезвреживанием токсичных, канцерогенных и других опасных веществ, на которые установлены жесткие нормы ПДК в воздухе, воде и почве.

На первой стадии переработки при быстром гидропиролизе в восстановительной среде подсушенные отходы подвергаются резкому воздействию температуры для обеспечения эффективной деструкции (разложения) летучих углеводородов, при этом количество газообразных токсикантов снижается до минимума, а соединения тяжелых металлов Pb, Zn, Cd, Hg и др., вступая в химическое взаимодействие с CaO, карбамидом и водородом переходят в нейтральное состояние. После попадания всех минеральных фракций в зону высоких температур молекулы кислорода и опасных элементов расщепляются на атомы, радикалы, электроны и положительные ионы. Введение извести CaO (нейтрализатора серы, галогенов и других вредных примесей) обеспечивает образование соединений солей, окислов, сульфатов и др. в виде плавкой матрицы (базальтообразного остатка), который выводится из нижней части реактора в форме расплавленного шлака и перерабатывается в газобетоны.

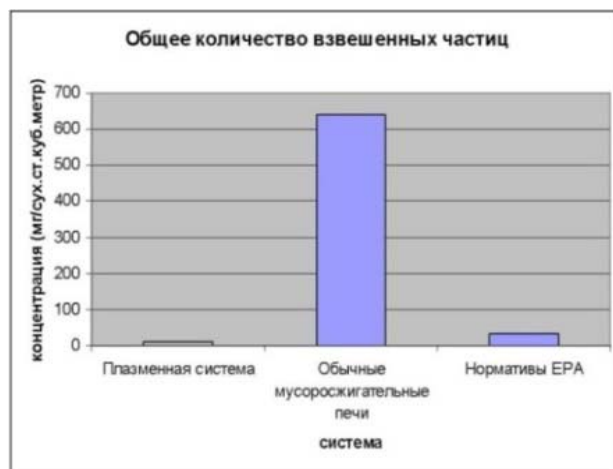


Рис. 5

В сбросную парогазовую смесь на выходе будут распыляться растворы карбамида и известкового молочка - с целью предотвращения вторичного синтеза диоксинов и фуранов, для очистки от кислот (HCl, HF и др.), связывания кислых компонентов и легколетучих солей металлов. Далее вместе с газом от сушилок весь объем поступает на циклоны - для отделения влаги и пыли, в конденсаторы - для отвода жидкой фракции, затем на многоступенчатую систему фильтров и выбрасывается в атмосферу. Для высокоэффективной очистки топливных и сбросных газов вместе с их охлаждением предусматривается многоступенчатое размещение необходимых видов оборудования в составе серийно-выпускаемых скрубберов, адсорберов, вихревых и каскадных пылеуловителей, блоков охлаждения и нейтрализации экотоксикантов и тяжелых металлов. Содержание вредных примесей (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, пыли, канцерогенов, диоксинов и фуранов) в отходящих газах не превышает санитарных норм ЕЭС и в десятки раз ниже, чем в процессах сжигания (диаграмма на Рис. 5) и приведено в примерах ниже. Это

связано с тем, что для сжигания 1 тонны ТБО необходимо 4 тыс. м<sup>3</sup> воздуха, при плазменной воздушной газификации – до 1,4 тыс. м<sup>3</sup>, а в нашей технологии – около 260-300 м<sup>3</sup> кислорода и воздуха. Газовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу не должен превышать следующих значений: CO≤100 мг/м<sup>3</sup>; NO<sub>x</sub>≤200 мг/м<sup>3</sup>; Сорг≤10 мг/м<sup>3</sup>; HCl≤10 мг/м<sup>3</sup>; SO<sub>2</sub>≤50 мг/м<sup>3</sup>; пыль ≤50 мг/м<sup>3</sup>; COCl<sub>2</sub>, галогениды фосфора, галогениды серы - в соответствии с установленными гигиеническими нормативами, диоксины и фураны≤0,1 нг/м<sup>3</sup>. Предельно допустимые нормы выбросов для отходящих из комплекса газов не будут выше значений, выбранных в соответствии с Директивой 2000/766/ЕС Европейского парламента от 04.12.2000 года.



Рис. 6

Потребность в создании новых отечественных технологий индустриальной переработки углеводородного сырья и отходов определяет необходимость разработки не только термического оборудования по эффективному их преобразованию в топливные газы, но и конкурентоспособного оборудования по выработке энерготеплоресурсов с максимальным КПД и сроком службы агрегатов, обеспечивающих устойчивую экологическую безопасность процесса в условиях вероятного изменения исходного сырья. Анализ существующих разработок показал, что газопоршневые установки являются наиболее экономически эффективными агрегатами по генерированию электроэнергии на среднекалорийных газовых топливах. Основными их техническими, экономическими, эксплуатационными и экологическими параметрами для эффективного применения в качестве автономных источников генерации малой энергетики являются: высокий КПД (до 40%), скорость нагружения и разгрузки, оборотность, полный ресурс, удельные капитальные затраты и расходы на обслуживание.

Таким образом, в основу проектов создания высоко-эффективных, экологически чистых экспортно-конкурентоспособных комплексов (мини-ТЭЦ), разрабатываемых компанией «РусЭкоЭнерго», заложены принципы оптимизации конструкции плазменно-термического реактора, подбора и обеспечения надлежащего режима его работы для получения лучшего варианта топливного среднекалорийного газа с последующей адаптацией газопоршневых установок к работе на нем. Имеющаяся опытная установка позволяет проводить предварительные исследования и демонстрировать Заказчикам возможность практической реализации внедряемой пиролизно-плазменной технологии с получением теплоэнергетических ресурсов и стройматериалов в объемах, обеспечивающих среднесрочную окупаемость вкладываемых инвестиций. После докомплектации она станет прототипом для проектирования и выпуска высокотехнологичных конкурентоспособных на мировом уровне отходоперерабатывающих комплексов (схема на Рис. 7).

Основой для успешной реализации проектов в РФ является принятие в 2015 году законодательства по упорядочению сферы обращения с отходами с одновременной организацией крупных региональных структур - операторов, заинтересованных в повышении эффективности производств и глубины переработки отходов для

гарантированного среднесрочного возврата инвестиций. Этому также будут способствовать намеченные меры поддержки в области введения «зеленого» тарифа по возобновляемым источникам энергии. Тиражирование описанных комплексов является актуальным и эффективным механизмом для создания перспективной отходоперерабатывающей отрасли. Консолидация отечественного научно-производственного потенциала при выходе на внешний рынок позволит России занять лидирующие позиции в международной производственной и технологической кооперации.

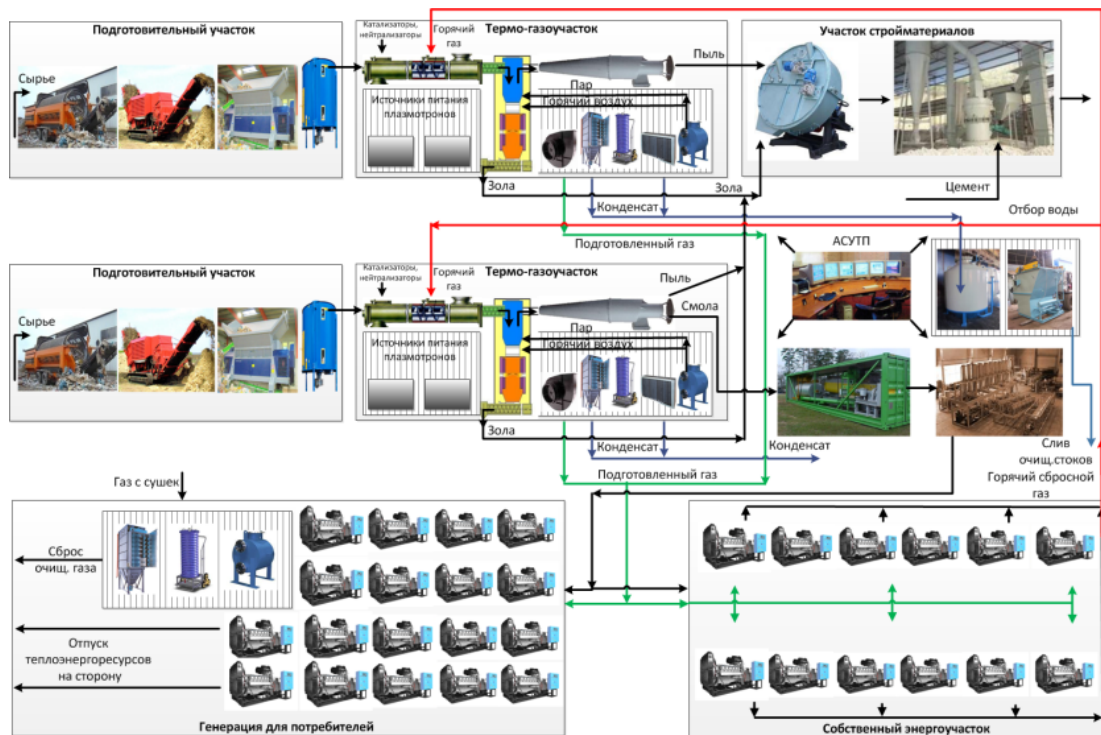


Рис. 7



**ОСВОЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КЕНИИ:  
ВОЗМОЖНОСТИ УЧАСТИЯ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ  
RENEWABLE ENERGY SOURCES DEVELOPMENT IN KENYA:  
OPPORTUNITIES FOR RUSSIAN COMPANIES**

**Нефедова Л.В., Комарова Н.А.**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Россия, Москва,  
e-mail: nefludmila@mail.ru

**Nefedova L.V., Komarova N.A.**

Lomonosov Moscow State University, Russia; Moscow, e-mail: nefludmila@mail.ru

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, страны Восточной Африки, геотермальная энергетика, фотоэлектрические батареи, ветроэлектростанции.

**Keywords:** renewable energy sources, East Africa countries, geothermal energy, PV batteries, windfarms.

В XXI веке использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стимулируется в развитых странах стремлением экологически направленного развития энергетики и необходимостью обеспечения энергетической безопасности государств. В развивающихся странах освоение возобновляемых энергоресурсов является важным рычагом преодоления бедности и стимулом развития экономики этих государств. Проблема доступа к электроснабжению является одним из приоритетных условий экономического и социального развития беднейших стран мира. Ряд международных экологических и финансовых организаций, отдельных развитых стран мира проводят программы по поддержке использования ВИЭ в африканских странах, преимущественно в беднейшем регионе континента – Субсахарской Африке. По программе UNEP оценки ресурсов ВИЭ «SWERA» на основе данных NASA, начатой в 2001г., для стран Африки были составлены открытые базы данных и карты гелиоресурсов и энергии ветра, на настоящий момент создана геоинформационная система «SWERA RREX». По Программе Содействия Управлению Энергетическим Сектором (ESMAP) Всемирного Банка (WB) ведется уточнение данных и картографирование ресурсов гелио-, ветро-, био- и малой гидроэнергетики в развивающихся странах. Программа развития ВИЭ в Субсахарской Африке (AFREA) проводится WB с 2009г. для финансирования проектов распределенной энергетики. В беднейших странах Африки проводится программа развития энергетики сельских районов Африки (AREED) в рамках UNEP с финансированием в 250 млн долл. США. В рамках программы развития возобновляемой энергетики в странах с низким уровнем доходов (SREP) выделяются из климатических инвестиционных фондов (CIF) значительные объемы финансирования для пилотных стран в Африке: Кении и Эфиопии. Большое значение придается международными структурами развитию геотермальной энергетики в странах, расположенных в зоне Восточно-Африканского разлома. Геотермальная программа африканской рифтовой зоны (ARGeo), созданная в 2003г. при поддержке GEF, финансируется WB и направлена на координацию мировой поддержки изучения геотермальных ресурсов в странах зоны Восточно-Африканских разломов. В 2012г. по Программе Содействия Управлению Энергетическим Сектором (ESMAP) Всемирного Банка начат проект «Глобального Плана развития геотермальной энергетики в странах Великого Африканского разлома» общей суммой финансирования 500 млн. долл. США на 25 проектов крупномасштабного разведочного бурения более 100 скважин [1].

Наиболее крупные государственные программы по использованию возобновляемых источников энергии в Субсахарской Африке (без ЮАР, занимающей особое экономическое положение в регионе и проводящей масштабные программы освоения ВИЭ), разворачиваются последние годы в Эфиопии и Кении – двух соседних

крупнейших странах Восточной Африки. Рассмотрим основные направления, состояние и перспективы освоения ВИЭ в Кении. Наибольшие успехи в стране достигнуты в области геотермальной энергетики. Кения опередила Японию и Турцию по суммарной мощности ГеоЭС и вошла в восьмерку лидеров в области геотермальной энергетики. В 2014г. в мире было введено в строй 640 МВт ГеоЭС, из них 56% (358 МВт) – в Кении [2].

К 2015г. общая всех электростанций Кении составляла 2294 МВт, из них установленная мощность ГеоЭС - 576 МВт, около 26% общей установленной мощности ЭС, а ГЭС - 821 МВт, или 38% [3]. Дефицит электроэнергии составляет на современный момент в Кении более 1000 МВт. К 2030 г. запланировано увеличение общей установленной мощности электростанций до 5000 МВт, при этом большое значение придается диверсификации электростанций, снижению доли производства электроэнергии на ГЭС, в связи с дефицитом выработки в маловодные засушливые годы. По оценкам общий еще не освоенный экономический потенциал ГЭС составляет около 1450 МВт. Запланировано широкое освоение ресурсов возобновляемых источников энергии, и в первую очередь геотермальных, а также ветро- и гелиоэнергетических ресурсов.

**Геотермальная энергетика.** Расположение в зоне Восточно-Африканского разлома обеспечило Кении значительный потенциал геотермальных ресурсов, активное изучение которых было начато с конца 70-х годов прошлого века. В период с 1978г. по 2012гг. Кения получила на развитие геотермальных проектов от международных организаций около 300 млн долл США. В стране при содействии иностранных компаний выявлено более 14 перспективных участков для создания ГеоЭС, суммарная мощность которых по прогнозным оценкам составляет около 10 тыс. МВт (рис). Наиболее перспективным является геотермальное месторождение *Olkaria*, расположенное в 120 км от Найроби и по проведенным британскими геологами исследованиям имеющее потенциал для создания 2 тыс. МВт ГеоЭС. Перспективными для развития геотермии признаны участки: *Menengai*, *Suswa*, зона от *Silali do Bogoria*, Хома Хиллз в *Nyanza*, *Mwananyamala* на побережье, а также участки в районе хребтов *Nyambene*. Исследование и освоение геотермальных ресурсов этих зон находится на разных стадиях.

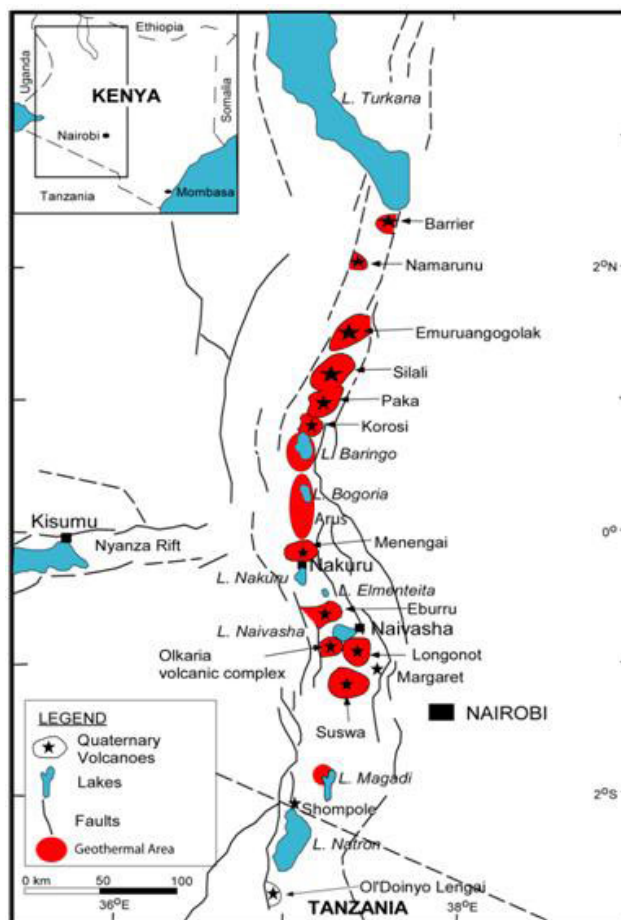
Кения является лидером среди африканских стран по использованию геотермальных ресурсов с суммарной мощностью ГеоЭС - 576 МВт. В стране к 2014г. действовали две государственные ГеоЭС - *Olkaria I* (45 МВт) и II– (105 МВт) и частная ГеоЭС - *Olkaria III* (48 МВт). В ноябре 2014 было закончено сооружение и введены строй две новые ГеоЭС : блоки 4 и 5 *Olkaria I* и блоки 1 и 2 *Алкария IV* - суммарной мощностью 280 МВт. Стоимость данных двух проектов составила около 1 млрд. долл. США. Строительство совместно финансировали: правительство Кении, электрогенерирующая компания страны (*KenGen*), Всемирный банк, Европейский инвестиционный банк, фонды развития Франции, Германии и Японии. В сооружении принимали участие специалисты *Hyundai Engineering* и *Toyota Tshusho*. В результате государственных программ расширения использования геотермальных ресурсов стоимость энергии с 2014г. для потребителей снизилась более чем на 30%.

По государственному плану развития страны до 2030г. «Взгляд в будущее (*Kenya vision*)» в стране запланировано бурение 566 новых скважин на трех геотермальных полях (*Olkaria*, *Menengai* and *Silali*) общей стоимостью 2,6 млрд долл США. Это позволит довести установленную мощность ГеоЭС страны до 2330 МВт к 2030г.

**Финансирование и риски.** Подготовительные работы и создание объектов геотермальной энергетики требуют огромных финансовых затрат и связано с высокими рисками. Группа Всемирного банка выделяет значительное финансирование на развитие геотермальной энергии в Кении с 1970 года. Банк предоставил финансирование для разведочного бурения, технико-экономических обоснований, разработки технических

проектов ГеоЭС и их сооружения через свою структуру Международную ассоциацию развития (МАР). Международная финансовая корпорация (МФК) поддерживает выработку электроэнергии частными инвесторами, в то время как Многостороннее агентство по гарантированию инвестиций (МАГИ) предоставило гарантии снижения рисков инвесторов.

Экономическая эффективность эксплуатации объектов геотермальной энергетики определяется в значительной мере государственной политикой в области освоения ВИЭ. Государственная поддержка использования возобновляемых энергоисточников (Feed-in-Tariff), обеспечивающая более высокую закупочную стоимость электроэнергии была введена в Кении в 2008г. – одной из первых среди африканских стран.



Расположение районов геотермальных полей на территории Кении в зоне Восточно-Африканской системы разломов [4].

**Перспективы использования геотермальных ресурсов в Кении.** Энергетический потенциал геотермального поля Олкаррия по экспертным оценкам составляет около 2000 МВт. И по планам министерства энергетики Кении в ближайшие четыре года планируется ввести в строй еще 560 МВт ГеоЭС (4 блока по 140 МВт)(Таблица). Осуществляется также разработка на разных стадиях других перспективных проектов:

**Проект ГеоЭС Мененгай.** Геотермальный участок распложен в восточном секторе Африканской рифтовой системы, в 180 км к северо-западу от Найроби. Перспективная мощность - 400 МВт. Геотермальная компании Кении широко привлекает к освоению геотермальных ресурсов иностранный капитал. Так в тендере на сооружение первой очереди данной ГеоЭС были отобраны 9 фирм. Ввод в строй запланирован на декабрь 2016г., стоимость проекта - 746 млн долл. США [5].



Проект Силали-Богория. Вулкан Сисали является крупнейшей кальдерой в зоне Восточно-Африканского разлома. Температура множества fumarol и термальных источников составляет 65-90 °С. Технический потенциал геотермальных ресурсов оценен в 800 МВт. в сентябре 2011 г. государственная Геотермальная компания Кении выдвинула в конце 2011г. тендер на разработку данного проекта с участием в нем 19 компаний, в том числе Toshiba, Mitsubishi, Alstrom and General Electric, и будут отобраны 8 компаний – каждая на строительство одной ГеоЭС по 100 МВт мощности. Немецкий банк развития (KfW) выделил 113 млн долл США в виде займов для бурения разведочных и 20 оценка геотермальных скважин в рамках первого этапа проекта Богория-Silali в Кении. Бурение скважин Кения будет осуществлять в семи областях: Богория, Азури, Баринго Короси, Силали, Липака, Чепчак. По сообщению государственной компании Геотермального развития (GDC) к 2017 г. будет начат первый этап ГеоЭС Богория-Силали (200 МВт)[3,4].

Таблица. Планы сооружения Геотермальных электростанций государственной энергокомпанией в Кении до 2018г.

Наименование проекта ЭС	Мощность, МВт	План ввода в строй	Примечания
Олкария I - блоки 4 и 5	140	Январь 2013г.	Введены в 2014г.
Олкария IV – блоки 1 и 2	140	Май 2014г.	Введены в 2014г.
Олкария I – блок 6	70	Июль 2016г.	
Олкария II – блок 4 и 5	140	2018г.	
Олкария IV- блок 3	70	Июнь 2015	
Олкария IV – блоки 4 и 5	140	Июнь 2016г.	
Олкария V- блоки 1и 2	140	2017г.	

Источник: Kenya Electricity Generating Company (KenGen), <http://www.kengen.co.ke/current>

Проект ГеоЭС Сусва. Потенциальные ресурсы данного геотермального поля в районе вулкана Сусва составляют около 750 МВт. Начало первого этапа в 150 МВт планируется на 2016г. Подготовительные работы уже начаты, привлекаются инвесторы для участия в проекте.

Проект ГеоЭС Лонгонот. Международная компания AGIL (Africa Geothermal International (Kenya) Ltd получила в 2009г. грант министерства энергетики Кении и концессию на 30 лет геотермального поля Лонгонот площадью 132 кв.км, расположенного в зоне Великого Африканского Разлома южнее оз.Найваша для разработки проекта ГеоЭС. С 2018г. планируется начать бурение 17 скважин, составить технический проект на сооружение электростанции, энергия которой будет продаваться в государственную энергосеть [6].

**Ветроэнергетика.** Среднегодовые значения скорости ветра составляют на территории страны 8-14 м/с. С 2011 г. разрабатывается проект строительства в Кении мощной ВЭС «Туркана» - 300 МВт на восточном берегу оз.Туркана в провинции Марсабит. Стоимость проекта оценена в 873 млн. долл США, поскольку необходимы крупные вложения в развитие инфраструктуры (дорог и ЛЭП) для проведения работ. Кредит AfDB в 150 млн долл США в мае 2013г. правительству Кении на строительство дороги для данного проекта позволил начать завоз оборудования и сооружение данной ВЭС. В финансировании проекта принимают участие банки развития Дании и Нидерландов, Европейский инвестиционный банк и африканский банк развития (AfDB).

Будет введено в строй 365 ВЭА, площадь ВЭС составит 40 тыс акров. Ветроэлектростанция намечена к вводу на конец 2017г., первая очередь ВЭС в 90 МВт уже начала работать в сентябре 2015г. Ввод в строй ВЭС Туркана (Марсабит) позволит увеличить выработку электроэнергии в стране на 17%, а низкая стоимость вырабатываемой электроэнергии на данной ВЭС понизит среднюю стоимость производства ЭЭ в стране, т.к. сейчас она составляет в Кении 0,12 долл. за кВт/ч. ВЭС даст экономию Кении в 150 млн долл в год за счет замещения ископаемого использования топлива и доход в бюджет около 1 млрд долл за счет платежей налогов за весь период эксплуатации. На разной стадии разработки находятся также проекты:

1. ВЭС Ламу (LAMU Electrawinds) - 90 МВт
2. ВЭС Кипето (Kipeto Wind Project) – более 100 МВт
3. ВЭС Кинангоп Аелус – 60 МВт в центральной Кении при поддержке компании Великобритании Aelus Power.

**Освоение гелиоресурсов.** По данным оценок гелиоресурсов в стране были выделены 9 районов, наиболее перспективных для использования солнечной энергии. Среднее значение поступления солнечной радиации – около 4,5 кВт.час/кв.м в сут. Суммарная мощность солнечных фотоэлектрических установок составляет в настоящее время около 1,8 МВт (0,1% от установленной мощности всех электростанций в Кении). Тем не менее, в стране ставятся грандиозные цели по увеличению этой установленной мощности до 500 МВт к 2030 году

Программы размещения фотоэлектрических установок проводятся в стране преимущественно в сельской местности при международной финансовой поддержке и техническом оснащении европейскими фирмами. Мощности установок составляют преимущественно 10-50 кВт, для снабжения изолированных потребителей (школы, медпункты, теплицы). Однако имеется и несколько действующих сетевых гелиопроектов. Наиболее крупными сетевыми СЭС в настоящее время в Кении являются СЭС вблизи Nairobi (515 кВт по программе UNEP) и СЭС Manderu 300 кВт [7]. Правительством подписано в июле 2015г. соглашение о намерениях с канадской компанией SkyPower Global о сооружении крупнейшей в Африке фотоэлектрической СЭС мощностью 1 ГВт. По информации SkyPower выбор именно Кении в качестве такого партнера вызван успешным развитием других отраслей ВИЭ в стране.

Интересный проект под названием Kitonyoni развернулся в небольшом городке Макуени (Восточная провинция, округ Макуени). При совместном финансировании и технических работах (британская компания Energy for Development, кенийские предприниматели и жителями Макуени) были размещены фотогальванические установки суммарной мощностью на 14 кВт. Помимо таких стандартных положительных эффектов от создания установок по генерации электроэнергии из ВИЭ, как создание новых рабочих мест, удовлетворение нужд автономных потребителей, проект Kitonyoni имеет отличительную особенность. Округ Макуени характеризуется низким коэффициентом увлажнения и редкими осадками. Уникальная архитектура данных установок позволяет накапливать влагу во время дождливых сезонов. В городских условиях введен в строй крупный проект по установке солнечных фотоэлектрических панелей на крыше автомобильной стоянки крупного торгового центра в столице страны г. Найроби, основным инвестор, британская фирма Actis. Объем вырабатываемой электроэнергии позволит полностью обеспечить энергетическое снабжение торгового центра (порядка 1,26 МВт\*ч в год).

**Выводы.** Проведенный анализ состояния, тенденций и перспективных планов развития возобновляемой энергетики Кении показал, что государственное руководство страны широко привлекает к осуществлению проектов иностранные инвестиции и компании. Наиболее обширные планы намечены в области развития геотермальной энергетики. Проекты находятся на разных стадиях и для их дальнейших разработок

проводятся тендеры для кенийских и иностранных компаний. Российские компании имеют новые технические решения и большой опыт в области геотермальной энергетики, в частности проектирования и сооружения ГеоЭС бинарного типа [8]. ОАО «Силовые машины» уже принимало участие тендере в по сооружению ГеоЭС Менегай 60 МВт, а в тендере по проекту ГеоЭС «Сусва» принимала участие ведущая российская компания ПАО «РусГидро». Долгосрочные планы и политика правительства Кении на иностранное участие в освоении ВИЭ показывают перспективность и в дальнейшем принятия участи в тендерах по проектам геотермальной энергетики. Проведенное по распоряжению указанию Министерством энергетики обследование гидроэнергетического потенциала Кении позволило выделить 260 участков перспективных для сооружения МГЭС различной мощности с суммарным потенциалом около 500 МВт [7]. Российские компании, имеющие значительный опыт по проектированию, производству работ и выпуску гидротурбин разных типоразмеров, например «МНТО ИНСЭТ», также могли бы принимать участие в тендерах на строительстве.

### Список литературы

1. Adinet Pierre “Global Geothermal Development Plan” //ESMAP – World Bank Knowledge Exchange Forum with Bilateral Agencies AFD, Nov. 27-28 2012– Paris, pp.19.
2. Renewables 2015.Global status report// REN21/ UNEP, Paris, 2015, 251pp.
3. Официальный сайт Министерства Энергегетики и топлива Кении - Ministry of Energy & Petroleum <http://www.energy.go.ke/>
4. Официальный сайт геотермальной компании Кении «The Geothermal Development Company (GDC)» <http://www.gdc.co.ke/Geothermal Sites in Kenya>
5. Ruth Musembi “GDC’s geothermal development strategy for Kenya: Progress & Opportunities”// POWER AFRICA-Africa Union Commission geothermal roadshow September - October 2014.
6. Сайт проекта ГеоЭС Longonot <http://www.africa-geothermal.com/about-agil/>
7. DRAFT - NATIONAL ENERGY AND PETROLEUM POLICY/Ministry of Energy and Petroleum/ REPUBLIC OF KENYA, Nairobi, 2015
8. Томаров Г.В., Шипков А.А. Утилизация геотермальных ресурсов на основе преобразования энергии однофазного водного теплоносителя в бинарных установках //Альтернативная энергетика и экология. 2014.№18(158).С.55-64.

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Низов А.В., Тарасенко В.И.

Владимирский Государственный Университет им. А.Г и Н.Г Столетовых, Россия, г. Владимир,  
Россия.

В настоящей статье оценивается возможность использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) на территории Владимирской области. Оценивается потенциал солнечной энергии на территории Владимирской области.

In this paper we evaluated the use of renewable energy sources (renewables) in the Vladimir region. Estimated potential of solar energy in the territory Vladimir region.

**Ключевые слова:** Альтернативные источники энергии, энергосбережение, солнечная энергия, НВИЭ, нетрадиционные, возобновляемые, экономия, гелиоустановки, солнечный коллектор.

**Keywords:** Alternative energy sources, energy conservation, solar energy, renewable energy, alternative, renewable, saving, solar, solar collector.

Кафедра теплогазоснабжения вентиляции и гидравлики (ТГВиГ) Владимирского государственного университета, согласно федеральному закону № 34-ФЗ от 04. 11.1994г. "О ратификации Рамочной конвенции ООН об изменении климата" стала больше уделять внимания использованию в научно-педагогической деятельности использованию альтернативных источников. Произведен анализ состояния и применения солнечной, ветровой, гидро-, термо- и биоэнергии, низкопотенциальных источников тепла для Владимирской области. Наиболее перспективными для области явились солнечная, гидро-, биоэнергия.

Анализ показал, что солнечная энергия рассматривается сегодня как наиболее технологически доступный и экономически целесообразный вид возобновляемой энергии на территории области. Владимирская область относится к регионам России, где имеет место использования солнечной энергии для целей энергосбережения. Число солнечных дней в среднем по Владимирской области составляет 150, при продолжительности солнечного сияния более 1750 часов. Среднегодовая инсоляция солнечного излучения на горизонтальную поверхность составляет 118 Вт•ч/м<sup>2</sup>. Среднемесячная инсоляция на горизонтальную поверхность в первый квартал года составляет 70 Вт•ч/м<sup>2</sup>, второй 210 Вт•ч/м<sup>2</sup>, третий 177 Вт•ч/м<sup>2</sup>, четвертый 40 Вт•ч/м<sup>2</sup>. Среднемесячная инсоляция на горизонтальную поверхность с марта по сентябрь составляет 183 Вт•ч/м<sup>2</sup> (если использовать энергию с одного квадратного метра для нагрева воды с 5 до 50 град.С, этого тепла хватит на нагрев 80л воды в день). Продолжительность отопительного периода 213 суток.

Наиболее оптимальная область использования солнечной энергии – это нагрев воды и воздуха, горячее водоснабжение и отопление помещений.

В России нормативная база по использованию солнечной энергии сильно устарела (ВСН 52-86 Установки солнечного горячего водоснабжения - 1986г), а законодательная база требует усовершенствования. В последние годы разработан ряд нормативных документов по возобновляемым источникам энергии.

С апреля 2000 г. в Германии действует Закон о возобновляемых энергиях (Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz-EEG). Он способствует развитию производства всех видов возобновляемой энергетики и регулирует возмещение затрат на производство энергии от нетрадиционных источников.

При анализе потенциала Владимирской области в использовании солнечной энергии, можно сделать вывод, что поток солнечного излучения достаточен для использования и экономии традиционных видов топлива. Нами был выполнен аналитический расчёт требуемой площади солнечного коллектора для обеспечения 1

человека горячей водой с марта до середины сентября. Аналитический расчёт показал, что для обеспечения бесперебойного обеспечения горячей водой одного человека достаточно 8 квадратных метров плоских солнечных коллекторов. В пересчёте на газ позволят сэкономить с мая по август 240 м<sup>3</sup> природного газа.

Действовать взвешенно с точки зрения охраны окружающей среды означает, что применение гелиоколлекторной установки следует планировать не только для приготовления горячей расходной воды, но и для поддержки системы отопления. Понятно, однако, что гелиоустановка может отдавать тепло только при условии, если температура в обратном трубопроводе отопления ниже температуры в гелиоколлекторах. Поэтому идеальным вариантом является их применение для приборов с большой площадью нагрева и низкими температурами в системе или для систем отопления пола.

Мы оценили потенциал для Владимирской области солнечного излучения, приходящегося на 8 кв.м. площади и сравнили с потребностями 4 жильцов, 2х этажного дома в отоплении и горячем водоснабжении (Рис. 1)

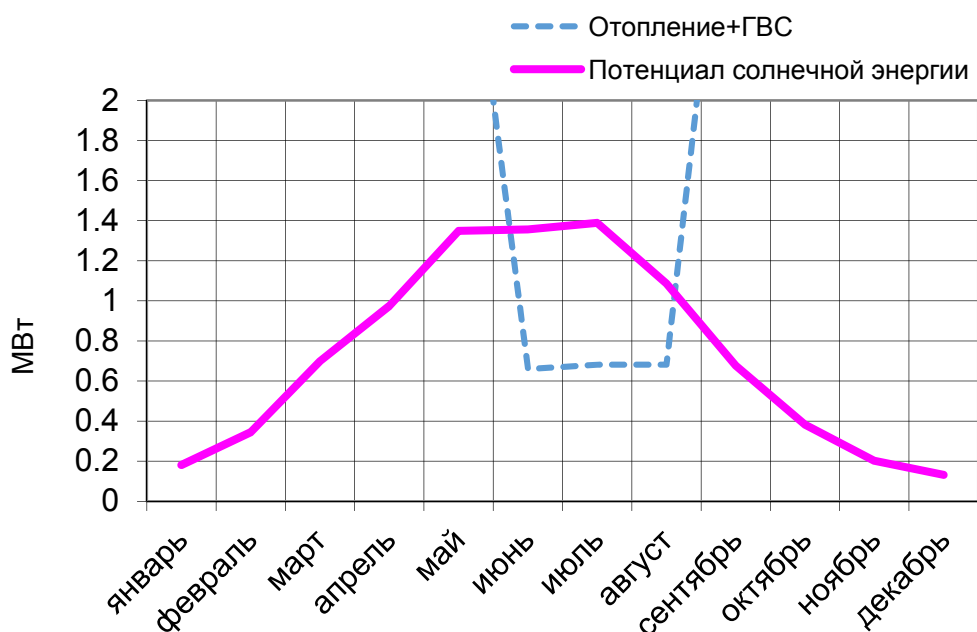


Рис.1. Потенциал солнечной энергии на теплоснабжение 2х этажного дома с количеством жильцов 4

Экономия составила:

- Солнечное излучение падающее на 8 кв.м. способно обеспечить бесперебойное обеспечение ГВС, при этом экономия за данный период времени составит 4 МВт (приблизительно 480 м.куб. газа).
- Комбинирование с отоплением и ГВС, позволит экономить с марта по сентябрь 6 МВт (приблизительно 720 м.куб. газа).
- Избыток тепла с середины июня по середину августа составит 1,36 МВт.
- В переходные периоды с марта по июнь и с середины сентября по середину октября составит 2,9 МВт и 0,9 МВт соответственно.

В результате можно сделать вывод, что при использовании всей солнечной энергии приходящейся на 8 кв.м., может обеспечить с марта по середину сентября бесперебойным горячим водоснабжением и частично отопление. Экономия от использования составит 6 МВт ежегодно (приблизительно 720 м.куб. природного газа).

Практическая задача, стоящая перед разработчиками и создателями различного вида солнечных установок, состоит в том, чтобы наиболее эффективно "собрать" этот поток энергии и преобразовать его в нужный вид энергии (теплоту, электроэнергию) при наименьших затратах на установку. Простейшим и наиболее дешевым способом использования солнечной энергии является нагрев бытовой воды в так называемых плоских солнечных коллекторах. Более сложными являются устройства с вакуумными солнечными коллекторами. В солнечные летние дни разницы в работе хороших плоских и вакуумных солнечных коллекторов практически незаметна. Однако при низкой температуре окружающей среды преимущества вакуумных коллекторов становятся очевидны. Также, даже в летнее время есть разница в между максимальными температурами нагрева воды в коллекторах. Если для плоских коллекторов максимальная температура не превышает 80-90 градусов, то в вакуумных коллекторах температура теплоносителя может превышать 100 °С. С одной стороны, это требует постоянного отвода тепла от вакуумного коллектора, чтобы он не закипел. Однако с другой стороны, в системах с плоскими коллекторами существует проблема размножения бактерий и других микроорганизмов, которой нет в системах с вакуумными коллекторами.

В качестве расчёта был выбран плоский солнечный коллектор с двойным остеклением. Сопротивлением теплопередачи 0,22 м<sup>2</sup>\*К/Вт и коэффициентом переноса солнечной энергии к жидкости 0,85. Построена зависимость площади коллекторов от месяца года, для обеспечения нормируемого объёма горячей воды в сутки на 1 человека (Рис. 2).



Рис. 2

В зимний период года для поддержания бесперебойного горячего водоснабжения и отопления недостаточно. При совмещении гелиосистем с традиционными источниками теплоснабжения (отопительные котлы работающих на природном газе, дровах, мазуте, пилетах), использованием современных теплоизоляционных материалов в конструкции дома. Применение этих методов позволит сократить затраты на отопление и горячее водоснабжение.



Рис. 3

В настоящее время для проверки теоретических и практических расчетов разработан проект и построено два дома - г. Владимир и г. Собинка фирмой "Аквастер", которые показали эффективность использования солнечной энергии на территории Владимирской области (Рис. 3).

### Список литературы

1. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М.: Наука 2004.
2. Википедия (Владимирская область) [http://ru.wikipedia.org/wiki/Владимирская\\_область](http://ru.wikipedia.org/wiki/Владимирская_область)
3. Метеоданные Владимирской области <http://vladimir-meteo.ru/vladimir/pivot/solar-cooking>.
4. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии Учебное издание. — М.: ИП РадиоСофт, 2008.— 228 с:
5. СНиП 2.04.01-85\* «Внутренний водопровод и канализация здания».
6. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».
7. ГОСТ Р 51238-98 "Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая."
8. ГОСТ Р 51594-2000 "Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика."
9. ГОСТ Р 51595-2000 "Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия."
10. ГОСТ Р 51596-2000 "Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний."
11. ГОСТ Р 51597-2000 "Нетрадиционная энергетика. Модули солнечные фотоэлектрические."
12. ГОСТ Р 51990-2002 "Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические"

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ АЭРОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Николаев В.Г., Сон Э.Е., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В.

В докладе изложены результаты разработки научных принципов, практических технических решений и функциональной схемы автономного энергоисточника, построенного на базе передовых российских и мировых технологий получения сжатого воздуха с использованием ВЭУ нового типа и его пневматического преобразования, аккумулирования и использования в качестве энергоносителя для гарантированного безтопливного получения электроэнергии и тепла.

The report presents the results of the development of scientific principles, practical technical solutions and functional scheme of an autonomous power source, built on the basis of advanced Russian and foreign technologies for the production of compressed air using wind turbines of new type and pneumatic conversion, storage and use as an energy source for guaranteed fuel-free electric power and heat generation.

**Ключевые слова:** безтопливный источник энергии, ветроэнергетическая установка, компрессор, ресивер, воздушная турбина, автономное энергоснабжение

**Keywords:** fuel-free energy source, wind turbine, compressor, receiver, air turbine, autonomous power supply

Материалы и выводы представленной работы основаны на результатах исследования и разработки коллектива ИВТАН РАН в рамках Программы РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития арктической зоны РФ».

Эффективность и достоверность достижения целей работы обеспечивается использованием максимально эффективных и достоверных методик определения ветроклиматических характеристик и эффективности ВЭУ в пунктах потребления энергии и выбором на этой основе оптимального состава и параметров (типоразмеров, мощности, емкости, конструкционных особенностей, ремонтпригодности и пр.) автономного энергетического комплекса на базе ВЭУ и аккумулирующих энергию устройств с использованием сжатого воздуха в качестве энергоносителя.

Актуальность работы связана с необходимостью повышения автономности, надежности, экономичности, экологической безопасности энергоснабжения промышленных, технологических и военных объектов и населения в изолированных пунктах российской Арктики и отсутствием в России и в мире обоснованных научно-технических эффективных решений проблем автономного энергоснабжения локальных потребителей энергии в арктических условиях. Экономичное и экологически чистое энергообеспечение объектов арктической зоны России - одна из ключевых проблем освоения Арктики в XXI веке.

Практический опыт эффективного (надежного и экономичного) использования автономных источников энергоснабжения потребителей в арктической зоне на базе совмещения ВЭУ и систем аккумулирования и преобразования энергии на пневматическом принципе в мире в настоящее время отсутствует.

Проведенное авторами исследование нацелено на разработку научных принципов, практических технических решений и опытного образца автономного энергетического комплекса, построенного на базе передовых российских и мировых технологий получения сжатого воздуха с использованием ВЭУ нового типа и его пневматического преобразования, аккумулирования и использования в качестве энергоносителя для гарантированного безтопливного получения электроэнергии и тепла.

Основными проблемами и соответственно этапами научно-технического поиска и разработки энергетических источников, предлагаемых авторами, является теоретическое и экспериментальное исследование:



- климатических факторов, ветроэнергетического потенциала (ВЭП) арктической зоны России применительно к разработке ВЭУ в северном исполнении и аккумулирующих энергию пневматических систем новых типов и назначения;
- разработка принципиальных схем и технического облика ВЭУ для работы в ветроклиматических условиях российской Арктики;
- поиск и разработка принципиальных и технических схем высокоэффективных систем и прогрессивных технологий получения сжатого воздуха и его пневматического преобразования, аккумулирования и использования в качестве эффективного энергоносителя для получения электроэнергии и тепла;
- техническое подтверждение возможности практической реализации теоретически полученных научно-технических принципов на основе разработки функциональной схемы и создания опытного образца энергетического комплекса электрической мощности  $8 \div 10$  кВт;
- технико-экономическое обоснование инвестиций перспективных схем энергоснабжения на разработанных принципах ряда портов Северного Морского Пути с учетом установленных в работе местных ветро-климатических факторов и параметров энерго-снабжения; определения объема рынка сбыта разработанного энергетического комплекса.

Эффективность и достоверность достижения целей настоящей работы обеспечивается использованием максимально эффективных и достоверных методик определения климатических характеристик ВЭП и эффективности ВЭУ в заданных пунктах российского Заполярья и выбором на этой основе оптимального состава и параметров (типоразмеров, мощности, емкости, конструкционных особенностей, ремонтпригодности и пр.) автономного энергетического комплекса на базе ВЭУ и аккумулирующих энергию устройств с использованием сжатого воздуха в качестве энергоносителя.

В ходе работы авторами были получены следующие результаты.

Применительно к определению технических требований к ВЭУ и системам аккумулирования сжатого воздуха проведена разработка методик моделирования временной и пространственной изменчивости ВЭП в полярных районах. Разработанные методики определения временной краткосрочной (масштабов от минут до суток) и сезонной и пространственной (территориальной и высотной) изменчивости и модели ветро-климатических условий и ВЭП в опорных пунктах Северного Морского Пути основаны на физико-статистическом моделировании на базе комплексного использования данных о пограничном слое атмосферы (давлении, температуре, плотности, влажности, ветре, турбулентности, опасных для техники метеорологических явлениях и пр.) и геофизических характеристиках Земли (рельефе, подстилающей поверхности, грунтах, вечной мерзлоты и пр.), полученных и получаемых в ходе многолетних сетевых и специальных краткосрочных метеорологических, аэрологических (шаропилотных), спутниковых, экспедиционных геологических и геофизических изысканий [1, 2].

Ветровой режим в исследуемой в данной работе заполярной зоне России определялся и оценивался теоретически моделированием ВЭП и мощности ВЭУ по данным измерений ветра и термодинамических параметров ПСА на сети государственных метеорологических (числом до 600) и аэрологических (около 60) станций России и бывшего СССР (базовые периоды от 10 до 40 лет) и специализированных под задачи ветроэнергетики краткосрочных (за 1 – 2 года) трехуровневых измерений на метеорологических мачтах в высотном диапазоне 10 – 60 м (ветровой разведки) в отдельных пунктах российского заполярья, проведенных в разные годы силами РАО ЭС Востока [2].

Разработанные методики обеспечивают теоретическое высокоточное (с погрешностью не выше 15–18 %) моделирование параметров ВЭП в любой заданной координатной точке на территории российского заполярья и определение параметров временной изменчивости с масштабами от нескольких минут до сезонных и межгодовых. Методики отлажены и апробированы на примере важнейших опорных пунктов Северного Морского Пути: Тикси, Певек, мыс Шмидта, Анадырь. Для примера на рисунках 1 и 2 приведены графики рассчитанных средних многолетних сезонных вертикальных профилей и функций распределения скоростей ветра в районе поселка Тикси, а также результаты исследования кратковременных (с минутным и суточным масштабом) пульсаций скоростей ветра.

На базе разработанной методики в исследуемых пунктах определены ветроклиматические условия функционирования и технические характеристики и требования к базовым ВЭУ, а также определены с учетом графиков нагрузки необходимые объемы и технические параметры системы аккумулирования сжатого воздуха и компрессорных установок для прототипа автономного энергокомплекса гарантированного безтопливного получения электроэнергии и тепла с использованием сжатого воздуха как энергоносителя.

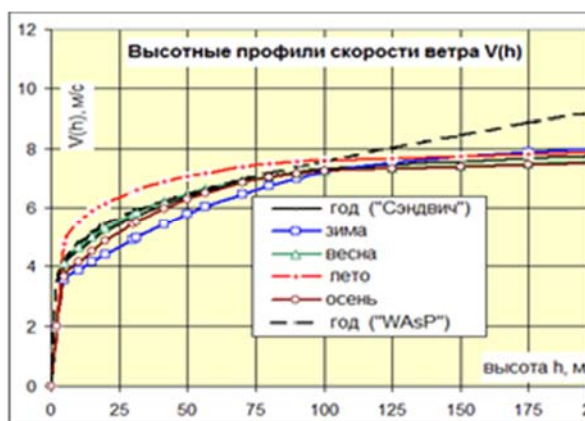


Рис.1. Расчетные высотные профили скорости ветра  $V(h)$  в районе п. Тикси

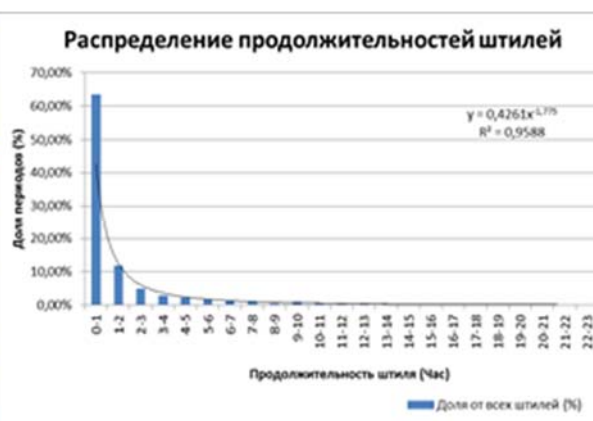


Рис.2. Плотность вероятности распределения длительности штилей в районе п. Тикси

Основными результатами и выводами этапа разработки методики моделирования и определения с ее помощью пространственно–временной структуры ВЭП и климатических условий функционирования заполярных источников гарантированного автономного энергоснабжения (ИГАЭС) на базе ВЭУ и систем аккумулирования сжатого воздуха, а также конструкционных и технических требований к ним явились:

– ВЭП в большинстве пунктов СевМорПути (Диксон, Тикси, Певек, м. Шмидта, Анадырь) достаточен по международным критериям для эффективного промышленного освоения. Среднегодовые скорости и удельные мощности ветра в районе ряда портов Северного Морского Пути составляют соответственно от 7 до 9 м/с и от 550 до 900 Вт/м<sup>2</sup>, а годовое число часов работы с номинальной мощностью наиболее совершенных в настоящее время ВЭУ при этом может достигать 2500 – 3300.

– Для разработки заполярных ИГАЭС требуется создание специализированных под северные ветроклиматические и геофизические условия (низкие температуры, высокая турбулентность, вечная мерзлота и пр.) отсутствующих в настоящее время ВЭУ и технологий работы с ними.

– Функции вероятности распределения ветра по скоростям, установленные в работе статистическим анализом временных рядов многолетних метеорологических и аэрологических 4-х и 8-ми срочных сетевых измерений и краткосрочных данных

ветровой разведки с 10-минутным разрешением, позволили установить с высокой достоверностью длительность интервалов с достаточной мощностью ветра, а также периодов безветрия и слабого ВЭП (менее потребляемой мощности ИГАЭС с длительностью, варьирующейся вдоль Северного Морского Пути и в разные сезоны от 36 до 72 часов.

В плане разработки физических принципов, принципиальных схем ИГАЭС и определение технических параметров ее элементов и требований к ним проведены следующие работы по разработке принципиальной схемы ИГАЭС на базе ВЭУ и систем аккумулирования, подачи и преобразования энергоносителя – сжатого воздуха и получены следующие результаты:

– На основе анализа графиков потребления электроэнергии и тепла промышленными и жилыми объектами российского заполярья установлены критерии оценки энергетической эффективности и требования к техническим и энергетическим характеристикам ИГАЭС в целом и их принципиальным составляющим.

– Разработаны идеологическая основа, физические принципы и принципиальная схема функционирования ИГАЭС на базе ВЭУ и пневматического преобразования энергии ветра в электроэнергию и тепло для работы в условиях российской Арктики и поэлементный ее состав (рис. 3).

– Определены основные физико-технические и энергетические параметры основных компонент (технические характеристики и мощности ветроэнергетической установки, необходимые объемы системы аккумулирования, технических параметров пневмодвигателя и электрогенератора) прототипа ИГАЭС.

– Проведен информационный поиск аналогов отдельных элементов, составляющих основу ИГАЭС (ВЭУ, воздушных компрессоров различного типа, газгольдеров высокого давления, регулирующей давление аппаратуры, пневмодвигателей поршневого и турбинного типа, электрических генераторов, систем преобразования и контроля качества электроэнергии и пр.) и проведен анализ их энергетических характеристик и оценки возможных потерь в каждом из них и их совокупности в целом [4, 5, 6].

На основе проведенного информационного анализа было установлено:

– Разработанные аналоги предлагаемой схемы ИГАЭС отсутствуют. Аналоги составляющих основу ИГАЭС отдельных элементов (ВЭУ, компрессоров, газгольдеров и редукторов высокого давления, пневмодвигателей, электрогенераторов и пр.) разработаны, производятся, широко и разнообразно (по типам, размерам, конструкции, энергетической эффективности и ценам) представлены на рынке и могут быть использованы для разработки экспериментального прообраза ИГАЭС. Возможные варианты их типоразмеров, состава и компоновки в прообразе ИГАЭС многочисленны и допускают большие возможности для энергетической и экономической оптимизации.

– Для разработки заполярных ИГАЭС требуется создание отсутствующих в настоящее время ВЭУ, специализированных под схему ИГАЭС (высокий развиваемый момент и избыточная по сравнению с потребляемой мощностью), допускающих возможность строительства и обладающих высокой технической готовностью, эксплуатационными и ремонтными характеристиками в условиях российского заполярья (низкие температуры, высокая удельный импульс и порывистость ветра, вечная мерзлота и пр.).

– Мощность ВЭУ и системы аккумулирования, подачи и преобразования энергоносителя для ИГАЭС (сжатого воздуха) должны обеспечивать гарантированную выработку электрической энергии и, по возможности, тепла по заданному графику нагрузки в течении всего года, в том числе в периоды безветрия и слабого (менее требуемой потребителю мощности) ВЭП с длительностью, варьирующейся для разных пунктов вдоль СевМорПути от 36 до 60 часов.

	Элемент энергокомплекса	Функциональное назначение
1	Ветроэнергетическая силовая установка	обеспечивает работу компрессорной системы высокого давления большой производительности
	↓	
2	Компрессорная система высокого давления (до 5 – 10 Па ) большой (до сотен м <sup>3</sup> /мин) производительности сжатого воздуха	обеспечивает наполнение большого (достаточного для энергообеспечения на случай возможных 2–3-суточных ветроэнергетических штилей) ресивера сжатым воздухом под высоким давлением (до 10 Па)
	↓	
3	система пневматического отвода и распределения тепла	обеспечивает пневмопередачу тепла системе обогрева энергокомплекса, на осушитель воздуха, пневмотурбину и потребителю
	↓	
4	осушитель воздуха	обеспечивает осушение воздуха
	↓	
5	ресивер-аккумулятор сжатого воздуха	содержит сжатый воздух под большим и переменным давлением
	↓	
6	дрессельный регулятор	Обеспечивает подачу воздуха на пневмодвигатель с заданным давлением порядка 0.6 – 1.0 Па
	↓	
7	Пневмодвигатель: вихревая турбина высокой эффективности с системой отвода холода потребителю	Обеспечивает вращение вала электрогенератора с постоянной скоростью и отвод холодного воздуха потребителю
	↓	
8	Высокоэффективный электрический генератор	Работает с постоянными или переменными оборотами и обеспечивает гарантированную выработку и подачу электроэнергии потребителю

Рис. 3. Принципиальная схема ИГАЭС

– Проведенные термодинамические оценки показывают, что потенциальная энергия 1 м<sup>3</sup> воздуха, сжатого до давления 100 атм (промышленная технология производства и хранения которого освоена), составляет около 107 Дж (2.8 кВт·ч), а освоенные технологии его преобразования в электроэнергию с КПД порядка 0.7 позволяют получить до 2 кВт·ч. Для оценки, для ИГАЭС гарантированной мощности 100 кВт объем сжатого до 100 атм воздуха, запасенного на случай 48 часового (2-х суточного) безветрия составит 2400 м<sup>3</sup>.

– Современные компрессорные установки высокого давления, наиболее перспективными из которых для ИГАЭС могут оказаться винтовые, имеют КПД порядка 0.7. Соответственно минимальная мощность, передаваемая от ВЭУ на вал двигателя компрессора ИГАЭС с гарантированной мощностью 100 кВт, обеспечивающая покрытие графика нагрузки, должна составлять около 200–220 кВт, а с учетом установленной для запылярья вероятности длительных затиший и энергетической эффективности ВЭУ,

двигатель компрессора должен быть обеспечен примерно 1,5–кратным запасом мощности, то есть порядка 300 – 330 кВт.

– Согласно оценкам, установленная мощность ВЭУ в составе ИГАЭС, работающая в качестве механического привода компрессорной установки, для гарантированного покрытия графика нагрузки мощностью 100 кВт, должна составлять 900 – 1000 кВт.

Оценки экономических показателей разработанной схемы ИГАЭС и их сравнения с альтернативными способами энергоснабжения проведены с учетом экономических показателей современных ветроэнергетических технологий [7] на примере п. Тикси – одного из основных портов Северного Морского Пути и перевалочного пункта авиационных сообщения центра РФ с российским сибирским и дальневосточным заполярьем (рис. 4).

1	ДЭС x 2 2x800 \$/кВт	+	Сист. подачи 200 \$ / кВт					=	Источник ЭлЭн 1800 \$ /кВт
2	ГТУ 650 \$/кВт	+	Сист. подачи 650 \$/кВт					=	Источник ЭлЭн 1300 \$ /кВт
3	ПНТУ 600 \$ / кВт	+	ВЭУ 2400 \$ / кВт	+	Ресивер 600 \$ / кВт	+	Сист. подачи 200 \$ / кВт	=	Источник ЭлЭн 3800 \$ /кВт
4	ВЭУ 2000 \$ / кВт	+	ДЭС x 2 2x800 \$/кВт	+	Эл. Аккумулят. 800 \$ / кВт	+	Сист. Управл. 300 \$ / кВт	=	Источник ЭлЭн 4700 \$ /кВт

Рис. 4. Оценка капитальных затрат возможных способов энергоснабжения: 1 – ДЭС, 2 – ГТУ, 3 – ИГАЭС, 4 – ВДК

Согласно проведенным оценкам экономических показателей разработанной схемы ИГАЭС и их сравнения с альтернативными способами энергоснабжения, удельные (на 1 кВт установленной мощности) капитальные затраты ИГАЭС на базе ВЭУ с механическим приводом и пневматической аккумуляцией и преобразованием энергии может оказаться примерно на 20 – 25 % ниже, чем у наиболее часто рассматриваемых ветро-дизельных комплексов с электрическими аккумуляторами.

Удельные капзатраты на ИГАЭС предлагаемой схемы окажутся в 2–3 раза выше, чем у ветро-дизельных комплексов (ВДК) и газотурбинных установок (ГТУ) без систем аккумулирования энергии, однако с учетом их топливной составляющей (от 8 руб./кВт·ч и выше) во многих пунктах российского севера себестоимость электроэнергии ИГАЭС может оказаться в полтора – два раза ниже таковой у дизельных электростанций (ДЭС).

Ввиду полученных в данной НИР результатов, подтверждающих перспективность предложенной принципиальной схемы ИГАЭС на базе ВЭС и систем пневматического аккумулирования и преобразования энергии, представляется целесообразным продолжить научно-техническую и конструкторскую разработку схемы ИГАЭС и ее экономическому обоснованию. Для технического подтверждения возможности и практической реализуемости теоретически полученных научно-технических принципов и результатов предлагается разработать экспериментальный образец ИГАЭС электрической мощности 8 ÷ 10 кВт.

Разработанные в данной работе результаты подтверждают техническую и экономическую целесообразность создания безтопливного энергоисточника нового типа на базе ВЭУ и систем пневматического аккумулирования и преобразования энергии.

Практическая значимость разработанной и предлагаемой технологии обусловлена следующими возможностями:

- экономии (до 100 %) дизтоплива и кардинального сокращения объемов “северного завоза”;
- снижения тарифов на электроэнергию и тепло в изолированных районах России;
- использования российской технологической и производственной базы для серийного выпуска разработанного энергетического комплекса и организация новых высокотехнологичных рабочих мест;
- решения проблемы энергетической безопасности РФ за счет автономности энергоснабжения на неисчерпаемом ресурсе (воздухе) и импортозамещения ДЭС;
- решения экологических проблем Севера.

#### **Список литературы.**

1. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов РФ и методические основы их определения. “Атмограф”, М., 2008, 590 с.
2. Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития и использования ветроэнергетики в России. “Атмограф”, 2011. 502 с.
3. Николаев В.Г., Ганага С.В., Перминов Э.М. Перспективы развития мировой и отечественной ветроэнергетики. Приложение к журналу “Энергетик”. 2012, Выпуск 8, 9, 10, М., НТФ “Энергопрогресс”, 313 с.
4. Шефтер Я.И.. Ветроэнергетические агрегаты. М., “Машиностроение”, 1972, 288 с.
5. Левин В. И. Профессии сжатого воздуха и вакуума. — М.: Машиностроение, 1989. 256 с.
6. European Wind Farm Project Cost. History and Projection. 2008. Garrad Hassan – Enova. 2009.
7. Wind Energy – The Facts. A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power. European Wind Energy Association (EWEA). Earthscan. London. 2009.

## РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ВЭУ МЕГАВАТТНОГО КЛАССА И АНАЛИЗ ПРЕДЛАГАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Нырковский В.И.**

ОАО ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка»  
Корпорация Тактическое Ракетное Вооружение

ОАО ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка», входящее в Корпорацию Тактическое Ракетное Вооружение - единственное машиностроительное предприятие России, имеющее опыт создания, производства, монтажа и испытания ВЭУ мегаваттного класса. При проведении НИОКР в период с 1990 года по настоящее время накоплен большой объём знаний в теории и практике ветроиндустрии, проведена системная аналитическая, экспериментальная и испытательная работа по основным существующим в мире конструктивным схемам ВЭУ, определён наилучший тип конструкции и разработаны принципы адаптации мировых конструкций к отечественным условиям производства и эксплуатации, а также выявлены мировые тенденции развития конструкций ветроэлектрических установок.

В указанный период предприятием были созданы ВЭУ различных мощностей:

- Малой мощности 1...16кВт, см. рис. 1;
- Средней мощности 250кВт;
- Мегаваттного класса 1000кВт, см. рис. 2.



Рис. 1 ВЭУ Радуга 16кВт



Рис. 2 ВЭУ Радуга 1000кВт

ВЭУ мощностью 1, 8, 16 и 1000 кВт были изготовлены и испытаны. Произведены они были полностью на территории России, по современной терминологии локализация их изготовления составила 100%.

С началом работ по созданию ВЭУ был изучен современный и исторический мировой опыт создания и применения ВЭУ. При изучении теоретических и практических вопросов ветроэнергетики проведен очень большой объём научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, при котором были оценены все основные конструктивные схемы ВЭУ как теоретически, так и практически проведением экспериментов и испытаний в аэродинамических трубах и в реальных условиях.

Одновременно за истёкший период отслеживалось мировое развитие ВЭУстроения, тенденции совершенствования конструкций, новые конструктивные схемы, создаваемые и изобретаемые как в России, так и за рубежом.

В общем случае ВЭУ можно классифицировать по следующим базовым характеристикам:

- по положению оси вращения ветроколеса относительно набегающего потока (параллельно или перпендикулярно), см. рис. 3;

- по процессу создания усилия на ветроколесе (за счёт подъёмной силы лопасти или за счёт силы сопротивления), см. рис. 4.

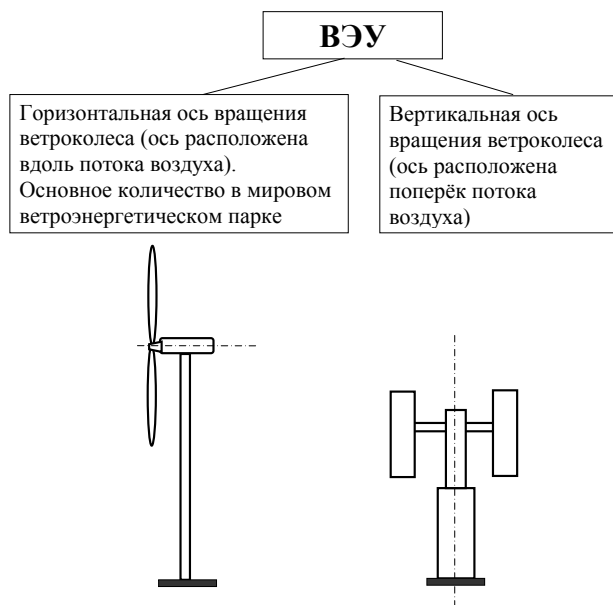


Рис. 3

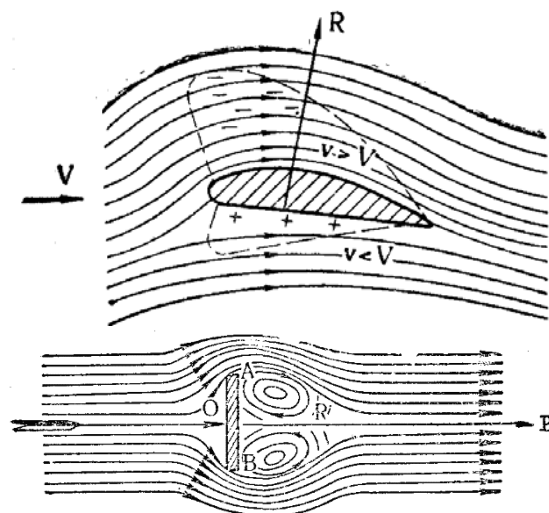


Рис. 4

Всё остальное множество удачных и не очень конструкций ВЭУ связаны с конструкцией лопастей, наличием направляющих поток каналов и поверхностей и т.п.

Как правило, авторы большинства изобретений ВЭУ акцентируются на решении каких либо частных задач в конструкции ВЭУ и решив их, полагают задачу изобретения наилучшей ВЭУ выполненной. Например: плюсом вертикальноосевой ВЭУ указывают удобное размещение генератора – вблизи земли и отсутствие необходимости отслеживать направление ветра. При этом оставляют без внимания намного более важные проблемы, такие как сниженный коэффициент использования энергии ветра, защита ВЭУ при буревом ветре, отсутствие возможности регулирования момента вращения на ветроколесе при ветрах выше номинального расчётного.

Результатом проведенных «ГосМКБ «Радуга» работ и исследований стало твёрдое убеждение, что наилучшим решением конструкции ветроколеса является трёхлопастное ветроколесо с лопастями аэродинамического профиля и с горизонтальной осью вращения параллельной набегающему потоку. За последние 100 лет каких-либо принципиально новых и более эффективных конструктивных схем не создано, что подтверждает вся история ветроэнергетики.

Такие ветроколёса сочетают наилучшие качества:

- наивысший практически достигнутый коэффициент использования энергии ветра 0,52, приближающийся к коэффициенту идеального ветроколеса 59,3%;
  - лучший коэффициент использования установленной мощности;
  - гибкость конструкции при адаптации к конкретным ветровым условиям;
  - наименьшие нагрузки на конструкцию всей ветроустановки при буревом ветре.
- Всё это обеспечивает наилучшие экономические показатели применения ВЭУ.



Указанные преимущества особенно отчётливо проявляются на ВЭУ средней мощности и ВЭУ мегаваттного класса.

На памяти нашего поколения идёт уже третья волна интереса к ВЭУ в России. На гребне таких волн появляется масса изобретений «принципиально новых ВЭУ» с абсолютно превосходящими характеристиками. В основном это результат научных заблуждений авторов и незнания истории развития, но и, нередко, такие «новинки» спекуляция на стремлении частных и государственных инвесторов финансировать так называемые прорывные разработки, на что и «покупают» менеджеров широкого профиля, не обладающих конкретными знаниями в рассматриваемой технической области.

Для общего представления о наиболее на шумевших якобы революционных новинках представлю некоторые из них представлены на рисунках 5-10.



Рис. 5 ВЭУ ЗВТ (Россия)

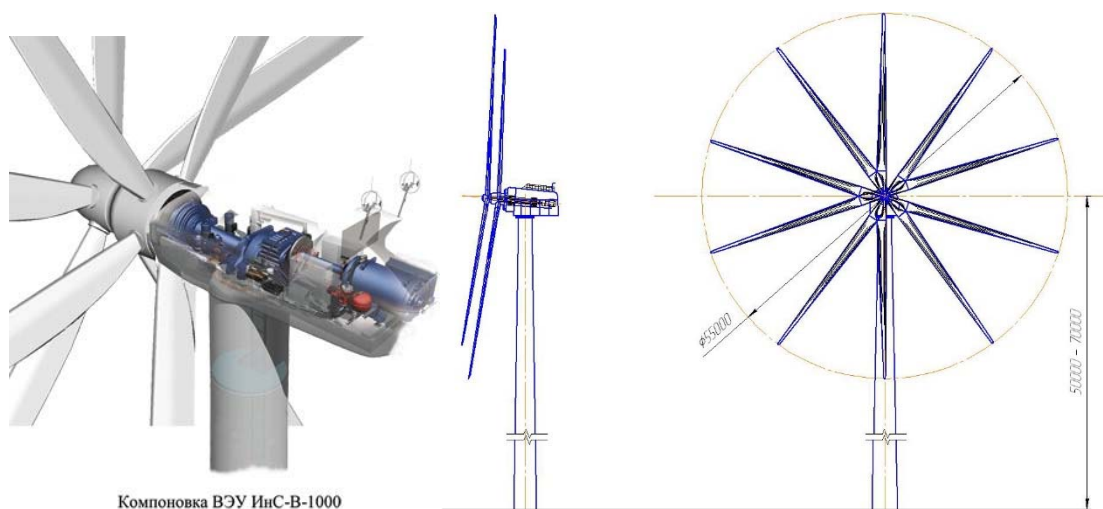


Рис. 6. ВЭУ ИнС-В-1000 (Россия)

Все эти ВЭУ при строгом научном анализе их конструкции проигрывают проверенным временем трёхлопастным ветроустановкам и энергетически, и технологически, и экономически. Есть ещё много оригинальных конструкций ветроустановок, которые вряд ли завоюют мир, как это сделали, ставшие классическими, трёхлопастные горизонтальноосевые ветротурбины.



Рис. 7 ВЭУ WARP (США)

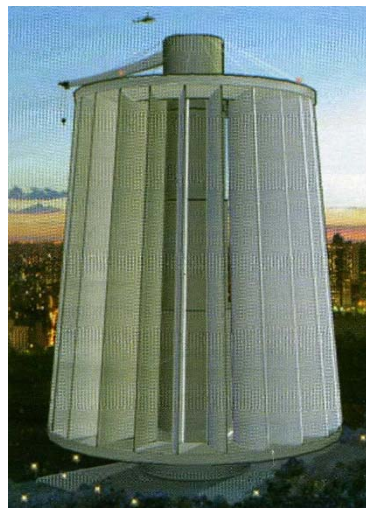


Рис. 8 ВЭУ фирмы MWTT (США)



Рис. 9. ВЭУ Concord (Украина)



Рис. 10. ВЭУ АЭРОЛЛА (Белоруссия)

Доходчивое представление о работе ветроколеса (ветротурбины) дают научные труды российского аэродинамика Николая Жуковского (1847-1921) и германского физика Альберта Бетца (1885-1968) [1] [2]. Эти учёные рассчитали какую часть общего количества кинетической энергии может быть извлечено из потока воздуха и оба пришли к одинаковому результату – из кинетической энергии потока воздуха в идеальном случае можно получить на более 59,3% от общего количества кинетической энергии. Объясняется это простой схемой, представленной на рис. 11.

Физика процесса следующая: проницаемая для потока газа поверхность изымает часть его кинетической энергии, превращая её затем в механическую.

При этом проницаемая поверхность перпендикулярная свободному потоку газа может изъять из этого потока некоторое максимальное количество кинетической энергии, не превышающее разницы между *полной кинетической энергией этого потока* и *оставшейся в потоке за проницаемой поверхностью* для обеспечения своевременного удаления объёма газа из зоны за этой поверхностью.

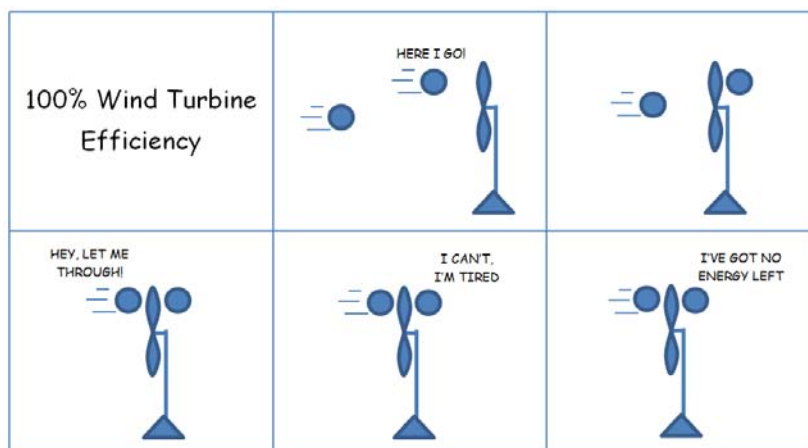


Рис. 11

Это означает, что изъяв из потока газа более 59,3% кинетической энергии, мы остановим его в той мере, насколько превысим указанную цифру и создадим зону застоя, т.е. аэродинамическую пробку, через которую перестанет течь поток и, соответственно, перестанет отдавать часть кинетической энергии.

Оставив критикуемые конструкции в прошедшем времени, мы предлагаем сосредоточить усилия и средства на реальных проектах, соответствующих научным основам и мировой практике. Например, проект «Новый ветер», предлагающий ветроустановку классического типа по конструкции адаптированную к российскому производству и условиям эксплуатации. Общий вид ветроустановки с основными компонентами приведен на рис. 12.

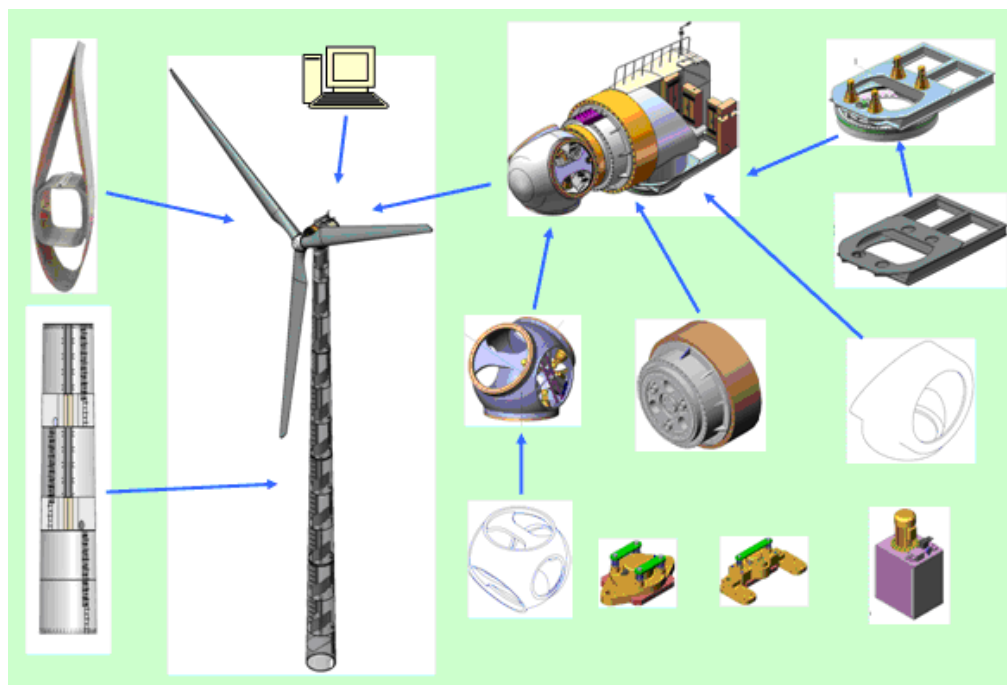


Рис. 12 ВЭУ по проекту «Новый ветер»

### Список литературы

1. Е.М.Фатеев. «Ветро двигатели и ветроустановки», Москва 1948г., ОГИЗ-Сельхозгиз.
2. Manfred Stiebler. Wind Energy Systems for Electric Generation, Green Energy and Technology, 2008 Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

## ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ (МИКРОГРИД) С ОПОРНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ

**Олейник С., Борботько В.**  
ООО «Интелион»

ООО «Интелион» специализируется на разработке и производстве систем автономной энергетики с гибридной генерацией и опорным накопителем. В докладе обсуждается актуальность и эффективность организации автономных электроэнергетических систем с электромеханической и инверторной генерацией на шине переменного тока, с использованием в качестве опорного узла секционированного электрохимического накопителя (опорный накопитель).

Диверсификация видов первичной энергии актуальных для использования в автономных системах обуславливает необходимость оптимизации их электротехнической архитектуры с целью достижения высоких показателей устойчивости и эффективности режимов.

В частности, для низко потенциальных источников энергии (небольшие скорости ветра, невысокая инсоляция, тепловая энергия на низких параметрах), эффективное преобразование этой энергии в потребительскую форму электрической энергии, целесообразно на основе электрогенератора как источника тока.

Перспективными для применения в автономной энергетике в настоящее время являются гибридные системы, когда традиционная генерация (источник напряжения) сочетается с альтернативной генерацией (источник тока).

Электроприёмные установки ориентированы на подключение к источнику напряжения, поэтому функционирование электроэнергетической системы связано с необходимостью поддержания нормального уровня напряжения, что в частности осуществляется посредством опорной генерации.

Совместимость разнородной генерации и электроприёмников в единой электроэнергетической системе, обеспечивается опорными (базовыми) узлами и интегрированным управлением.

Целесообразно опорные узлы выбирать таким образом, чтобы достигалась максимальная эффективность всех видов генерации и преобразования энергии, нормативное качество и устойчивость режимов системы.

Существует три основных подхода к решению этой задачи:

- Опорные шины постоянного тока
- Опорные шины переменного тока
- Комбинация опорных шин постоянного и переменного тока

В первом подходе параллельная работа всей генерации осуществляется на шинах постоянного тока с подключением к потребителям через общий инвертор, во втором на шинах переменного тока, в третьем частично на шинах постоянного тока, с выходом через инвертор на общие шины переменного тока.

В качестве опорного источника на шинах постоянного тока применяется аккумуляторная батарея и управляемые выпрямители. В этом варианте значительный объём энергии требует двойного преобразования, что приводит к дополнительным потерям и большему количеству оборудования, а это в свою очередь к удорожанию системы и дополнительным эксплуатационным расходам.

Для шин переменного тока в качестве опорного источника применяется дизельная генерация. Недостатком этого решения является необходимость работы дизеля на малых нагрузках и существенный расход моточасов.

Аналогичная ситуация возникает и при комбинированном подходе.

Оптимальное решение возможно, когда опорный источник на шинах переменного тока выполнен как накопитель с двунаправленным инвертированием в режиме источника напряжения.

Для обеспечения надежности необходима параллельная работа двух или более независимых опорных источников.

Устойчивость такой структуры обеспечивается двухуровневой системой управления, с привязкой автоматики нижнего уровня (интеллектуальные модули присоединения и встроенные системы управления накопителей) к единому времени, с регулированием по углу дельта между кривыми напряжения на выходе инверторов (Рис. 1).

Секционирование опорного накопителя позволяет также реализовать балансирующую функцию.

Дизельные электроагрегаты должны иметь стандартный статизм по частоте.

Рассмотренная выше в докладе автономная система с гибридной генерацией и опорным накопителем является логическим развитием более простых решений с накопителем в качестве инновационной составляющей, которые были разработаны и произведены ООО «Интелион» в течение двух предыдущих лет. В настоящее время в ООО «Интелион» ведутся работы по формированию математической модели системы с целью анализа режимов и подготовки общего и частных технических заданий на её разработку

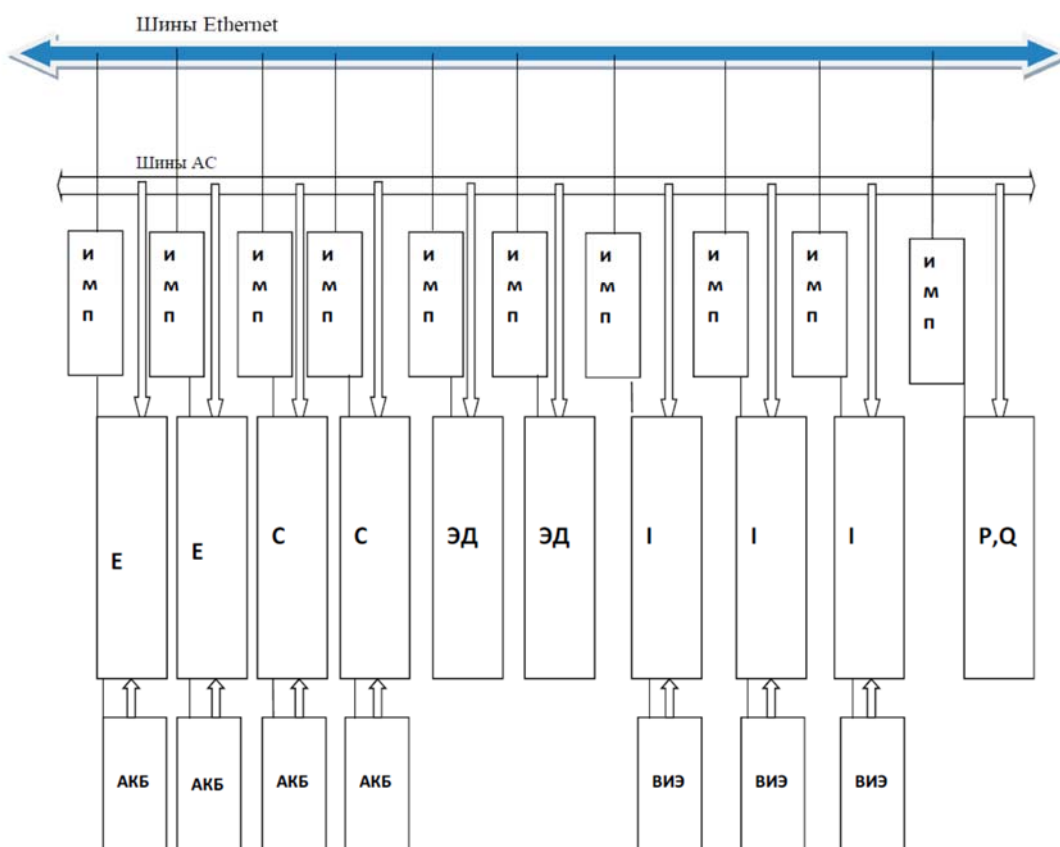


Рис. 1. Е – инвертор в режиме источника эдс, АКБ-аккумуляторная батарея, С-инвертор в режиме зарядного устройства, ВИЭ-возобновляемый источник энергии, I-инвертор в режиме источника тока ИМП-интеллектуальный модуль, ЭД-электростанция дизельная присоединения, P,Q-нагрузка

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ СЕКТОРА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
БОЛЬШОЙ ФЕОДОСИИ В СВЕТЕ НЕДОСТАТКОВ СИСТЕМЫ  
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ  
SOLAR ENERGY SEGMENT'S RELEVANCE OF BIG THEODOSIA REGION IN  
THE CONTEXT OF CRIMEA'S ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM  
DISADVANTAGES**

**Панченко В.А.<sup>1</sup>, Киричев А.В.<sup>2</sup>, Климов Е.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ВИЭСХ, г. Москва, РФ, <sup>2</sup>ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск, РФ

**Panchenko V.A.<sup>1</sup>, Kirichev A.V.<sup>2</sup>, Klimov E.I.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> VIESH, Moscow, Russia, <sup>2</sup> SUSU(NRU), Chelyabinsk, Russia

Вопросы надёжного энергоснабжения густонаселённых территорий всегда остаются наиболее актуальными для обеспечения благополучия граждан. Республика Крым, 21 марта 2014 г. принятая в состав РФ оказалась в затруднительном положении в сфере энергетики. Одной из основных задач, на сегодняшний день, является обеспечение энергонеуязвимости Крымского федерального округа от энергосистемы Украины. Особую актуальность решение данной задачи имеет для региона Большой Феодосии – крупного промышленного и туристического района Крыма. Основываясь на благоприятных условиях для развития ВИЭ на данной территории, целесообразно размещение дополнительных СЭС для обеспечения существующего энергопотребления юго-восточной части полуострова.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, Крым, система энергоснабжения, проблемы

**Keywords:** solar energy, Crimea, electricity supply system, problems

Вопросы надёжного энергоснабжения густонаселённых территорий всегда остаются наиболее актуальными для обеспечения благополучия граждан. Иметь в наличии объёмы мощностей, достаточные для энергоснабжения потребителей, сосредоточенных на определённой территории, является стратегической задачей энергетической отрасли страны.

К сожалению, на сегодняшний день в РФ остаются значительные площади, имеющие проблемы с энергоснабжением. Так, около 2/3 территории России не электрифицированы. Однако, если в большинстве случаев эти проблемы обусловлены значительной удалённостью территорий от крупных генерирующих объектов, тяжёлыми условиями транспортировки топлива, его высокой стоимостью, постоянным ростом цен на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) и, как следствие, увеличением объёма дотаций из областных бюджетов на закупку и завоз топлива, износом энергетического оборудования, недостатком инвестиций и удалённостью от центров обслуживания [1], то территория, являющаяся предметом рассмотрения данной статьи, имеет ряд проблем иного характера в сфере механизмов энергоснабжения потребителей.

Республика Крым, 21 марта 2014 г. принятая в состав Российской Федерации, наряду с пакетом трудностей, связанных с интеграционными процессами, получила, также и трудности в энергетической сфере.

В ряде СМИ можно обнаружить достаточное количество информации на этот счет. "Камнем преткновения" для энергетической системы полуострова Крым стала зависимость от поставок электрической энергии из Украины. От "ОЭС Украины - Крым" поступает 86 % энергии, обеспечивающей полуостров. Кроме того, украинская энергосистема поддерживает частоту в сети, компенсирует суточную неравномерность электропотребления полуострова, нестабильность выработки солнечных и ветроэлектростанций, реактивную мощность [2]. Однако, ввиду острых политических противоречий, НЭК "Укрэнерго" полностью ограничивало переток мощности, в частности в июле 2015 г. Несмотря на то, что со стороны России был принят ряд срочных мер по урегулированию данной ситуации, таких как выплаты по увеличенной цене, перебазирование 13 газотурбинных установок (ГТУ) из Сочи и Московского регионов и



установка на основных подстанциях полуострова 6 мобильных газотурбинных электростанций (ГТЭС) на 135 МВт, картина, соответствующая надёжной модели энергоснабжения Крыма, не сложилась до сих пор.

Естественным образом, одной из основных задач, стоящих перед Министерством энергетики РФ, является обеспечение энергонезависимости Крымского федерального округа от энергосистемы Украины. Это отражено также в различных документах Правительства и президента РФ. Так, в постановлении Правительства Российской Федерации "Об утверждении федеральной целевой программы "Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года" №790 от 11 августа 2014 г., указано, что на сегодняшний день имеет место нерациональное использование природно-ресурсного энергетического потенциала и высокая энергозависимость экономики [3]. Основными задачами данной Программы являются устранение ограничений и повышение качества энергоснабжения, устранение сетевых ограничений, создание собственной генерации и обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей Крымского полуострова.

На сегодняшний день энергетическая структура полуострова Крым представляет собой следующий набор основных генерирующих объектов на традиционном топливе (таблица 1) [4]:

Таблица 1. Основные генерирующие объекты Крымского ФО на традиционном топливе

Название	Мощность, МВт	Тепловая мощность, ГКалл/час	Год ввода в эксплуатацию
Симферопольская ТЭЦ имени В.И. Ленина	68	364	1958
Камыш-Бурунская ТЭЦ	30	103	1938
Сакская ТЭЦ	12	154,5	1955
Севастопольская ТЭЦ	33	153,3	1937

Таким образом, общая мощность теплоэлектростанций (ТЭС) не превышает 143 мегаватт, что составляет 20 % от потребностей республики (потребление электроэнергии в Крымском ФО колеблется в пределах 1000-1200 МВт в сутки; в сезонные пики оно увеличивается на 200 МВт) [5]. Кроме того, сроки эксплуатации тепловых станций Крыма превышают 60 лет (таблица 1), оборудование устаревшее и требует замены. Стоит отметить, что специалистами в области энергетики предлагается два основных пути решения данной проблемы. Первый заключается в реконструкции четырёх существующих станций с наращиванием мощности [5], а второй - в строительстве новых станций. Так, в Крыму начато строительство двух базовых тепловых электростанций мощностью 940 МВт. Мощность каждой из строящихся электростанций в Симферополе и Севастополе составляет 470 МВт. Основным источником газоснабжения двух базовых станций станет строящийся газопровод "Тамань — Симферополь — Севастополь". Первые блоки электростанций будут запущены в 2017 году [6]. Проект осуществляется в рамках федеральной целевой программы "Социально-экономическое развитие Республики Крым и города Севастополь до 2020 года" [3].

Однако, даже положительное разрешение проблемы покрытия требуемых мощностей, по мнению специалистов, не отменяет негативных факторов, присущих генерации энергии на тепловых станциях. Несмотря на то, что использование газа как

топлива на теплоэлектростанциях (ТЭС) снижает вредные выбросы, они по-прежнему имеют место быть. Кроме того, тепловое загрязнение может вызвать изменения в биологических и химических процессах водоема, в который сбрасывают тёплые воды от ТЭС [7]. Учитывая особый природно-ресурсный и туристско-рекреационный потенциал Крыма, необходимо стремиться к минимизации воздействия вредных факторов на окружающую среду.

Естественно, уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу возможно за счет использования энергетических установок использующих возобновляемые источники энергии. Известно, что полуостров Крым обладает хорошей ресурсной базой для развития возобновляемой энергетики. В соответствии со сказанным выше, в последние годы на полуострове до 20 % вырабатываемого электричества приходится на возобновляемые источники энергии [8]. Двумя основными источниками, используемыми на полуострове в настоящее время, являются солнечная и ветровая энергия. В Крымском ФО действуют четыре ветроэлектростанции (ВЭС) суммарной установленной мощностью 62,6 МВт [8], однако, имеются трудности с качеством и передачей вырабатываемой ими электрической энергии. Таким образом, наиболее выгодным для использования является сектор солнечной энергетики. В таблице 2 представлены основные солнечные электростанции (СЭС), действующие в Крымском ФО в настоящее время по версии сайта gisre.ru [9].

Таблица 2 Перечень объектов солнечной электроэнергетики, расположенных на территории Крымского федерального округа (КФО) РФ

№ п/п	Наименование объекта	Установленная мощность, МВт	Площадь коллекторов, га	Статус	Назначение	Район размещения	Производство и монтаж
1	СЭС Охотниково	80	160	действующая	сетевая	КФО РФ, Сакский р-н, село Охотниково	ActivSolar (Австрия)
2	СЭС Митяево	31,55	59	действующая	сетевая	КФО РФ, Сакский р-н, село Митяево	ActivSolar (Австрия)
3	СЭС Родниковое	7,5	15	действующая	сетевая	КФО РФ, Симферопольский р-н, село Родниковое	ActivSolar (Австрия)
4	СЭС Николаевка	69,7	116	действующая	сетевая	КФО РФ, Симферопольский р-н, Николаевский поселковый совет, село Винницкое	ActivSolar (Австрия)
5	СЭС Перово	100	200	действующая	сетевая	КФО РФ, Симферопольский р-н, Перовский сельсовет, село Ключи	ActivSolar (Австрия)
<i>Итого по КФО РФ, МВт/га</i>		288,75	550				



Однако, процесс вступления Республики Крым в состав РФ заставил столкнуться солнечную энергетику полуострова с реалиями российского энергетического рынка. На практике оказалось, что российское законодательство, по-прежнему не ориентированное на развитие возобновляемой энергетики, не готово решать экономическую составляющую эксплуатации крупных крымских СЭС. Так, уже 1 апреля австрийская компания "ActivSolar" прекратила работу всех своих СЭС на территории Крыма. Этому поспособствовал ряд причин как вызванных сложным международным положением, так и финансовых - снижение стоимости электроэнергии от СЭС с зеленого тарифа 26,8 рублей/кВт·ч до обычного тарифа в 3,4 руб/кВт·ч, сделало деятельность СЭС нерентабельной [10]. По последним данным, путь решения проблемы солнечной генерации в Крыму так и остаётся на стадии обсуждения. Значительный долг компании "ActivSolar" российским банкам ("Сбербанк", "ВТБ" и "ВЭБ") составляет около 45 млрд. руб., по предложениям различных структур, может быть либо списан, либо СЭС Крымского ФО будут проданы за 10 % от долга операторам для обеспечения надежной эксплуатации [10,11]. Негативное воздействие на нормальное развитие солнечной энергетики в Крыму также оказывает инерционность и пассивность управляющих структур полуострова в частности и Минэнерго РФ в целом: значительно больший интерес уделяется строительству новых мощностей тепловой энергетики и финансированию временных генерирующих объектов [10]. При этом, Министерство топлива и энергетики Республики Крым осознает экономию денежных средств при рациональном использовании ресурсного потенциала возобновляемой энергетики по сравнению с природным газом [12]. Привлекательным направлением, по мнению экспертов, в этой сфере является эксплуатация солнечных энергоустановок в индивидуальном домохозяйстве [12].

Тем не менее, в 2015 году удалось подготовить к работе ещё одну СЭС - "Владиславовка", расположенную в Кировском районе, мощностью 110 МВт. Однако до сих пор отсутствует источник финансирования для строительства линии электропередачи к энергосистеме Крыма и получения технических условий, с учетом строительства энергомота и подстанции "Кафа" [13].

Стоит отметить, что СЭС, описанные выше, расположены преимущественно в центральной части полуострова. Однако, юго-восток Крымского ФО, представленный преимущественно районом Большая Феодосия, также нуждается в дополнительных источниках электрической энергии. Кроме того, ни одной из четырех действующих ТЭЦ в этом районе не расположено. По территории Большой Феодосии проходит магистральная ЛЭП "Керчь - Феодосия - Джанкой" 220 кВ с подстанцией "Феодосия" (рисунок 1).

Ко всему прочему, экономика Большой Феодосии основывается на винодельческой, пищевой и легкой промышленности, машиностроении, сельском хозяйстве и рыболовстве. В городе функционируют табачная, чулочная, мебельная и офсетная фабрики, механический, казённый оптический, судомеханический, «Стройдеталь», соковый, винный заводы, а также комбинат стройматериалов. На базе климатобальнеологического курорта действует большое число санаториев и домов отдыха [12]. Естественным образом, такое сочетание промышленной и рекреационных баз требует введения новых генерирующих мощностей.

Наиболее перспективным в этом отношении представляется использование именно потенциала солнечной энергии. Исследования группы ученых из Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова и Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства, проведённые с помощью ГИС-технологий, позволили не только определить зоны Большой Феодосии (рисунок 2), где возможно размещение СЭС (учитывая ландшафтные условия, природоохранную,

историческую, эстетическую, археологическую, туристическую и рекреационную ценности территории и др.), но и вычислить технический потенциал этих участков (рисунок 3). Авторы также наглядно доказали, что при застройке выделенных территорий солнечными электростанциями территория Большой Феодосии сможет обеспечить местное население электроэнергией, так как выработка электроэнергии от солнечных электростанций намного превышает потребляемое количество электроэнергии местным населением [15]. Технический потенциал описанных зон приведён в таблице 3.



Рис. 1. Энергосистема Крыма [14]

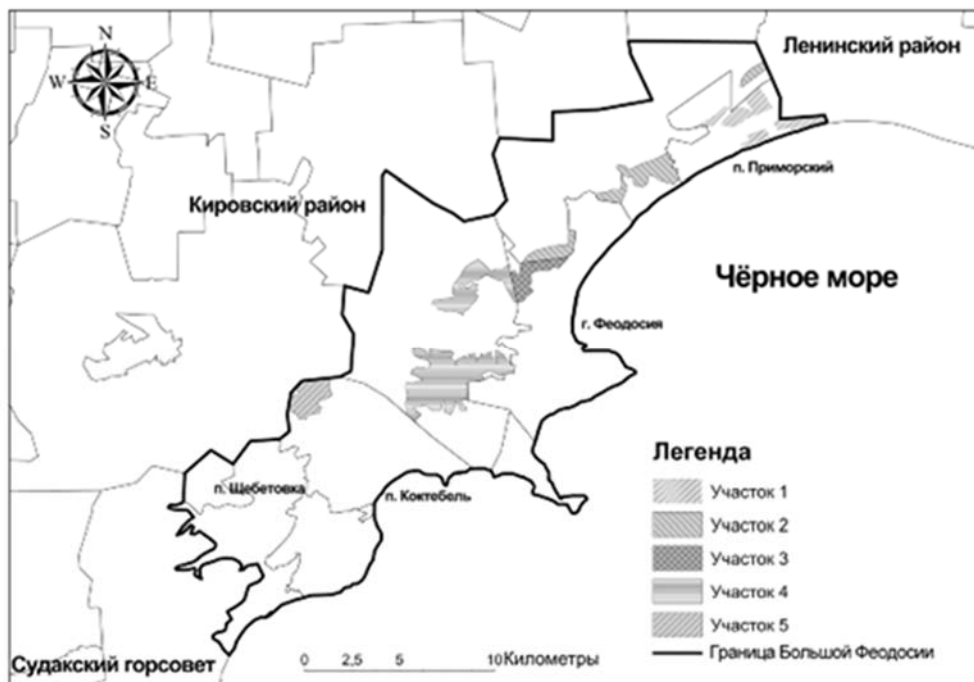


Рис. 2. Территории, перспективные для строительства солнечных электростанций [15]

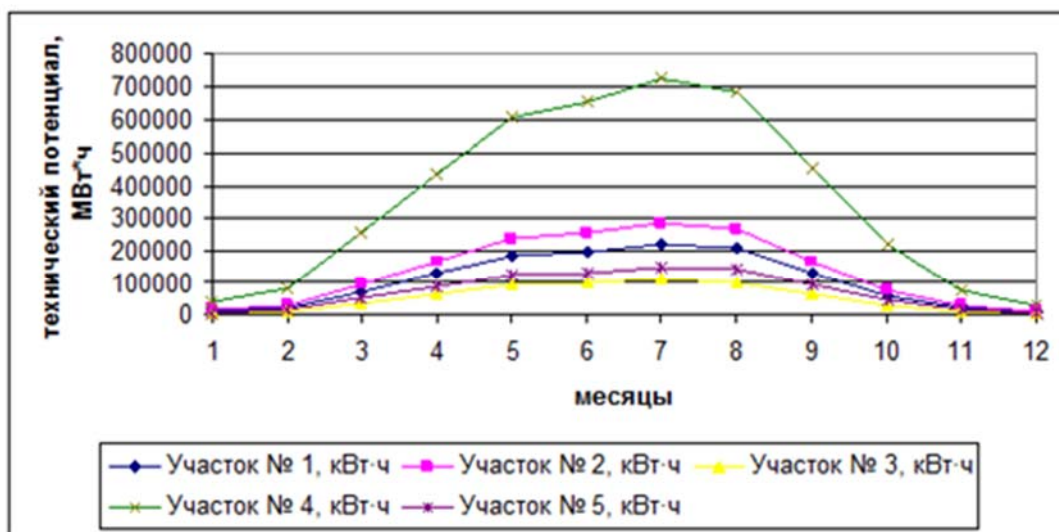


Рис. 3. Технический потенциал солнечной энергетики на выделенных участках [15]

Таблица 3 Технический потенциал выделенных зон

Зона	Технический потенциал, МВт·ч
Коктебельский поссовет	875069,2
Насыпновский сельсовет	4252698,2
Береговой сельсовет	1623404,5

Таким образом, разработка и внедрение новых СЭС на территории Большой Феодосии позволит покрыть потребности региона в электрической энергии и улучшить показатели надежности энергоснабжения потребителей в условиях аварийных режимов работы магистральных сетей, а также снизить нагрузку как на временные мобильные генерирующие объекты, так и на крупные станции полуострова в целом. Также размещение СЭС на указанных территориях отвечает требованиям Федеральной целевой программы [3] и улучшает восприятие туристической зоны как территории,

развивающейся в соответствии с современными мировыми тенденциями в области энергетики.

### Список литературы

1. Вопросы электроснабжения потребителей, удалённых от сетевой инфраструктуры. Е.Н. Соснина, А.Ю. Кечкин, Д.А. Филатов Труды Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева №5(107), 2014, с. ...
2. Энергетика Крыма. Что строить? В. Г. Семёнов. Энергосовет № 4 (35), 2014 г [Электронный ресурс]. URL: [http://www.energsovet.ru/bul\\_stat.php?idd=472](http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=472) (дата обращения: 15.09.2015).
3. Постановление Правительства Российской Федерации "Об утверждении федеральной целевой программы "Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года" №790 от 11 августа 2014 г [Электронный ресурс]. URL: [government.ru/media/files/41d4fa3a896280aaadfa.pdf](http://government.ru/media/files/41d4fa3a896280aaadfa.pdf) (дата обращения: 16.09.2015)
4. Энергетика Крыма — что собой представляет [Электронный ресурс]. URL: <http://tesiaes.ru/?p=6412> (дата обращения: 16.09.2015)
5. Добавить мегаватт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rg.ru/2015/01/22/reg-kfo/moshnosti.html> (дата обращения: 16.09.2015)
6. Минэнерго Крыма: первые блоки строящихся ТЭЦ запустят в 2017 году [Электронный ресурс]. URL: <http://ria.ru/economy/20150802/1159375241.html> (дата обращения: 16.09.2015)
7. Основы инженерной экологии : учеб. пособие / В. В.Денисов[и др.]; под ред. проф В. В. Денисова. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 623 с. : ил. – (Высшее образование)
8. Энергетика Крыма сегодня. Обзор. Энергосовет № 2 (33), 2014 г [Электронный ресурс]. URL: [http://www.energsovet.ru/bul\\_stat.php?idd=460](http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=460) (дата обращения: 16.09.2015)
9. ГИС "Возобновляемые источники энергии" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisre.ru> (дата обращения: 16.09.2015)
10. Минэнерго РФ предлагает списать 40 млрд долгов солнечных электростанций Крыма. Это печально для СЭС [Электронный ресурс]. URL: <http://neftegaz.ru/news/view/138152> (дата обращения: 16.09.2015)
11. Долги солнечных электростанций Крыма предложили списать [Электронный ресурс]. URL: <http://pronedra.ru/alternative/2015/05/28/dolgi-ses-krym/> (дата обращения: 17.09.2015)
12. Информационно-аналитический доклад «Крым: территория зеленой экономики» – М.: Фонд «Национальной энергетической безопасности» (ФНЭБ), 2015 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minenergo.gov.ru/press/kfo/2686.html?print=Y> (дата обращения: 17.09.2015)
13. Развитие электросетевого комплекса КФО [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minenergo.gov.ru/press/kfo/2686.html?print=Y> (дата обращения: 17.09.2015)
14. Энергосистема Крыма [Электронный ресурс]. URL: <http://peretok.ru/multimedia/infographics/energositema-kryma.html> (дата обращения: 17.09.2015)
15. Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Ильина О.И., Рафикова Ю.Ю., Панченко В.А. Потенциал использования солнечной энергетики на территории Большой Феодосии // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/11/41375> (дата обращения: 15.07.2015)

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ SMART GRID — БУДУЩЕЕ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ SMART GRID - THE FUTURE OF THE RUSSIAN POWER INDUSTRY

**Паршуков В.И., Русакевич И.В., Рыжков А.В., Ефимов Н.Н.**  
ООО НПП «Донские технологии», г. Новочеркасск, Российская Федерация

**Parshukov V.I., Efimov N.N., Ryzhkov A.V., Rusakevich I.V.**  
Limited Liability Company Scientific-Production Enterprise “Donskie Technologii”, Novocherkassk,  
Russia Federation

“Энергетической стратегией России на период до 2030 года” в качестве одного из приоритетных направлений научно-технического прогресса в электроэнергетике является создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети – Smart Grid).

На сегодняшний день в России отсутствует реализация полной концепции интеллектуальной сети (ИС). Развитие ИС зависит не только от установки новых счетчиков и повышения эффективности поставки электроэнергии, но и от долгосрочных мер. Препятствием комплексной реализации концепции ИС является также сложность перенастройки взаимоотношений субъектов электроэнергетики, поскольку ее внедрение затрагивает всех непосредственных участников процессов выработки, передачи, распределения, потребления, покупки и продажи электрической энергии.

ООО НПП «Донские технологии» инициировало один из пилотных в РФ проектов «Создание локальной интеллектуальной энергетической системы ТехноЭкопарк РГСУ». Цель проекта: обеспечить надежную, безопасную и эффективную совместную работу разнообразных объектов распределенной генерации, в том числе на основе экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ), сетевой инфраструктуры и потребителей, как в изолированном режиме, так и совместно с централизованными энергетическими системами (ЦЭС).

### Задачи проекта

Создаваемая Интеллектуальная энергосистема (ИЭС) должна обеспечить:

- возможность доступа любых видов генерации и потребителей электрической энергии к услугам электросетевой инфраструктуры;
- рациональное использование первичных источников электрической и тепловой энергии;
- эффективное использование электроэнергии в ИЭС посредством системы управления с максимальным учетом требований потребителей;
- создание «активных» потребителей энергии с возможностью влияния на процессы её передачи и потребления;
- выполнение требований «цифрового» качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 13109 97 и ГОСТ Р 54149-2010;
- возможность оценки текущего состояния ИЭС для принятия оперативных и долговременных решений;
- реализацию функции самодиагностики сети о текущем состоянии, обработку данной информации в режиме реального времени;
- использование рыночных механизмов в управлении балансами энергии;
- создание опытного образца информационной системы, обеспечивающей эффективное взаимодействие субъектов энергетики технопарка;

- повышение качества мониторинга и защиты энергосистемы от естественных и искусственных внешних воздействий, включая киберугрозы;
- разработку подсистем ИЭС отдельных объектов (административных и жилых зданий, учебных, лабораторных, спортивных и торгово-развлекательных комплексов) в составе ИЭС технопарка.

Проект реализуется в рамках Стратегических программ исследований Технологических платформ:

- Интеллектуальная энергетическая система России;
- Малая распределенная энергетика;
- Перспективные технологии Возобновляемых источников энергии;
- Экологически чистая энергетика;
- Комплексная безопасность в промышленности и энергетике.

Создаваемая система носит характер распределенной энергосистемы, имеющей единый центр управления и мониторинга. Система энергоснабжения работает в режиме тригенерации и обеспечивает потребителей электрической и тепловой энергией, приготовление горячей воды, приготовление холода.

#### Характеристика локальной ИЭС.

- суммарная установленная проектная электрическая мощность – 10МВт;
- классы напряжения переменного тока – 10/0,4 кВ;
- напряжения сети участков постоянного тока – 0,4/1,0 кВ;
- доля ВИЭ в общей установленной мощности – до 25%;
- способность эффективно работать как в автономном режиме, так и совместно с централизованной сетью;
- включение в состав локальной ИЭС не менее 10 установок собственной генерации, включая установки на основе ВИЭ;
- возможность включения в состав ИЭС не менее 20 потребителей с регулируемой нагрузкой и не мене 300 – с нерегулируемой нагрузкой;
- накопители электрической энергии должны обеспечить надежность электроснабжения на время прерывания при номинальной мощности до 15 мин., при обеспечении технологической брони не менее 6 часов
- системы электроснабжения систем SCADA, учета и управления, аварийного освещения, охранной и пожарной сигнализации и др. объектов оборудуются система бесперебойного электроснабжения;
- суммарная установленная проектная тепловая мощность – 18 МВт;
- включение в состав локальной ИЭС не менее 20 установок собственной теплогенерации, включая установки на основе ВИЭ;
- способность обеспечить потребителей ТехноЭкопарка тепловой энергией в автономном режиме, без подключения к централизованным тепловым сетям;
- суммарная установленная проектная тепловая мощность для системы горячего водоснабжения (ГВС) – 1,4 МВт;
- суммарная установленная проектная мощность для систем обеспечения кондиционирования и приготовления льда – 4,2 МВт;
- суммарная установленная проектная мощность для систем вентиляции – 1,5 МВт.

#### **Состав локальной ИЭС**

Предлагается распределенная локальная энергетическая система, объединенная с центральными электрическими сетями и состоящая из следующих источников:

- собственная мини-ТЭЦ (основной источник энергии), работающая в режиме тригенерации;

- цифровая трансформаторная подстанция и комплектное распределительное устройство;
- солнечная фотоэлектрическая станция (центральная и распределенные по отдельным объектам технопарка станции, объединенные в единую систему);
- ветроэнергетическая установка (в составе 3-х установок, объединенных в единую систему);
- теплонасосные установки (ТН большой мощности, входящие в состав мини-ТЭЦ и ТНУ распределенные по отдельным объектам технопарка);
- солнечные гелиостанции (распределенные по отдельным объектам технопарка станции, объединенные в единую систему отопления, кондиционирования и приготовления ГВС);
- системы аккумуляции электрической и тепловой энергии (накопители электрической и тепловой энергии в составе мини-ТЭЦ и ТНУ распределенных по отдельным объектам технопарка);
- системы автоматизированного контроля и учета за выработкой и потреблением электрической и тепловой энергии, с функцией организации расчетов с потребителями энергии;
- системы автоматического контроля, диагностики и защиты энергетического оборудования и сетей;
- центр диспетчеризации, связи и управления системой энергоснабжения.

Основной элемент ИЭС – мини-ТЭЦ, на основе 3-х газотурбинных агрегатов мощностью по 2,5 МВт каждый. На выходе продуктов сгорания устанавливается котел-утилизатор, обеспечивающий паром паротурбинный агрегат мощностью 2,5 МВт, на выходе которого (на конденсаторе паровой турбины) устанавливаются тепловой насос для теплоснабжения. Кондиционирование летом можно производить от этого же теплового насоса.

На технологическую схему включения энергетического оборудования подана заявка на получение патента РФ.

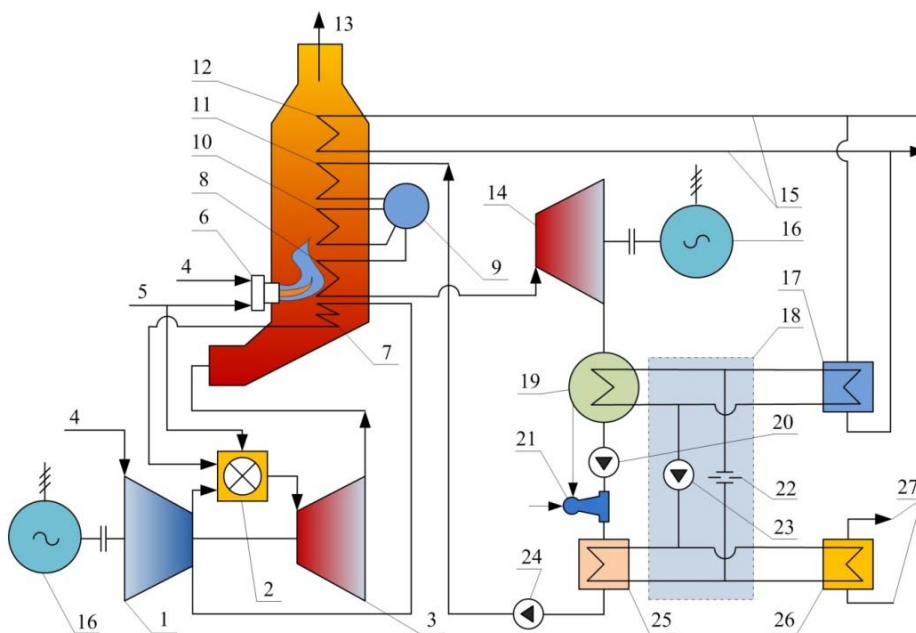


Рис. 1 – Принципиальная схема ПГУ суммарной электрической мощностью 10 МВт

Принципиальная схема мини-ТЭЦ (рисунок 1) состоит из:



- газотурбинных установок (компрессор 1, камера сгорания 2, турбина 3, подвод воздуха 4 и природного газа 5);
- котла-утилизатора (КУ), с пароводяным трактом (дожигающие горелки 6, регенеративного воздухоподогревателя 7 пароперегревателя 8, барабан 9, испарительные поверхности 10 водяной экономайзер 11 и сетевые подогреватели 12); отработавшие газы удаляются через газоход 13;
- паровой турбины 14 с системой регенерации (конденсатор 19, конденсатные 20 и питательные насосы 24, эжектор 21, подогреватель 25);
- системы конденсации пара, представленной замкнутым циклом парокомпрессионного теплового насоса (ТН) 18 (испаритель ТН, представленный конденсатором паровой турбины 19 и охладителем тепловых сетей 17; конденсаторы ТН, представленные подогревателями основного конденсата 25 и горячего водоснабжения 26; дроссельное устройство 22, насос 23);
- системы теплофикации 15 и горячего водоснабжения 27 с подогревателями 25 и 26, и охладителем 17.
- выработка электрической энергии осуществляется электрогенераторами 16, приводимые в движение газотурбинными установками и паровой турбиной.

### Описание работы тригенерационной схемы

Совмещение двух циклов: газотурбинного и паросилового позволяет ПГУ с котлом-утилизатором иметь КПД при производстве электроэнергии около 60 %.

Воздух, забираемый из атмосферы, нагнетается компрессорами ГТУ в камеры сгорания. Часть воздуха, в обход компрессоров, подается в камеры сгорания из регенеративных воздухоподогревателей, что позволяет иметь более высокий к.п.д. ГТУ в широком диапазоне нагрузок. Температура газов на выходе из камеры сгорания составляет 900 – 1100 °С. Совершив работу в газовых турбинах ГТУ, газо-воздушная смесь с температурой 400 – 500 °С в подается в котел-утилизатор, где передает тепловую энергию теплоносителю (пароводяная смесь) паросилового цикла.

В таблице 1 приведены технические характеристики газотурбинных установок мощностью 2,5 МВт «ОДК - Газовые турбины» и ОАО «Пермские моторы», предполагаемых для компоновки ПГУ.

Таблица 1. Технические характеристики газотурбинных установок мощностью 2,5 МВт

Производитель	ОАО «Пермские моторы»	ОАО «Сатурн-Газовые турбины»
Модель	ГТУ-2,5П	ДО 49 Р
Наименование ГТЭС на базе модели	ГТЭС «Урал-2500»	ГТЭС-2,5
<b>Наименование характеристики</b>	<b>Величина</b>	
Электрическая мощность на клеммах генератора, МВт	2,56	2,5
КПД на клеммах генератора, %	21,12	26
Тепловая мощность на выхлопе, Гкал/ч (МВт)	5,82 (6,77)	3,9 (4,5)
Коэффициент использования тепла топлива, %	76,9	74
Температура газов на выходе, °С	450	425



Габариты (L×B×H)		2,85×1,38×1,92
Назначенный ресурс, час	120 000	120 000

В паросиловом цикле вода, подается в котлы-утилизаторы, где проходя водяной экономайзер, барабан и испарительные поверхности, преобразуется в пар. Температура пара повышается в пароперегревателях КУ до 250 – 350 °С, после чего он подается в паровую турбину, где совершая работу, теряет свою энергию. Параметры пара на выходе из турбины составляют: 0,0035 МПа и 25 °С. Сконденсировавшийся в конденсаторе теплоноситель, проходя в регенеративную систему, снова поступает в КУ.

Таблица 2. Технические характеристики турбины ТГ 2,5/10,5-К1,5 (ОАО «КТЗ», РФ)

Характеристика	Величина
Параметры свежего пара перед стопорным клапаном:	
- номинальное давление, МПа	1,4
- номинальная температура, °С	250,0
- номинальный расход, т/ч	18,0
Параметры пара за турбиной:	
- номинальное давление, МПа	0,0035
Скорость вращения:	
- ротора турбины, об/мин	7500
- тихоходного вала редуктора, об/мин	3000
Мощность, кВт	2500

**Система конденсации пара.** Для конденсации отработавшего пара паровой турбины предлагается использовать систему из 4-х парокомпрессионных тепловых насосов KWT Viessmann Vitocal 350 PRO единичной тепловой мощностью до 2400 кВт и охлаждающей мощностью от 1600 кВт. Этот тип ТН имеют высокий коэффициент – 4-5,6. Технические характеристики ТН KWT приведены в таблице 3. Установка ТН для конденсации отработавшего пара турбины позволит полезно использовать тепло конденсации, при этом отпадает необходимость искать источник подвода охлаждающей воды к турбине.

Таблица 3. Характеристики теплового насоса KWT «Viessmann», Германия

Характеристика	Величина
Тепловая нагрузка, кВт	2300
Холодопроизводительность, кВт	1854
COP	5,01
Макс. температура подачи, °С	55
Потребляемая электрическая мощность, кВт	458
Габаритные размеры, м длина×ширина×высота	4,63×1,516×1,995
Масса (сухая/рабочая), т	11,6

В летнее время, когда отпадает необходимость в тепловой нагрузке для отопления, тепловой насос может работать по холодной стороне как охладитель сетевой воды при

кондиционировании зданий, а по горячей стороне для подогрева воды горячего водоснабжения.

Тепловая мощность мини-ТЭЦ достигает 20 МВт, которая обеспечит нагрев сетевой воды для горячего водоснабжения или отопления. Тепловая сеть технопарка РГСУ может работать в зимний период для отопления зданий, в летний период для кондиционирования, что позволит повысить эффективность работы тепловых сетей и сэкономить на прокладке трубопроводов.

Мини-ТЭЦ может работать автономно без включения во внешнюю электрическую сеть. В этом случае всю неравномерность суточного электропотребления мини-ТЭЦ регулирует изменением нагрузки только своих агрегатов. Колебания электрической нагрузки, при отсутствии постоянно нагруженного электропотребления, может составлять до 70 %. Поэтому часть агрегатов должно иметь возможность отключаться. В тепловой схеме мини-ТЭЦ реализован процесс отключения и включения оборудования.

Снижение нагрузок от номинальной, как по электрической, так и по тепловой части будет производиться за счет изменения режимов работы газовых и паровой турбин. Тепловой насос при снижении нагрузок ГТУ и ПСУ продолжает работать на полную мощность, повышая, таким образом, экономичность работы мини-ТЭЦ.

Обобщённая система выработки, аккумуляции и распределения тепловой энергии включает в себя две составляющие:

- 1) сетевые подогреватели, теплонасосные установки и накопители тепловой энергии в составе мини-ТЭЦ,
- 2) малые теплонасосные установки и солнечные гелиостанции, распределенные по отдельным объектам ТехноЭкопарка РГСУ.

### **Схемы электроснабжения ТехноЭкопарка РГСУ**

Внешнее. Основное распределительное устройство 10 кВ РУ-1 питается кабельной линией 10 кВ от подстанции Р6 Центральные электрические сети «МРСК – Ростовэнерго».

Подстанция Р6 питается двухцепной ВЛ-110 кВ, подключенной отпайками от двух ВЛ – 110 кВ, соединяющих подстанции Р20 220/110/10 кВ и Р29 110/10 кВ с подстанцией Р5 110/10 кВ.

Питание распределительного устройства 10 кВ РУ-1 от внешнего источника осуществляется двумя кабелями 10 кВ от двух секций шин 10 кВ подстанции Р6 110/10 кВ.

Генерация. На шины РУ-1 подается генераторное напряжение 10 кВ трех генераторов газотурбинных установок (ГТУ) с электрической мощностью по 2,5 МВт каждая. Ко второй секции шин 10 кВ подключается генератор с электрической мощностью 2,5 МВт паровой турбины (ПТ), работающей на паре, получаемом от теплового насоса.

Для подключения к сети 10 кВ ветроустановок мощностью 0,8 МВт и предлагается использовать распределительное устройство РУ-2. Ветроустановка ВГ-3 подключается к шинам 0,4 кВ одной из ТП 10/0,4 кВ. Распределительное устройство 10 кВ РУ-2 подключается к РУ-1 кабельными линиями 10 кВ.

### **Использование возобновляемых источников энергии**

Планируется использование ВИЭ в общем балансе производства электрической энергии объектами собственной генерации в объеме до 25%, а тепловой энергии в объеме до 50% в режиме постоянной эксплуатации.

**Солнечная станция (СС)** будет представлять собой распределенную систему, состоящую из основного блока и отдельных элементов, распределенных по крышам объектов технопарка, исходя из возможностей их размещения.

Основной блок СС представляет собой каскадный модуль, вписанный в архитектуру одного из объектов. Ориентировочная электрическая мощность такого блока примерно 100 – 150 кВт, с учетом архитектурно планировочных решений.

Элементы СС представляют собой отдельные самостоятельные станции мощностью 3 – 20 кВт

**Ветроэнергетическая установка.** Планируется, исходя из рельефа местности, места расположения технопарка в городской черте г. Ростова-на-Дону и ограничений, вызванных проходящей поблизости железной дороги, в состав ВЭУ включить 2 установки, единичной мощностью 800 кВт. Высота мачты может достигать 70 м, что обеспечит достаточно эффективную её работу. Тип агрегата установки – с горизонтальной осью. Вся вырабатываемая энергия будет поступать также в собственную локальную сеть электроснабжения.

В качестве демонстрационных ВЭУ планируется применение в блоке коттеджного строительства малых ВЭУ мощностью 1 – 6 кВт с вертикальной осью вращения. Здесь возможно использование оборудования различных производителей для определения их реальной эффективности в регионе.

**Системы управления ВИЭ.** Каждая местная система энергоснабжения связана с общей локальной системой и обеспечивает: дистанционный контроль и управления основными параметрами работы оборудования. Возможна организация мониторинга систем по сети Интернет.

Проект получил поддержку Администрации Ростовской области, профильных технологических платформ, был заслушан на заседании Рабочей группы Минэнерго России по внедрению интеллектуальных энергетических систем под председательством первого заместителя Министра энергетики Российской Федерации А.Л. Текслера.

В настоящее время проводятся работы по его согласованию с планом НИОКР ПАО «Россети».

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ В ЭКОПРОСВЕЩЕНИИ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ THE USE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC PANELS IN ECO RAISING AND EDUCATIONAL PROJECTS

**Потанский В.Г., Рафикова Ю.Ю.**

Экоцентр «Битцевский лес» ГУП Мосприрода, Географический факультет МГУ имени  
М.В.Ломоносова, г.Москва, Россия

**Potansky V.G., Rafikova Yu.Yu.**

Ecocenter "Bitsa forest", Mospriroda, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, Russia

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, фотоэлектрические панели, образование, экологическое просвещение.

**Keywords:** solar energy, photovoltaic panels, education, environmental education.

Наличие темы возобновляемой энергетики в национальных образовательных программах связано непосредственно с уровнем развития возобновляемой энергетики в каждой конкретной стране. Там, где возобновляемая энергетика составляет значительную часть в энергобалансе, высока потребность в квалифицированных специалистах, а также в наличии потребителей, заинтересованных в знаниях об энергообъектах на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), особенностях их установки и использования.

В России активное развитие отрасли возобновляемой энергетики началось только в последние годы. При этом на сегодняшний день в рамках существующего законодательства, развития отечественных технологий и инвестиционного климата наиболее интенсивно развивается солнечная энергетика. Реализация крупных проектов мегаваттного класса, развитие отечественных научных разработок в области фотовольтаики, открытие первого в России завода компании «Хевел» по производству солнечных преобразователей в г. Новочебоксарск безусловно выявляет потребность в квалифицированных специалистах. Проблемы высшего образования в России, наличия институтов и специальностей по возобновляемой энергетике неоднократно озвучивались на предшествующих тематических конференциях [1, 2] В этой работе мы попытаемся обобщить опыт внедрения технологий солнечной энергетики в среднее образование и экологическое просвещение для широкого круга населения.

Одним из наиболее ярких проектов по внедрению возобновляемой энергетики в школьное образование можно назвать национальный проект Ирландии «Энергия в образовании» [3], разработанный совместно Министерством образования Ирландии и Агентством устойчивого энергетического развития Ирландии. Веб-портал проекта предоставляет обширную методическую и техническую информацию для директоров начальных и средних школ, учителей, учащихся, родителей, архитекторов, инженеров, подрядчиков с целью повышения энергоэффективности, снижения эксплуатационных расходов, использования возобновляемых источников энергии в школах. Помимо этого, на сайте представлены практические руководства по вовлечению учащихся в процесс управления энергией в школе, в тематические исследования и обучение. Финансирование проекта осуществляется энергетическими компаниями и государственными структурами. Начав реализовывать эту идею в 1997 году с использования установок на ВИЭ в отдельных сельских школах, ранее не обладавших достаточными источниками электроснабжения и горячего водоснабжения, сегодня «Энергия в образовании» добились значительных результатов:

- создан информационный веб-портал для школ, учеников и родителей, проектировщиков и инженеров;
- созданы специализированные научные советы по содействию школам в вопросах энергоэффективности и энергетики;
- разработаны методики управления энергией, адаптированные к потребностям школ, сохраняющие не только энергию, но и расходы на нее;
- разработана 5-ступенчатая программа реализации управления энергией в школах;
- исследован потенциал школьных зданий с точки зрения использования их как наглядного инструмента в образовательном процессе;
- доказана высокая эффективность использования 3-минутных видео-клипов с участием детей, разъясняющих вопросы энергосбережения и использования ВИЭ;
- разработана программа энергоменеджмента образовательных, соответствующая требованиям пользователей;
- отмечен рост знаний по вопросам энергетики и охраны окружающей среды у преподавателей и учеников;
- сформировано положительное отношение к «зеленой» энергетике.

Существуют аналогичные международные проекты, которые уже сегодня представлены и на территории России. Один из таких проектов - Международный школьный проект по использованию ресурсов и энергии «SPARE» [4], созданный старейшей природоохранной организацией «Norges Naturvernforbund» («Друзья Земли Норвегии») в 1996 году. Сегодня в его мероприятиях участвуют 800 российских школ и более 2600 школ используют методические материалы проекта в образовательном процессе. Подобная практика способствует сотрудничеству между школами и университетами, региональными комитетами природопользования и охраны окружающей среды, центрами энергосбережения, департаментами образования, научно-исследовательскими институтами, библиотеками. При помощи семинаров, тренингов, конференций осуществляется развитие потенциала и повышение квалификации учителей. С участием экспертов программа SPARE разработала и опубликовала пособие для средней школы по энергосбережению, которая была одобрена Министерством образования Российской Федерации. Разработан и используется элективный курс «Я и энергия» для 9 класса (утвержден Департаментом образования Приморского края РФ). Опубликованы десятки наименований вспомогательных материалов для педагогов и школьников по теме климата, энергосбережения, энерго-эффективности, устойчивого развития, преподавания и практические деятельности в школах по теме климата и энергосбережения [4].

Следует отметить, что наиболее актуальным вопросом в образовательных проектах возобновляемой энергетики в последние годы в России по-прежнему остаётся обеспечение практической деятельности. В сфере солнечной энергетики только в последние пару лет отмечается рост использования ФЭП и водонагревательных установок на солнечной энергии в городах, где обеспечена доступность и наглядность объектов. Тем не менее по-прежнему присутствует ряд проблем использования их в образовательном процессе:

Не все образовательные проекты доступны широкому кругу населения в силу высокой стоимости. Безусловно это связано с дороговизной современных солнечных установок и затратами на аренду помещений, зарплату преподавателям. Примером служит быстроразвивающийся проект Школа «Гелиофлота», открывшаяся в августе 2015 года. Проект ориентирован на детей 12-16 лет, даёт им инженерные навыки с практическими занятиями на воде, учебным курсом по возобновляемой энергетике, соревнованиями по различным дисциплинам судовождения и даже получением

сертификата, учитывающегося при поступлении в московские ВУЗы. Школы солнечного судостроения «ГелиоФлот» планируется открыть во многих российских регионах и за рубежом [5]. Стоимость 2-хнедельного курса составляет 23 000 рублей за одного участника.

1. В последние годы солнечная энергия стала активно использоваться в городах России (для освещения улиц, остановок, стендов, электропитания велосипедных парковок). Такие объекты безусловно популяризируют солнечную энергетику, но не многие из них несут информационную составляющую и оправдывают себя результатами. Примером служит проект освещения Андреевских прудов и Андреевской набережной в заказнике Воробьевы горы, реализованный в 2011 г., а также размещение точек доступа к беспроводной сети Интернет на базе солнечной энергии в московских парках отдыха. Целью этих проектов является знакомство граждан с технологиями возобновляемой энергетики и экологическое воспитание. Тем не менее, многие проекты не снабжены стендами даже с минимальной информацией и не используются в образовательных учреждениях в силу отсутствия информации и межструктурного сотрудничества.
2. В 2015 году стали появляться интернет-ресурсы образовательной направленности для широкого круга пользователей различных возрастов и уровня образования. К сожалению, и в этой области часто наблюдается отсутствие налаженных связей между наукой, образованием и практиками, а, следовательно, отсутствие компетенций. Так популярным стало использование названия «Школа ВИЭ». Однако, наряду с уже существующими многолетними научными молодежными школами под таким названием, проводимыми научными академическими институтами с привлечением специалистов, ученых и преподавателей, возникают и сайты, на которых используются видео и печатные материалы этих мероприятий с неточностями и недостаточной полнотой освещения тематики [5].

Очевидно, что для решения существующих проблем, необходим поиск форм взаимодействия и сотрудничества между научными организациями, учреждениями высшего и среднего образования, а также государственными организациями, обеспечивающими досуг и экологическое просвещение широкого круга населения. Основной задачей экологического просвещения является формирование у широких слоев общества понимания проблем сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, роли особо охраняемых природных территорий и современных экологически чистых технологий в решении этих проблем, а также их места в социально-экономическом развитии регионов. Доступность знаний, предоставляемых организациями, работающими в сфере экологического просвещения, определяется их включением в бюджетные программы и поисков дополнительного финансирования со стороны фондов и конкурсных программ заинтересованных энергетических компаний.

Примером проекта экопросвещения на базе бюджетных организаций является проект «Свет и просвещение», осуществляемый на базе экоцентра «Битцевский лес» ГПБУ Мосприрода благодаря гранту международной организации 350.org (см. фото на Рис. 1). Экоцентр занимается экологическим просвещением населения, организует, участвует и поддерживает акции, направленные на изменение отношения человека к климату и природе, такие как: Час Земли, День без машин, День Земли, День Леса, Марш парков, День птиц, акции по раздельному сбору мусора. В экоцентре находится пункт раздельного сбора мусора, в котором собирают стекло, металл, батарейки, макулатуру, пластик 1-ой категории, электролом. Пункт работает на добровольных началах, сотрудники экоцентра самостоятельно разбирают содержимое контейнеров,

договариваются с предпринимателями, которые отвозят мусор на переработку, часто самостоятельно доставляют его на соответствующие заводы по переработке. Площадка для раздельного сбора мусора находится на открытом воздухе и не освещается.



Рис. 1. Монтаж оборудования для образовательного проекта «Свет и просвещение»

Суть проекта состоит в освещении пункта раздельного сбора мусора при помощи энергии, вырабатываемой солнечной установкой. Солнечная энергия будет использоваться для освещения непосредственно площадки и маркировки контейнеров с различными типами мусора разноцветными светодиодными лампами. Объект ежедневно посещают дети всех возрастов и взрослые, поэтому яркое и наглядное исполнение конструкции будет способствовать привлечению внимания и донесению информации. Помимо того что посетители смогут приходить на пункт и в темное время суток – после работы, многие смогут оценить, насколько просто использовать альтернативные источники энергии. Информационный стенд о конструкции разъяснит работу энергоустановки и предоставит краткое руководство о том, как можно собрать аналогичную конструкцию дома или на даче.

Используемая солнечная установка состоит из фотоэлектрической панели мощностью 200 Вт (FSM 200P 24 v), установленной на крыше экоцентра, демонстрационного блока, включающего контроллер заряда EPSolar Tracer MPPT 1215BN 10 a 12/24 v, дисплея для контроллера MT-50, аккумуляторной батареи на 75 А·ч, и светодиодных лампочек общей мощностью 30 Вт. Демонстрационный блок находится в открытом доступе и, помимо своей основной функции, предназначен для демонстрации работы солнечной установки. Мощность солнечной панели и сопутствующего оборудования подбиралась исходя из размера гранта, поэтому общая стоимость оборудования, включая несущую конструкцию и фурнитуру составила 52 000 руб.

Данный проект является некоммерческой инициативой, доступным для широких слоёв населения и пионерным в сфере экопросвещения. Это делает его перспективной площадкой для демонстрации практического опыта использования солнечной энергии, проведения образовательных мероприятий, популяризации солнечной энергетики.

#### **Список литературы**

1. Стребков Д.С. Образование в области возобновляемой энергетики. Материалы Первого международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2013» 22-23 октября 2013 г. Москва: ОИВТ РАН, 2013. – с.337-340
2. Елистратов В.В. Проблемы подготовки кадров для возобновляемой энергетики России в условиях реформы системы образования. Материалы Первого международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2013» 22-23 октября 2013 г. Москва: ОИВТ РАН, 2013. – с.155-157
3. Energy in Schools. A Department of Education & Skills Submission to the Oireachtas Joint Committee on Education and Social Protection. 4 June 2014
4. <http://spareworld.org/>
5. <http://russiansolar.ru/main/solarboatschool/>
6. <http://5thelement.ru/edu/>



## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА И ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ ЗАСЫПКИ НА РСТ-ДИАГРАММЫ ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА

Пыхтина А.И., Романов И.А.  
ОИВТ РАН, Москва, Россия

Технологии производства электроэнергии с помощью водородо-воздушных топливных элементов с твердо-полимерным электролитом (ТПТЭ) бурно развиваются в последние годы [1]. На сегодняшний день уже существуют коммерческие энергоустановки на основе ТЭ киловаттного класса мощности. Они могут быть использованы для резервного или аварийного питания объектов социальной инфраструктуры, ретрансляторов сотовой связи, для энергообеспечения удаленных населенных пунктов с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и пр. [2]. Однако высокая чистота водорода, требуемая для питания ТПТЭ, а также отсутствие надежной и безопасной системы хранения водорода препятствуют внедрению данной технологии.

Новые материалы для хранения водорода, в том числе и наноматериалы на основе углерода не оправдывают возлагаемых на них надежд, однако авторы считают, что для применения в стационарных энергоустановках достаточно уже открытых классов интерметаллических соединений [3]. Так соединения АВ<sub>5</sub>-типа на основе LaNi<sub>5</sub> селективно поглощают водород и способны хранить его в твердофазном состоянии неограниченное время без избыточного давления, что позволяет использовать их в системах хранения и очистки, интегрированных с ТПТЭ. Возможность варьировать рабочие параметры таких материалов в широких рамках за счет изменения состава позволяет создавать системы с оптимальными характеристиками для различных условий и задач.

Разработка систем очистки и хранения водорода, интегрированных с энергоустановками на базе ТПТЭ требует нового подхода к исследованию свойств интерметаллических соединений. Основной характеристикой материалов для хранения водорода являются так называемые изотермы сорбции и десорбции водорода или РСТ-диаграммы. Подавляющее большинство используемых на сегодняшний день методик позволяет изучать образцы массой в несколько грамм, в то время как системы хранения и очистки водорода могут содержать сотни килограммов металлгидридов [4,5], исследования крупных образцов в свою очередь обладают низкой точностью. В лаборатории Водородных энергетических технологий ОИВТ РАН была разработана и смонтирована установка, которая позволяет измерять РСТ-диаграммы водородпоглощающих материалов образцов массой от 10 до 800 г в широком диапазоне условий с высокой точностью. При конструировании систем очистки и хранения водорода большой интерес представляют изотермы десорбции водорода, поскольку необходимо обеспечить строго определенное давление водорода на входе в топливный элемент.

Объектом исследования в данной работе являлся водородпоглощающий сплав на основе LaNi<sub>5</sub>, для которого были измерены изотермы десорбции водорода образцов массой 100 и 500 г с помощью модифицированного метода Сивертса. Водородсорбционные характеристики сплава LaFe<sub>0.1</sub>Mn<sub>0.3</sub>Ni<sub>4.8</sub> представлены в таблице.

Метод Сивертса – квазиравновесный метод, который позволяет описывать состояние твердой фазы, измеряя параметры (температуру и давление) водорода в газовой фазе, на том основании, что в состоянии равновесия химические потенциалы водорода в твердой и газовой фазе равны. Таким образом, химический потенциал водорода в твердой фазе может быть представлен в следующем виде:

$$\mu_H = \frac{1}{2} \mu_{H_2} \quad (1)$$

Поскольку в твердой фазе водород содержится в атомарном виде, появляется коэффициент равный одной второй. С другой стороны, химический потенциал водорода в твердой фазе может быть записан таким образом:

$$\mu_H = \mu_H^0 + RT \cdot \ln \frac{n}{1-n} + \Delta\mu_H \quad (2)$$

где  $\mu_H^0$  – стандартный потенциал водорода, второй член в правой части – конфигурационный член, соответствующий идеальному распределению атомов водорода по октаэдрическим пустотам ( $n = H/Me$  отношение количества атомов), а  $\Delta\mu_H$  характеризует отличие поведения раствора от идеального.

Таким образом, получаем:

$$\mu_H^0 + RT \cdot \ln \frac{n}{1-n} + \Delta\mu_H = \frac{1}{2} \mu_{H_2}^0 + \frac{1}{2} RT \cdot \ln p_{H_2} \quad (3)$$

Для количественной оценки величины масштабного эффекта следует выделить в уравнении (2) в отдельную часть изменение химического потенциала водорода, которое вызывают напряжения внутри и между частицами –  $\mu_H^s$ . Таким образом, уравнение (2) примет вид:

$$\mu_H = \mu_H^0 + RT \cdot \ln \frac{n}{1-n} + \Delta\mu_H + \mu_H^s \quad (4)$$

Поскольку изменение массы образца существенно не влияет на содержание водорода в гидридной фазе, а так же учитывая близкие значения давлений и одинаковые температуры, мы можем рассчитать величину  $\Delta\mu_H^s$  для температуры 373 и 423 К:

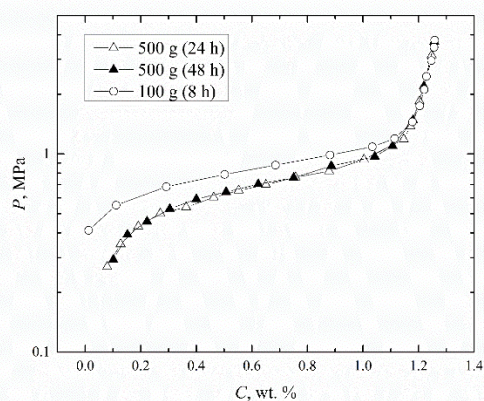
$$\Delta\mu_H^s = \mu_H^{100} - \mu_H^{500} = \frac{1}{2} RT \cdot \ln \frac{p^{100}}{p^{500}} \quad (5)$$

где:  $\mu_H^{100}$  и  $\mu_H^{500}$  – химические потенциалы водорода в твердой фазе, а  $p^{100}$  и  $p^{500}$  равновесные давления водорода на плато образцов массой 100 и 500 г соответственно.

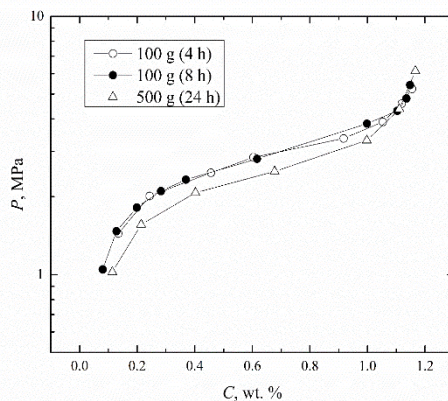
На рисунке 1 представлено сравнение изотерм десорбции водорода образцов массой 100 и 500 г при температуре 373 К (а), причем для образца массой 500 г были измерены 2 изотермы с различными временами выжидания (24 и 48 ч на точку). Столь длительные эксперименты и отсутствие существенной разницы между изотермами с различными временами выжидания, позволяют нам быть уверенными, что равновесие в каждой точке действительно достигнуто, и разница в состоянии образцов различной массы не связана с кинетикой процесса десорбции. Аналогичное поведение демонстрируют изотермы при температуре 423 К, с той лишь разницей, что представлены две изотермы для образца массой 100 г и одна – 500.

Изотермы образцов различной массы практически полностью совпадают в области насыщенного гидрида, а в области фазового перехода твердый раствор - гидрид наблюдается заметная разница. При 373 К она составляет порядка 0,15 МПа, при 423 К - от 0,3 до 0,5. Масштабный эффект также вносит вклад в равновесные термодинамические параметры реакции десорбции водорода. Возникновение упругих напряжений приводит к уменьшению на 10% величины  $\Delta H$  и  $\Delta S$  реакции десорбции, что существенно выше погрешности определения данных величин с помощью использованной методики. Свойства образцов представлены в таблице.

Исходя из того, что процесс десорбции водорода представляет собой фазовый переход, плато десорбции должно быть строго параллельно оси концентрации, однако в реальности зачастую плато обладает заметным наклоном (рис. 1 а) и б)). При этом величины  $\Delta H$  и  $\Delta S$  реакции десорбции, рассчитанные с использованием равновесного давления на всем протяжении плато, колеблются в пределах погрешности.



а) 373 К



б) 423 К

Рис. 1. Изотермы десорбции водорода образцов массой 100 и 500 г

Таблица 1. Сорбционные свойства образцов массой 100 и 500 г

Масса образца	$C(H_2)_{\max}$ масс. %		$\bar{P}_{eq}$ МПа		$\Delta H_{des_o}^{\text{des}}$ , кДж/моль	$\Delta S_{des_o}^{\text{des}}$ , Дж/моль·К
	373 К	423 К	373 К	423 К		
100 г	1,3	1,2	0,83	2,87	$34,0 \pm 0,3$	$108 \pm 2$
500 г	1,3	1,2	0,68	2,38	$31,0 \pm 0,3$	$99 \pm 2$

Поведение интерметаллида отличается от наблюдаемого в условиях отсутствия свободного объема [6] – увеличение массы образца, а, следовательно, и влияния упругих напряжений, не приводит к заметному снижению сорбционной емкости. Но в обоих случаях было зафиксировано снижение равновесного давления. Подобное снижение равновесного давления уже наблюдалось при исследовании влияния упругих напряжений на твердый раствор водорода в палладии [7].

Так же стоит отметить, что после проведения эксперимента в образце массой 500 г были обнаружены плотные агломерации частиц размером до 10 мм, которые при надавливании рассыпались в мелкодисперсный порошок. Эти агломерации вероятнее всего вызваны уплотнением, которое возникает засыпке из-за повышенного давления и расширения частиц в ходе процессов абсорбции водорода. В образце массой 100 г подобных уплотнений обнаружено не было.

На рисунке 2 показана зависимость величины масштабного эффекта от содержания водорода в сплаве при температуре 373 и 423 К. Среднее значение  $\Delta\mu_H^S$  при температуре 373 К составляет  $-310 \pm 30$  Дж/мольН, при 423 К –  $-260 \pm 30$  Дж/мольН. Хорошо видно, что в отличие от разницы равновесных давлений, которая при повышении температуры на 50 К возрастет в несколько раз, величина  $\Delta\mu_H^S$  от температуры практически не зависит, что также делает этот параметр более удобным для описания масштабного эффекта.

Изменение  $\Delta\mu_H^S$ , вероятно, вызвано изменением размера частиц сплава вследствие термического расширения, что влияет на величину упругих напряжений, а также изменением размера пустот в кристаллической решетке интерметаллида. На данном этапе исследований еще недостаточно данных, чтобы делать выводы о характере зависимости величины  $\Delta\mu_H^S$  от температуры и равновесного давления в системе, необходимо провести дополнительные эксперименты с образцами различной массы в широком диапазоне условий. Однако можно с уверенностью заключить, что возникновение масштабного эффекта связано с фазой твердого раствора водорода в интерметаллиде и процессом образования гидридной фазы, а в чистой гидридной фазе эффект не проявляется.

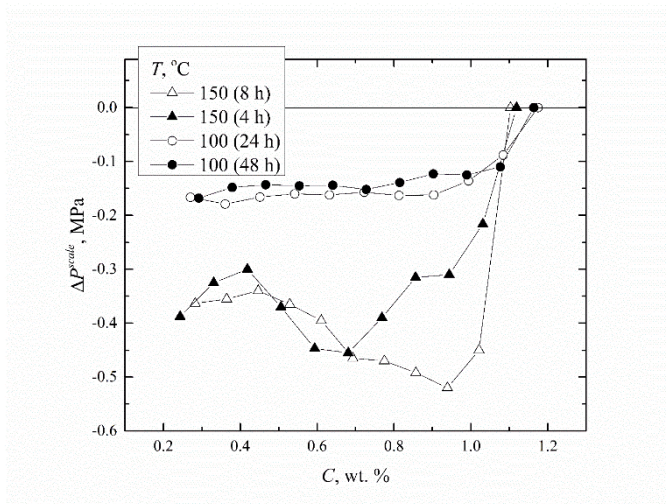


Рис.2. Зависимость  $\Delta\mu_H^S$  от содержания водорода в интерметаллиде при 373 и при 423 К.

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки Российской Федерации за финансовую поддержку исследований (государственный контракт №№ 14.516.11.0018, НШ 123.2012.8 под рук. ак. А.Е. Шейндлина), Российскому Фонду Фундаментальных Исследований (гранты 13-08-01045 и 13-08-01312), а также В.И. Борзенко, Д.О. Дуникову, С.В. Митрохину и членам семинара лаборатории Водородных энергетических технологий ОИВТ РАН за полезные обсуждения.

#### Список литературы

1. D. Stolten, "Hydrogen and fuel cells", Wiley-VCH, Weinheim 2010. 878 pp
2. Малышенко С.П., Борзенко В.И., Дуников Д.О., Назарова О.В.//Металлогидридные технологии водородного аккумулирования энергии для автономных систем энергообеспечения на основе возобновляемых источников энергии. //Теплоэнергетика. 2012. № 6. С. 50-60.
3. Малышенко С.П. Исследования и разработки ОИВТ РАН в области технологий водородной энергетики. Альтернативная энергетика и экология. № 3(95), 2011. С. 1-25
4. Борзенко В.И. Исследование процессов, разработка и создание металлогидридной системы хранения и очистки водорода для энергоустановок на основе ТПТЭ киловаттного класса мощности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. ОИВТ РАН. М:2012.
5. Борзенко В.И., Дуников Д.О., Малышенко С.П.//Металлогидридные системы хранения и очистки водорода и их применение в энергетике// Юбилейная научная конференция, посвященная 50-летию ОИВТ РАН, 20-21 октября 2010 года. Сборник тезисов докладов. М.: 2011. С.278-281.
6. M. Kawamura, S. Ono, Y. Mizuno. Stress induced in metal hydrogen powder bed by hydriding reaction. Metal-Hydrogen Systems (Pergamon,Oxford 1982) pp.489-500
7. Flanagan T.B., Lynch J.F., J. Less-Common Metals 49, 25, 1976

## КРИОГЕННЫЙ АККУМУЛЯТОР ЭНЕРГИИ

Романовский В.Ф.

ООО «КОНГРАН», г. Москва, Россия

Аккумулируемая электроэнергия приводит в действие криогенную установку, сжижающую азот атмосферного воздуха, передавая тепловую энергию сжижаемого газа в окружающую среду, которая и выполняет функцию аккумулятора [1]. Полученный жидкий азот хранится в теплоизолированных резервуарах при атмосферном давлении и температуре его кипения, составляющей - 196°C.

При тепловом контакте с окружающей средой жидкий азот как более холодное тело поглощает её тепловую энергию, нагревается и при температуре выше критического значения полностью переходит в газообразное состояние независимо от величины занимаемого им объема. При этом давление внутри образовавшегося газа может превышать атмосферное в десятки тысяч раз. Полученный таким образом газ, расширяясь, будет совершать полезную работу, например, вращать электрогенератор и производить электроэнергию.

Аккумулятор энергии, базирующиеся на описанном принципе, будем далее по тексту называть криогенными аккумуляторами. Энергетическая ёмкость криогенного аккумулятора определяется количеством сжиженного азота и практически неограниченна. К его достоинствам, кроме неограниченной ёмкости, следует отнести также: абсолютную экологическую безвредность, доступность создания в любом географическом регионе мира, неограниченность количества циклов заряд-разряд, пожаробезопасность (для азотного аккумулятора) и взрывобезопасность.

Коэффициент отдачи криогенного аккумулятора, как и любого другого аккумулятора энергии, равна отношению количества работы, совершенной расширяющимся газом, к количеству энергии, затраченной на сжижение эквивалентного количества жидкого азота.

При существующих общеприменимых технологиях сжижения азота нижняя граница величины удельных затрат энергии, отнесенных к одному килограмму жидкого азота, примерно равна одному киловатт-часу электроэнергии (3,6 МДж/кг).

В. Кеезому удалось [2] путем применения четырехкаскадной холодильной установки снизить эти затраты до 0,54 кВт·ч/кг (1,94 МДж/кг). Согласно идеальному циклу сжижения газа [3] минимальные удельные затраты энергии для сжижения азота составляют 0,21 кВт·ч/кг (756 кДж/кг). В этом идеальном цикле так же, как и в цикле Карно, сжатие газа перед его последующем сжижением осуществляется изотермически, так как именно изотермическое сжатие наименее энергозатратно.

При обратном преобразовании тепловой энергии, изъятый с помощью жидкого азота из окружающей среды, тоже применено изотермическое расширение получаемого газа высокого давления, так как механическая работа, совершаемая в процессе такого расширения, максимальна и не лимитирована внутренней энергией расширяющегося газа. Величина этой работы  $W_i$  определена следующей закономерностью для идеального газа:

$$W_i = mRT \cdot \ln(p_1/p_2), \quad (1)$$

где:  $m$  - масса расширяющегося газа,  $R$  – газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура расширяющегося газа,  $p_1$  и  $p_2$  - начальное и конечное значения давления.

Согласно (1) при отношении давлений ( $p_1/p_2$ ), равном 500, при температуре  $T = 273$  К (0°C) азот, расширяющийся в изотермическом режиме, совершает удельную работу, равную 504 кДж/кг.

Соотнося эту работу с удельными энергетическими затратами на сжижение азота в идеальном цикле 756 кДж/кг, получим предельное теоретическое значение коэффициента отдачи азотного криогенного аккумулятора энергии: 0,67 (67%).

Исходя из изложенного, задача создания криогенного аккумулятора энергии сводится к осуществлению термодинамических режимов сжатия и расширения газа в режимах, близких к изотермическим. Эта тема до сих пор не доведена до создания серийных изотермических компрессоров и тепловых двигателей.

При равенстве температур окружающей среды и расширяющегося или сжимающегося газа невозможна циркуляция между ними тепловой энергии.

Поэтому поставленную задачу можно решить только, если организовать в процессе расширения или сжатия газа некий перепад температур  $\Delta T$  между окружающей средой и расширяющимся или сжимающимся газом.

Энергия, затрачиваемая при изотермическом сжатии также определяется выражением (1), в котором величины  $p_1$  и  $p_2$  меняются местами, так как при сжатии величина конечного давления  $p_2$  больше величины начального давления  $p_1$ . Тогда, если температуру газа  $T$  выразить в виде суммы или разности температуры  $T_{oc}$  окружающей среды и перепада температур  $\Delta T$ , то формула (1) преобразуется в два соотношения для сжатия  $W_{ic}$  и расширения  $W_{ip}$  газа:

$$W_{ic} = mRT[1+(\Delta T/T)] \cdot \ln(p_2/p_1), \quad (2)$$

$$W_{ip} = mRT[1-(\Delta T/T)] \cdot \ln(p_1/p_2). \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) следует, что реальные энергетические затраты  $W_{ic}$  на изотермическое сжатие газа в процессе его сжижения возрастают, а реальная работа, совершаемая газом при его изотермическом расширении, уменьшается. При этом соответственно с появлением слагаемого  $\Delta T/T$  соответственно уменьшается и коэффициент отдачи криогенного аккумулятора энергии. Поэтому одной из главных целей осуществления рассматриваемых изотермических процессов является минимизация величины параметра  $\Delta T$ . Поскольку хранение тепловой энергии, закачанной в криогенный аккумулятор осуществляется в окружающей среде, то возврат аккумулированной энергии может быть осуществлен в любом отдалённом от хранилища жидкого азота географическом пункте путем транспортировки туда необходимого количества жидкого азота при наличии там теплового криогенного двигателя, снабженного системой теплообмена с атмосферой или водой открытого водоема.

Поэтому работу по созданию такого аккумулятора следует начинать с разработки изотермического криогенного теплового двигателя единичной мощностью  $P_{кт}$ . Для этого следует создать технологию осуществления теплового контакта между жидким азотом и окружающей средой, действующую и в процессе регазификации жидкого азота и в процессе изотермического расширения в цилиндре двигателя полученного после регазификации газа высокого давления. Для этого удобно поместить в цилиндр двигателя в качестве единичной теплоемкой массы окружающей среды некоторое количество теплоемкого жидкого теплоносителя, имеющего температуру окружающей среды и образующего мелкодисперсную смесь с существенно меньшей по массе порцией газа высокого давления [4]. Сама такая смесь может иметь характер множества пузырьков газа, взвешенных в жидком теплоносителе с суммарной площадью поверхности теплового контакта  $S$ . При движении поршня газовая составляющая этой смеси расширяется, увеличивается объем взвешенных в теплоносителе пузырьков газа и площадь теплового контакта между расширяющимся газом и теплоносителем. Пузырьки газа, остывающие при расширении, создают упомянутый выше перепад температур  $\Delta T$  между газом и жидким теплоносителем. При этом возникает тепловой поток от жидкого теплоносителя к газу, заполняющему взвешенные в нём пузырьки, который не позволяет увеличиваться величине температурного перепада  $\Delta T$ . Мощность теплового потока от



жидкого теплоносителя к пузырькам газа равна механической мощности  $P_{кг}$ , развиваемой поршнем, и описывается выражением:

$$P_t = h_t \cdot \Delta T \cdot S, \quad (4)$$

где:  $h_t$  - коэффициент теплопередачи между газом и поверхностью его теплообмена с окружающей средой ( $Вт/м^2К$ ),  $S$  – площадь поверхности теплообмена газа с окружающей средой.

Величина перепада температур  $\Delta T$  тем меньше, чем больше площадь теплового контакта  $S$  т.е., чем выше дисперсность смеси расширяющегося газа с жидким теплоносителем.

На рисунке приведена функциональная схема теплового криогенного изотермического двигателя.

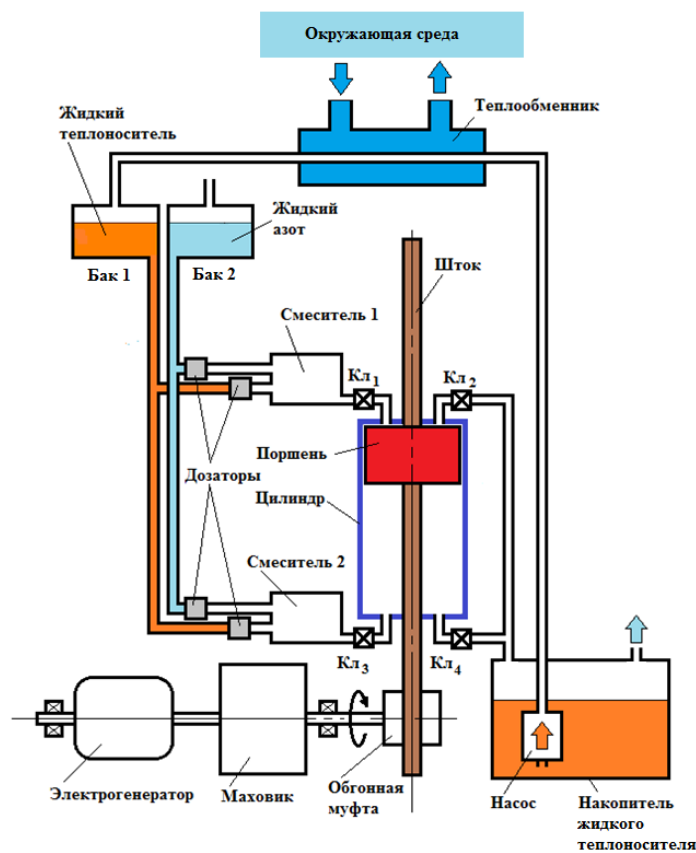


Рис. Функциональная схема теплового изотермического двигателя

Поршень имеет две рабочих поверхности. Подача мелкодисперсной смеси в цилиндр осуществляется поочередно через клапаны высокого давления Кл.1 и Кл.3. Через клапаны Кл.2 и Кл.4 осуществляется выброс отработанной смеси в накопитель жидкого теплоносителя, из которого газовая фаза смеси уходит в атмосферу, жидкий теплоноситель с помощью насоса поступает в теплообменник для подогрева до температуры окружающей среды и далее в Бак 1 для повторного использования. Поршень через шток, реечный механизм и обгонную муфту за несколько циклов работы поршня раскручивает маховик до скорости вращения ротора электрогенератора. Поддержание скорости вращения маховика осуществляется путем регулировки частоты повторения циклов движения поршня.

На этом же принципе с использованием соотношения (2) ведется разработка изотермического компрессора высокого давления для установки сжижения азота.

---

### Список литературы

1. В.Ф.Романовский. Использование тепловой энергии, аккумулируемой в окружающей среде при криогенно процессе, для создания экологически чистых накопителей энергии большой емкости. ЭНЕРГОЭКСПЕРТ, №1(30), 2012, с.30-34.
2. В.Г. Фастовский, Ю.В. Петровский, А.Е. Ровинский. Криогенная техника. «Энергия», 1974, с.129-131.
3. Р.Б. Скотт. Техника низких температур. Изд-во иностр. литературы, М, 1962, с.16-18.
4. В.Ф. Романовский, А.М. Романовская. Способ преобразования тепловой энергии в механическую работу и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2166103. 07.07.1999.



## ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ И МИРЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ GEOTHERMAL ENERGY IN RUSSIA AND IN THE WORLD: PROBLEMS AND PERSPECTIVES

**Свалова В.Б.**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия

**Svalova V.B.**

Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow, Russia

**Keywords:** alternative energy, geothermal energy, geothermal resources, heat pumps.

Быстрый рост энергопотребления, ограниченность и удорожание ресурсов невозобновляемого топлива, обострение экологических проблем заставляют мировую экономику широко использовать альтернативные источники энергии. Геотермальные ресурсы являются важнейшим источником развития энергетики, редкометальной и химической промышленности, санаторно-бальнеологического и агропромышленного комплексов. Россия обладает огромными запасами гидрогеотермальных, т.е. аккумулированных в подземных водах, и петротермальных, аккумулированных в горных породах, ресурсов. В то же время в России они используются далеко недостаточно [1-17]. Прошедший в Австралии в апреле 2015 г. Всемирный Геотермальный Конгресс подвел некоторые итоги развития геотермальной энергетики в мире.

Наиболее ярких успехов в развитии геотермальной энергетики Россия достигла на Камчатке. Общая мощность энергообъектов на Камчатке, включая Мутновскую (50 МВт), Верхне-Мутновскую (12 МВт) и Паужетскую ГеоЭС (14,5 МВт в 2014), оценивается в 76,5 МВт. Это составляет 25 % потребности региона в электроэнергии, что позволяет даже в случае прекращения поставок мазута на полуостров решить стратегическую задачу обеспечения электроэнергией жилого сектора и жизненно важных объектов. На Курилах работают две ГеоЭС – мощностью 1,8 МВт (Менделеевская на о. Кунашир) и 3,6 МВт (Океанская на о. Итуруп). Таким образом, общая мощность ГеоЭС России составляет 81,9 МВт.

Интересно сравнить производство электроэнергии из геотермальных источников по странам (Таб.1) [8].

Наиболее перспективными регионами для практического использования геотермальных ресурсов на территории России являются Северный Кавказ, Западная Сибирь, Прибайкалье, Курило-Камчатский регион, Приморье, Охотско-Чукотский вулканический пояс. Практически повсеместно внутреннее тепло Земли может осваиваться с помощью тепловых насосов.

Использованием и усовершенствованием тепловых насосов для утилизации геотермальных ресурсов занимается целый ряд организаций. Пионерами использования тепловых насосов в России явились НПО «Недра» в Ярославле и Группа Компаний «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» в Москве. На тепловых насосах работают экспериментальная школа в деревне Филиппово Ярославской области, демонстрационный комплекс «Экопарк-Фили», энергоэффективный жилой дом в Москве на улице Академика Анохина, 62, административное здание «Гиперкуб» - первое здание иннограда "Сколково".

Оно выполнено в виде куба с ребром, равным 30 м, имеет семь этажей и площадь, равную 6 тыс. кв. метров. Проектирование «Гиперкуба» основано на принципах энергоэффективности, использовании возможностей окружающей среды, эргономики и снижения стоимости эксплуатационных расходов. Здание снабжено солнечными батареями, расположенными на его южном фасаде, они используются для освещения

коридоров, лестниц и т.д. Для управления климатическими условиями внутри здания применяется вода, которая поступает из артезианских скважин и круглый год имеет постоянную температуру около 5 °С. При построении трехмерной модели «Гиперкуба» использовалась российская технология Vizerra, позволяющая создавать интерактивные 3D-модели различных объектов. Первыми резидентами «Гиперкуба» стали около двух десятков компаний, в том числе Cisco, IBM и Siemens.

Таблица 1. Производство электроэнергии из геотермальных источников в мире.

Страна	1990, МВт	1995, МВт	2000, МВт	2005, МВт	2010, МВт	2015, МВт
Аргентина	0,67	0,67	0	0	0	0
Австралия	0	0,17	0,17	0,2	0,1	1,1
Австрия	0	0	0	1	1,4	1,2
Китай	19,2	28,78	29,17	28	24	27
Коста Рика	0	55	142,5	163	166	207
Сальвадор	95	105	161	151	204	204
Эфиопия	0	0	8,52	7	7,3	7,3
Франция	4,2	4,2	4,2	15	16	16
Германия	0	0	0	0,2	6,6	27
Гватемала	0	33,4	33,4	33	52	52
Исландия	44,6	50	170	322	575	665
Индонезия	144,75	309,75	589,5	797	1197	1340
Италия	545	631,7	785	790	843	916
Япония	214,6	413,71	546,9	535	536	519
Кения	45	45	45	127	202	594
Мексика	700	753	755	953	958	1017
Новая Зеландия	283,2	286	437	435	762	1005
Никарагуа	35	70	70	77	88	159
Папуа Новая Гвинея	0	0	0	39	56	50
Филиппины	891	1227	1909	1931	1904	1670
Португалия	3	5	16	16	29	29
Россия	11	11	23	73	82	82
Тайвань	0	0	0	0	0	0,1
Тайланд	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Турция	20,6	20,4	20,4	20,4	91	397
США	2774,6	2816,7	2228	2544	3098	3450
ВСЕГО	5831,72	6833,38	7974,06	9058,1	10897	12635

Строение разработано по международным стандартам LEED (Leadership in Energy & Environmental Design Standards) - это рейтинговая система сертификации проектов и зданий исходя из уровня их энергоэффективности, экологической чистоты и экоустойчивости, разработанная Американским Советом по Зеленым Зданиям – United States Green Building Council.

Для повышения рейтинга LEED в Гиперкубе была применена схема на базе теплового насоса Stibel Eltron WPF 66 G. В качестве источника низкопотенциального тепла используется буферная емкость объемом 1500л, которая подключена к тринадцати геотермальным зондам. Глубина каждого зонда составляет 80м. Такая схема в совокупности с пластинчатыми теплообменниками и трехходовыми клапанами позволяет тепловому насосу одновременно работать на охлаждение и на выработку тепла.

Автоматика ТНУ полностью интегрирована в систему «умного дома» Гиперкуба и управляется компьютером оператора службы эксплуатации. Программное обеспечение дает всю информацию о физических состояниях теплоносителей в различных гидравлических контурах и сама принимает решение о включении исполнительных

механизмов запорной арматуры, двигателей циркуляционных насосов и компрессора теплового насоса.

Особенно широко тепловые насосы используются в коттеджном строительстве. Использование тепловых насосов в России имеет очень большие перспективы и резервы здесь огромны.

Источником низкопотенциальной тепловой энергии могут служить грунт поверхностных слоев Земли, водоёмы и природные водные потоки, окружающий воздух, вентиляционные выбросы зданий и сооружений, канализационные стоки, сбросное тепло технологических процессов.

Импульсом к интенсивному развитию тепловых насосов в мире послужил энергетический кризис 1973 года. За 3 года рынок тепловых насосов в США достиг уровня 300 000 установок в год.

Наибольшее распространение эти системы получили в США, Канаде, Японии, Исландии, Австрии, Германии, Швеции, Швейцарии.

Темпы роста производства тепловых насосов ежегодно увеличиваются на 30-40%. Так в Японии уже установлено более 10 млн тепловых насосов, в США ежегодно производится 1 млн установок. В Швеции получают от теплонасосов более 50% тепла. Мировым лидером по величине использования низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли на душу населения является Швейцария.

В России производится около 1000 тепловых насосов в год, что, конечно, совершенно недостаточно. Даже необходимость экономии в отоплении, слабая газификация страны, огромные территории и потребность в энергоснабжении отдаленных регионов не приводят к столь необходимой интенсификации отрасли.

Сочетание тепловых насосов с другими источниками возобновляемых энергоресурсов – солнца, ветра, биотоплива – открывает широкие перспективы энергонезависимого автономного экологичного жилищного строительства.

Для сравнения приведем данные по прямому использованию геотермальных ресурсов в мире [9] (Таб. 2, 3).

В октябре 2014 года прошел двухдневный саммит глав стран Евросоюза, в ходе которого была принята стратегия по климату и энергетике до 2030 года. Основные тенденции на рынке отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК) Европейского союза тесно связаны с требованиями Директивы по энергетической эффективности (2012) и Директивы по увеличению доли использования возобновляемых источников энергии (2009). Основная цель этих документов – подвинуть рынок к строительству зданий с нулевым потреблением невозобновляемой энергии, т.е. угля, нефти и газа.

Таблица 2. Прямое использование геотермальной энергии в мире.

Страна	1995		2000		2015	
	Мощность МВт	Энергия Т Дж/год	Мощность МВт	Энергия Т Дж/год	Мощность МВт	Энергия Т Дж/год
Албания					16,23	107,59
Алжир	100	1657	100	1586	54,64	1699,65
Аргентина			25,7	449	163,60	1000,03
Армения			1	15	1,50	22,50
Австралия			34,4	351	16,09	194,36
Австрия	21,1	200	255,3	1609	903,40	6538,00
Беларусь					4,73	113,53
Бельгия	3,9	101,6	3,9	107	206,08	864,40
Босния и Герцеговина					23,92	252,33
Бразилия					360,10	6622,40

Продолжение Таблицы 2

Болгария	133,1	778,5	107,2	1637	93,11	1224,42
Канада	1,68	47	377,6	1023	1466,78	11615,00
Карибские острова			0,1	1	0,1	2,78
Чили			0,4	7	19,91	186,12
Китай	1915	16981	2282	37908	17870,00	174352,00
Колумбия			13,3	266	18,00	289,88
Коста Рика					1,00	21,00
Хорватия			113,9	555	79,94	684,49
Чехия			12,5	128	304,50	1790,00
Дания	3,5	45	7,4	75	353,00	3755,00
Эквадор					5,16	102,40
Египет			1	15	6,80	88,00
Сальвадор					3,36	56,00
Эстония					63,00	356,00
Эфиопия					2,20	41,60
Финляндия			80,5	484	1560,00	18000,00
Франция	599	7350	326	4895	2346,90	15867,00
Грузия	245	7685	250	6307	73,42	695,16
Германия	32	303	397	1568	2848,60	19531,30
Греция	22,6	135	57,1	385	221,88	1326,45
Гренландия					1,00	21,00
Гватемала	2,64	83	4,2	117	2,31	56,46
Гондурас			0,7	17	1,93	45,00
Венгрия	340	5861	472,7	4086	905,58	10268,06
Исландия	1443	21158	1469	20170	2040,00	26717,00
Индия			80	2517	986,00	4302,00
Индонезия			2,3	43	2,30	42,60
Иран					81,50	1103,12
Ирландия					265,54	1240,54
Израиль	44,2	1196	63,3	1713	82,40	2193,00
Италия	307	3629	325,8	3774	1014,00	8682,00
Япония	319	6942	1167	26933	2186,17	26130,08
Иордания			153,3	1540	153,30	1540,00
Кения			1,3	10	22,40	182,62
Корея (Юж.)			35,8	753	835,60	2682,65
Латвия					1,63	31,81
Литва			21	599	94,60	712,90
Македония	69,5	509,6	81,2	510	48,68	601,11
Мадагаскар					2,81	75,59
Мексика			164,2	3919	155,82	4171,00
Монголия					20,16	340,46
Марокко					5,00	50,00
Непал			1,1	22	3,32	81,11
Нидерланды			10,8	57	790,00	6426,00
Новая Зеландия	264	6614	307,9	7081	487,45	8621,00
Норвегия			6	32	1300,00	8260,00
Пакистан					0,54	2,46
Папуа Новая Гвинея					0,10	1,00
Перу			2,4	49	3,00	61,00
Филиппины			1	25	3,30	39,58
Польша	63	740	68,5	275	488,84	2742,60
Португалия			5,5	35	35,20	478,20

## Продолжение Таблицы 2

Румыния	137	2753	152,4	2871	245,13	1905,32
Россия	210	2422	308,2	6144	308,20	6143,50
Саудовская Аравия					44,00	152,89
Сербия					115,64	1802,48
Словакия	99,7	1808	132,3	2118	149,40	2469,60
Словения	37	761	42	705	152,75	37,00
Южная Африка					2,30	37,00
Испания					64,13	344,85
Швеция	47	960	377	4128	5600,00	51920,00
Швейцария	110	3470	547,3	2386	1733,08	11836,80
Таджикистан					2,93	55,40
Тайланд			0,7	15	128,51	1181,20
Тунис			23,1	201	43,80	364,00
Турция	140	1987	820	15756	2886,30	45126,00
Украина					10,90	118,80
Великобритания			2,9	21	283,76	1906,50
США	1874	13890	3766	20302	17415,91	75862,20
Венесуэла			0,7	14	0,70	14,00
Вьетнам					31,20	92,33
Йемен			1	15	1,00	15,00
Югославия	80	2375	80	2375		
ВСЕГО	8604	112441	15145	190699	70358,98	587786.43

Одной из главных мировых тенденций развития ОВК является развитие децентрализованных систем энергоснабжения зданий. Развитие систем, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии, позволяет практически в любой точке планеты от районов с вечной мерзлотой до экватора энергетически эффективно обеспечить здание тепловой энергией и холодом. Будущее за гибридными теплонасосными системами теплоснабжения, использующими в качестве источника тепла низкого потенциала грунт в комбинации с теплом атмосферного воздуха и вентиляционными выбросами зданий. Эта технология сегодня уже повсеместно доступна.

Таблица 3. Суммарное прямое использование геотермальной энергии в мире по различным категориям. (Мощность, МВт).

	1995	2000	2005	2010	2015
Тепловые насосы	1854	5275	15384	33134	49898
Обогрев жилья	2579	3263	4366	5394	7556
Теплицы	1085	1246	1404	1544	1830
Бассейны	1097	605	616	653	695
С.-х. сушка	67	74	157	125	161
Индустриальное использование	544	474	484	533	610
Душевые	1085	3957	5401	6700	9140
Охлаждение/снеготаяние	115	114	371	368	360
Другое	238	137	86	42	79
Всего	8664	15145	28269	48493	70329

**Список литературы**

1. Свалова В.Б. Геотермальная энергетика в ЖКХ. Независимая газета. НГ-ЭНЕРГИЯ. № 267 (6313), 9 декабря 2014 г., с. 14.
2. Свалова В.Б. Комплексное использование геотермальной энергии в России. Проблемы и перспективы. Материалы Второго международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности». 10-11 ноября 2014 г. М., REENFOR-2014, с.370-377.
3. Свалова В.Б. Геотермальные ресурсы России: проблемы и перспективы комплексного использования. // Мониторинг. Наука и технологии. №2(3), 2010, 16-29.
4. Свалова В.Б. Геотермальные ресурсы России и их комплексное использование.// Альтернативная энергетика и экология. 2009, №7, 69-79.
5. Свалова В.Б. Проблемы и перспективы использования геотермальных ресурсов. //Использование и охрана природных ресурсов в России. № 5, 2008, стр. 3-10.
6. Свалова В.Б. “Добыть тепло из-под Земли”. Газета «Тверская, 13», №115, 25 сентября 2010 г.
7. Свалова В.Б. "Термоминеральные воды России и их комплексное использование." //Гидрометеорология и экология, №2, 2010 г., стр. 174-191.
8. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report. Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Australia, 19 pp. CD.
9. Lund J.W., Boyd T. L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Australia, 31 pp. CD.
10. Povarov K.O., Svalova V.B. Geothermal Development in Russia: Country Update Report 2005-2009. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia.(CD)
11. Svalova V., Povarov K. Geothermal energy use in Russia. Country update for 2007-2012. Proceedings of European Geothermal Congress 2013. Pisa, Italy, 2013, 7 pp.
12. Svalova V.B. Mineral extraction from brines and geothermal resources complex use in Russia.\\ Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Indonesia, 7 pp, CD.
13. Svalova V.B. Complex utilization of geothermal resources. CD Proceedings of IAEG Congress, 5-10 September 2010, Auckland, New Zealand, 7 pp.
14. Svalova, V.B. Geothermal Resources of Russia and Their Complex Utilization. Proceedings of AGEC2011 (Australian Geothermal Energy Conference 2011), Melbourne, Australia, 8pp.
15. Svalova V. Geothermal Energy Use in Russia. Proceedings of The 4th African Rift Geothermal Conference(ARGeo C4) Nairobi, Kenya, 2012. 8 pp.
16. Svalova V., Povarov K. Geothermal Energy Use in Russia. Country Update for 2010-2015 Proceedings of World Geothermal Congress 2015, Australia, 7 pp, CD.
17. Svalova V., Tetimova S. Thermomineral Waters Complex Use and Heat Supply for the Town Velingrad (Bulgaria). Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Australia, 7 pp, CD.

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВИЭ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВДОЛЬТРАССОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Сибгатуллин А.Р.<sup>1</sup>, Елистратов В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Газпром промгаз», г. Москва, Россия,

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе», г. Санкт-Петербург, Россия

Газотранспортная система России имеет протяженность более 160 тысяч километров и характеризуется в значительной степени удаленностью от производителей материально-технических ресурсов, неразвитостью транспортной, энергетической, социальной и рыночной инфраструктур, большой протяженностью участков в суровом климате и в условиях вечной мерзлоты, болотистых и гористых местностях, обводненностью и большим количеством переходов через водные преграды.

Вдоль трасс магистральных газопроводов имеются потребители электроэнергии, надежность электроснабжения которых в значительной степени определяет эффективность транспортировки газа потребителям.

К типовым вдольтрассовым потребителям относятся: газоизмерительные станции, газораспределительные станции и пункты, узлы редуцирования газа, пункты телемеханики, станции и установки катодной электрохимической защиты газопроводов, промежуточные радиорелейные станции, необслуживаемые и промежуточные регенерационные пункты, дома операторов и линейных обходчиков, крановые узлы и площадки с запорно-регулирующей арматурой, вертолетные площадки. Номинальная мощность большинства вдольтрассовых потребителей не превышает 30 кВт.

Электроснабжение вдольтрассовых потребителей магистральных газопроводов осуществляется, в основном, от вдольтрассовых линий электропередачи напряжением 10(6) кВ, с питанием от компрессорных станций или региональных энергосистем, собственных автономных источников и комбинированным способом с питанием от внешних источников и автономных источников. Каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. Выбор схемы электроснабжения потребителей выполняется на стадии проектирования по результатам сравнения инвестиционных затрат.

Сложные геологические и климатические условия прохождения магистральных газопроводов приводят к существенным затратам на строительство систем электроснабжения, несмотря на малые передаваемые мощности. Кроме того, в большинстве случаев местные сети имеют низкую надежность, а качество передаваемой электроэнергии не всегда отвечает предъявляемым требованиям. Для электроснабжения вдольтрассовых потребителей в труднодоступных районах при отсутствии внешних источников или при невозможности обеспечения требуемой категории надежности электроснабжения и качества электроэнергии используются автономные источники питания.

Одним из перспективных направлений развития и совершенствования систем электроснабжения линейной части магистральных газопроводов является широкое внедрение автономных источников питания на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Применение ВИЭ позволяет снижать расход природного газа на собственные нужды и нетехнологические цели, повышать энергетическую эффективность, надежность электроснабжения вдольтрассовых потребителей, улучшать экологическую обстановку.

На рисунке показана Единая система газоснабжения (ЕСГ) России и распределение потенциала различных видов ВИЭ (в млн т.у.т.) по Федеральным округам Российской Федерации.

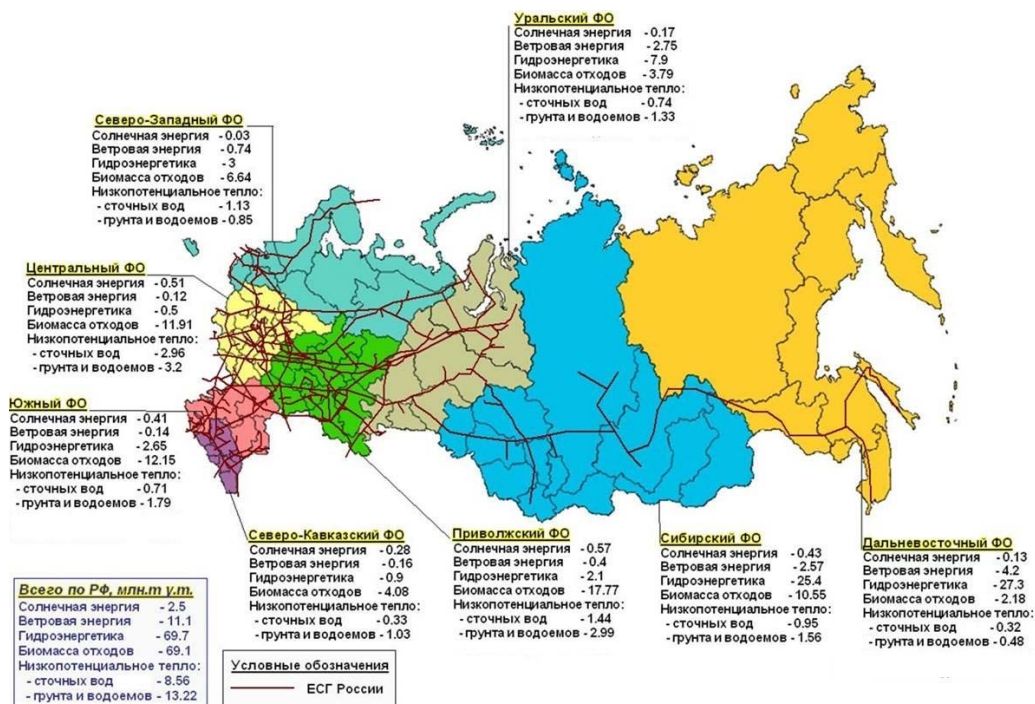


Рис.1

Несмотря на ряд преимуществ ВИЭ имеют недостатки, затрудняющие их повсеместное использование, а именно: непостоянный, вероятностный характер поступления энергии во времени, низкую плотность энергии [1]. Вследствие этого, для обеспечения требуемой надежности электроснабжения потребителей в автономных системах электроснабжения с использованием ВИЭ, как правило, предусматриваются резервные источники электроэнергии на органическом топливе, либо аккумуляторы электроэнергии [2]. Гибридные автономные энергосистемы, имеющие в своем составе энергоустановки на основе преобразования разных видов ВИЭ и традиционные энергоустановки, с точки зрения надежности электроснабжения, предпочтительнее систем с энергоустановками на основе преобразования одного отдельного вида ВИЭ и аккумуляторами, так как перераспределение прихода возобновляемых энергоресурсов во времени и дополнительное резервирование традиционными источниками компенсирует недостатки, присущие ВИЭ, и повышает надежность электроснабжения потребителей в целом. Функционирование гибридных энергокомплексов с эффективным использованием располагаемого потенциала ВИЭ зависит, прежде всего, от оптимального состава оборудования, выбираемого на стадии проектирования. Неоптимальный выбор типов и параметров оборудования гибридного энергетического комплекса на основе ВИЭ может привести не только к повышенному расходу традиционного энергоносителя, но и к риску необеспечения электроэнергией потребителей в требуемом количестве и качестве [3].

Выбор количества источников в условиях случайного поступления возобновляемых энергетических ресурсов, при нестабильности их свойств и неравномерности потребления энергии, с учетом многообразия типов ресурсов и энергоустановок, является оптимизационной задачей [4].

На основе стандартного симплекс-метода линейного программирования для решения оптимизационных задач разработана методика выбора оптимального для конкретного географического района и заданных характеристик потребителей состава и параметров оборудования гибридного энергокомплекса на основе ВИЭ для электроснабжения потребителей небольшой мощности.



Методика отвечает следующей постановке задачи – определение состава источников автономной системы электроснабжения небольшой мощности, оптимального по видам используемых ресурсов, количеству и параметрам энергоустановок на основе ВИЭ, наиболее эффективно замещающих по объему вырабатываемой энергии источники, использующие традиционные (невозобновляемые) ресурсы, при минимальных суммарных (капитальных и эксплуатационных) затратах на выработку энергии. При этом учитываются случайное поступление возобновляемых энергетических ресурсов, нестабильность их свойств и неравномерность потребления энергии, а также многообразие типов энергоустановок и реализуемые ими принципы преобразования энергии.

Предлагается поэтапное решение поставленной задачи, общий алгоритм которого представлен на рисунке.

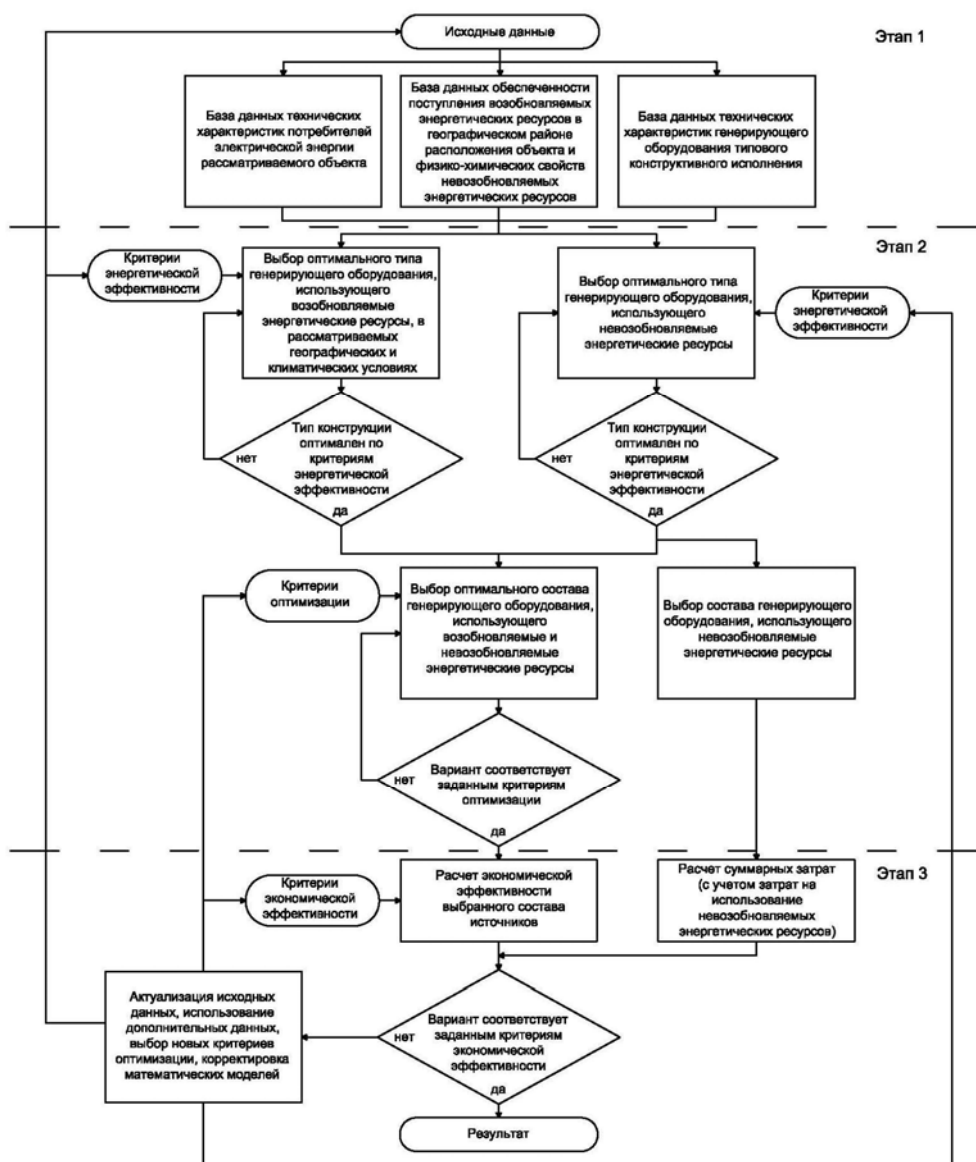


Рис.2

На первом этапе анализируются:

- состав и технические характеристики потребителей объекта;
- обеспеченность поступления энергетических ресурсов в географическом районе расположения объекта;

- технические характеристики источников энергии и возможность использования поступающих энергетических ресурсов в географическом районе расположения объекта.

На втором этапе выбираются:

- виды энергетических ресурсов, использование которых в географическом районе расположения объекта энергетически потенциально эффективно;
- типы и количество источников, использование которых в географическом районе расположения объекта энергетически целесообразно.

На третьем этапе выполняется обоснование инвестиций для принятого решения, на основе которого принимается решение о целесообразности его реализации. Если по результатам обоснования инвестиций выбранный состав источников оценивается как экономически неэффективный, выполняется выбор варианта состава источников, энергетические характеристики которого наиболее близки по своим численным значениям к энергетическим характеристикам предыдущего варианта. В случае полного отсутствия оптимальных решений (несоответствия экономических характеристик состава источников предъявляемым требованиям), принимается решение о необходимости использования дополнительных исходных данных или других критериев оптимизации.

Выбор типов и параметров энергоустановок на основе ВИЭ осуществляется из типового ряда, представленных на рынке, установок. Для исключения избыточности анализируемых вариантов, вначале по критерию максимального коэффициента использования установленной мощности, отбираются те типы установок для каждого вида ресурса, использование которых при данных уровнях поступления ресурсов является наиболее эффективным.

Коэффициент использования установленной мощности  $i$ -ой энергоустановки определяется по следующему выражению:

$$K_{\text{иум } i} = \frac{E_i^{\Sigma}}{E_i^{\text{НОМ}}}, \quad (1)$$

где  $E_i^{\Sigma}$  – суммарная годовая выработка электроэнергии при случайном поступлении возобновляемого энергоресурса в данном географическом районе расположения объекта, кВт·ч;  $E_i^{\text{НОМ}}$  – годовая выработка электроэнергии при генерации номинальной мощности, кВт·ч.

Из выбранных типов энергоустановок оптимизируется состав оборудования по видам используемых ресурсов и количеству установок. Критерием оптимизации является максимальное замещение традиционного ресурса, при условии действия следующих ограничений: выработка электроэнергии должна соответствовать потреблению; суммарные затраты по оборудованию в течение срока окупаемости не должны превышать затраты на покупку замещаемой электроэнергии; срок окупаемости оборудования не должен превышать срок его службы; параметры качества вырабатываемой электроэнергии должны соответствовать заданным параметрам [4].

Математическая формулировка задачи сводится к определению максимума целевой функции:

$$f(n) = \sum_{i=1}^I E_i^{\text{И}} \cdot n_{\text{И}i} \rightarrow \max; i = \overline{1, \dots, I}, \quad (2)$$

где  $E_i^{\text{И}}$  – годовая выработка электроэнергии источником, потребляющим  $i$ -й возобновляемый ресурс, кВт·ч/год;  $n_{\text{И}i}$  – количество источников электроснабжения, потребляющих  $i$ -й ресурс, ед.;  $i$  – вид используемого ресурса,  $i \in I$ ;  $I$  – множество видов ресурсов, используемых на объекте в конкретном географическом районе.

С учетом следующих ограничений:

$$\sum_{i=1}^I E_i^H \cdot n_{Иi} \leq k_H \cdot E^H, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I C_{Иi}^{\Sigma} \cdot n_{Иi} \leq C_{ср}^{\Delta} \cdot t_{ок} \quad (4)$$

В формулах (3) и (4) приняты следующие обозначения:  $E^H$  – годовое потребление электроэнергии потребителями объекта, кВт·ч/год;  $k_H$  – постоянный коэффициент ( $k_H=1,1$ ), учитывающий возможные фактические отклонения потребления электроэнергии;  $C_{Иi}^{\Sigma}$  – сумма капитальных и эксплуатационных затрат в течение срока окупаемости  $i$ -го источника электроснабжения, руб.;  $C_{ср}^{\Delta}$  – стоимость замещаемой в рассматриваемом районе электроэнергии (замещаемого топлива), в течение года эксплуатации источников, использующих возобновляемые ресурсы, руб.;  $t_{ок}$  – планируемый срок окупаемости источников электроснабжения, лет.

Планируемый срок окупаемости задается ориентировочно и может уточняться в ходе решения задачи путем последовательного изменения его значения с учетом следующих особенностей [4]:

- срок окупаемости обратно пропорционально зависит от стоимости замещаемой электроэнергии;
- срок окупаемости не должен превышать срока службы источников (если источники имеют разные сроки службы, срок окупаемости не должен превышать срока службы источника, имеющего минимальное значение,  $t_{ВИЭ}^{cc\ min}$ ):

$$t_{ок} \leq t_{ВИЭ}^{cc\ min} \quad (5)$$

Дополнительными ограничениями для определения количества источников по каждому виду ресурса,  $n_{Иi}$ , выступают следующие условия [4]:

- $n_{Иi}$  – положительные целые числа;
- количество источников по каждому виду ресурса,  $n_{Иi}$ , не должно превышать числа источников, необходимого для покрытия потребности только с помощью этого вида ресурса,  $n_{Иi}^{макс}$ :

$$n_{Иi} \leq n_{Иi}^{макс} \quad (6)$$

Основываясь на положениях изложенного методического подхода к оптимальному выбору ВИЭ, предложена двухуровневая система расчетов:

1) укрупненный расчет по среднегодовым (справочным) показателям поступления ВИЭ и номенклатурным (паспортным) энергетическим показателям работы оборудования. Реализация данного варианта выполнена в Microsoft Excel с помощью стандартного средства «Поиск решения»;

2) детализированный расчет с восстановлением (моделированием) в заданных единичных интервалах времени процессов: случайного поступления ВИЭ; преобразования энергии конкретными типами энергоустановок, а также неравномерного потребления энергии оборудованием вдольтрассовых объектов. Реализация данного варианта выполнена в виде имитационной модели в пакете блочно-модульного визуального моделирования Simulink матричной системы MATLAB.

В имитационной модели в соответствии с действующей в текущий момент времени года интенсивностью поступления возобновляемых ресурсов рассчитываются мощностные характеристики генерирующих установок на основе ВИЭ и количество вырабатываемой ими энергии в течение года.

Расчет электрической мощности источника в единичном интервале времени выполняется с помощью математической модели установки соответствующего типа. Модель источника реализует представленную в общем виде функцию:

$$N_{i,j,\tau} = f(\eta_{i,j}, p(I_{i,\tau}^{var})), \quad (7)$$

где  $j$  – тип конструктивного исполнения энергоустановки,  $j \in J$ ;  $J$  – множество типов конструктивного исполнения энергоустановок;  $\tau$  – расчетная единица времени, ч;  $N_{i,j,\tau}$  – мощность  $j$ -го источника при преобразовании  $i$ -го ресурса за расчетную единицу времени  $\tau$ , кВт;  $p(I_{i,\tau}^{var})$  – случайное значение (в соответствии со справочными данными) параметра  $I_{i,\tau}^{var}$ , характеризующего количество энергии, поступающей с  $i$ -м ресурсом в течение расчетной единицы времени  $\tau$ , (м/с; МДж/м<sup>2</sup> и т.п.);  $\eta_{i,j}$  – основная энергетическая характеристика  $j$ -го источника, описывающая эффективность преобразования энергии, при использовании  $i$ -го ресурса.

Кроме основной функции преобразования в модели источника реализованы ограничения по входным и выходным параметрам, соответствующие реальным эксплуатационным ограничениям генерирующего оборудования (максимально и минимально допустимая скорость ветра, максимально и минимально допустимая мощность нагрузки и т.п.). Также в модели источника используются ограничения по заданным параметрам качества электрической энергии.

Расчет вырабатываемого в течение года  $j$ -м источником количества энергии при использовании  $i$ -го ресурса,  $E_{i,j}$ , кВт·ч/год, выполняется по выражению:

$$E_{i,j} = \sum_{t=1}^T N_{i,j,\tau} \cdot \tau, \quad (8)$$

где  $t$  – интервальный номер единицы времени  $\tau$  в течение года:  $t \in T$  (приводится к номеру часа и количеству часов в году, т.е.  $t \in 1, 2, \dots, 8760$ ).

Вариант оптимизации выбора оборудования по укрупненным показателям используется на стадии предпроектных работ для оценочных расчетов в случаях отсутствия необходимой полной исходной информации. Позволяет оценить виды ВИЭ, эффективное использование которых возможно в рассматриваемом географическом районе, количество энергоустановок по каждому виду источника и уровень их мощности.

Второй вариант используется при проектировании системы электроснабжения, когда требуется более точная оптимизация состава и параметров оборудования с учетом специфики режимов работы потребителей и параметров качества электроэнергии. Необходимо наличие полной (детализированной во времени) информации как по поступлению ВИЭ, так и по режимам работы и нагрузке потребителей.

Применение результатов разработки позволяет методически обоснованно осуществлять выбор оборудования на основе ВИЭ для проектирования систем электроснабжения, обеспечивающих требуемый уровень надежности, устойчивости и качества электроснабжения потребителей.

### Список литературы

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Изд. 2-е доп. – СПб.: Наука, 2013. – 308 с.
2. Елистратов В.В., Аронова Е.С. Моделирование работы и оптимизация параметров систем автономного электроснабжения на основе ВИЭ // Известия Академии наук. Энергетика. 2011. № 1. С. 119-127.
3. Елистратов В.В., Конищев М.А. Ветро-дизельные электростанции для автономного энергоснабжения северных территорий России // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», № 11 (151), 2014. – с. 62-70.

4. Сибгатуллин А.Р., Елистратов В.В., Толмачев В.Н. Обеспечение надежности и устойчивости режимов работы автономных энергокомплексов небольшой мощности с ветроэлектрическими установками // Материалы второго Международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2014». 10-11 ноября 2014 г./ Под ред. д.т.н. О.С. Попеля и к.ф.-м.н. Д.О. Дуникова – Москва: ОИВТ РАН. 2014. - 478 с. С. 378 – 387.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В РОССИИ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Скоробатюк А.В.

ООО «НОВЫЙ ПОЛЮС» г. Москва, Россия

Для обеспечения горячей водой промышленных, муниципальных и жилых зданий широко используются солнечные нагревательные коллекторы. Результаты исследований и накопленный опыт проектирования и эксплуатации нашей компанией систем солнечного теплоснабжения, доказали целесообразность использования в климатических условиях России именно плоских солнечных водонагревателей, работающих в период наибольшей солнечной инсоляции: в средней полосе с марта по октябрь, юных регионах, Алтайском крае Дальнем востоке круглогодично.

Для гарантированной стабильной выработки тепловой энергии и увеличения эффективного периода работы системы возникла задача по созданию конструкции солнечного коллектора с улучшенными показателями по поглощению солнечной энергии. В условиях малой солнечной активности и сильной облачности отношение улавливаемой энергии к поступающей выходит на первый план и достигается благодаря медному абсорберу с нанесенным на него многослойным селективным покрытием, имеющим в диапазоне солнечного излучения низкий коэффициент отражения и высокую поглощающую способность. Необходимыми свойствами обладают покрытия состава  $TiO_xTiN_x-SiO_2$  (Рис.1).

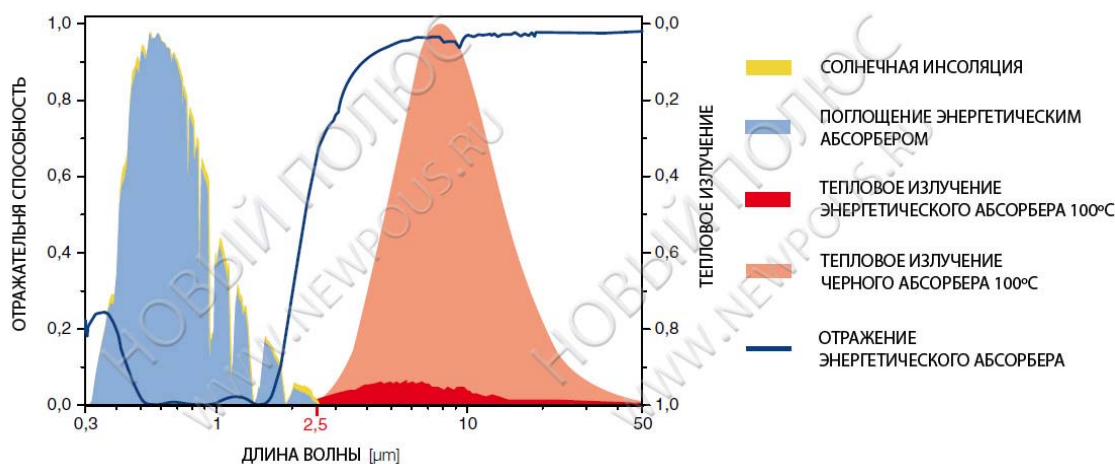


Рис.1. Эффективность селективного покрытия абсорбера.

Эффективность теплопередачи зависит от контакта листа абсорбера и труб солнечного коллектора. В известных конструкциях плоских нагревательных коллекторов соединение медного листа с медными трубками производится лазерной или ультразвуковой сваркой. Соединения лазерной сваркой значительно повышает тепловое сопротивление зоны контакта лист-трубка и тем самым снижает к.п.д. коллектора. При ультразвуковой сварке происходит разрушение покрытия в местах прохода колебаний высокой частоты. Применение лазерной или ультразвуковой сварки объясняется возможностью автоматизации процесса сварки, что влияет на конечную стоимость и скорость изготовления изделия.

Благодаря проделанной работе по разработке технологии пайки узлов солнечного коллектора, подбор оптимальных припоев и флюсов, вида пайки, изготовление паяных модельных образцов, получилось исключить негативные факторы предыдущих методов. Трудности в разработке заключались в том, что широко применяемые припой системы

Pb-Sn, имеющие температуру плавления в диапазоне от 160 до 210°C не могут быть использованы для изготовления абсорбера конструкции, так как их применение существенно снизит экспортные возможности. Также при температурах выше 270°C происходит разложение покрытия и потеря необходимых свойств. В свою очередь температура стагнации солнечного коллектора может достигать 210°C.

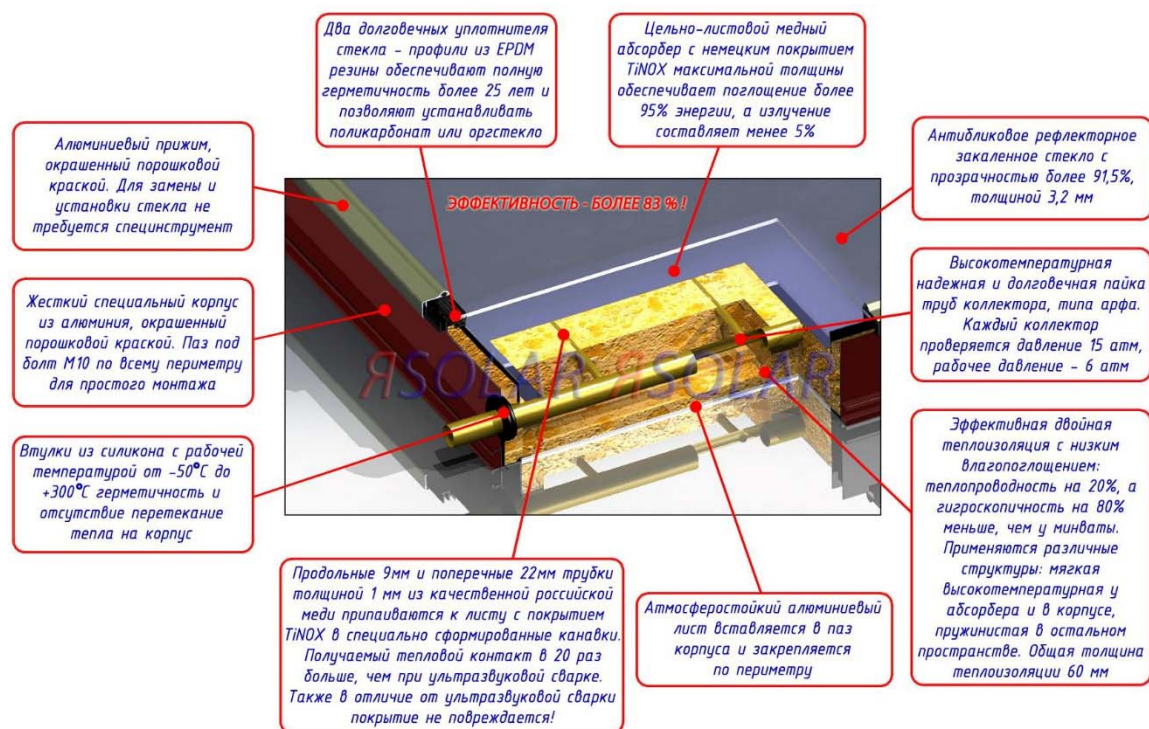


Рис. 2. Конструкция солнечного коллектора ЯSolar.

Следующим элементом, требующим разработки и внедрению уникальных конструкторских решений, является корпус коллектора. Он должен обеспечивать жесткость всей конструкции, герметичность, легкость сборки и простоту монтажа. Была разработана матрица под экструзионный алюминиевый профиль и прижим прозрачной изоляции. Так как в конструкции предполагается возможность использования вместо стекла прозрачные полимеры (поликарбонат, оргстекло и т.д.) с большим коэффициентом теплового расширения, герметизация прозрачной изоляции выполняется при помощи двух специальных профилей из атмосферостойкой резины (Рис. 2).

Основываясь на данных разработках наша компания может выпускать солнечные коллекторы любых форм и размеров, с конструкцией абсорбера в виде арфы или миандра исходя из проекта и условий объекта.

Благодаря применению в основном отечественных материалов и локализацией производства на территории России удалось получить наименьшую себестоимость солнечного коллектора ЯSolar по сравнению с импортными и отечественными аналогами данного уровня. Это повлияло на значение окупаемости затрат на создание систем солнечного теплоснабжения. В настоящее время наше предприятие активно участвует в программе по импортозамещению.

С ноября 2013 года во Владимирской области функционирует солнечная водонагревательная система на базе солнечных коллекторов Яsolar (Рис. 3). Суммарная площадь коллекторов 22 м<sup>2</sup>. Показания полученной тепловой энергии данной системой постоянно фиксируются и анализируются специалистами нашей компании. В Московской области также уже действуют более 20 объектов с площадью солнечных коллекторов от 10 до 16 м<sup>2</sup> и более 40 – от 2 до 8 м<sup>2</sup>.





Рис.3. Солнечная водонагревательная система во Владимирской области.

Солнечные коллекторы ЯSolar эксплуатируются на всей территории Российской Федерации: Камчатский край, Дальний восток, Новосибирская область, Красноярская край, Алтайский край, Самарская область, Волгоградская область, Астраханская область, Краснодарский край, Республика Крым. Помимо изготовления солнечных коллекторов специалисты нашей компании проектируют, поставляют и осуществляют монтаж всего оборудования систем солнечного теплоснабжения.

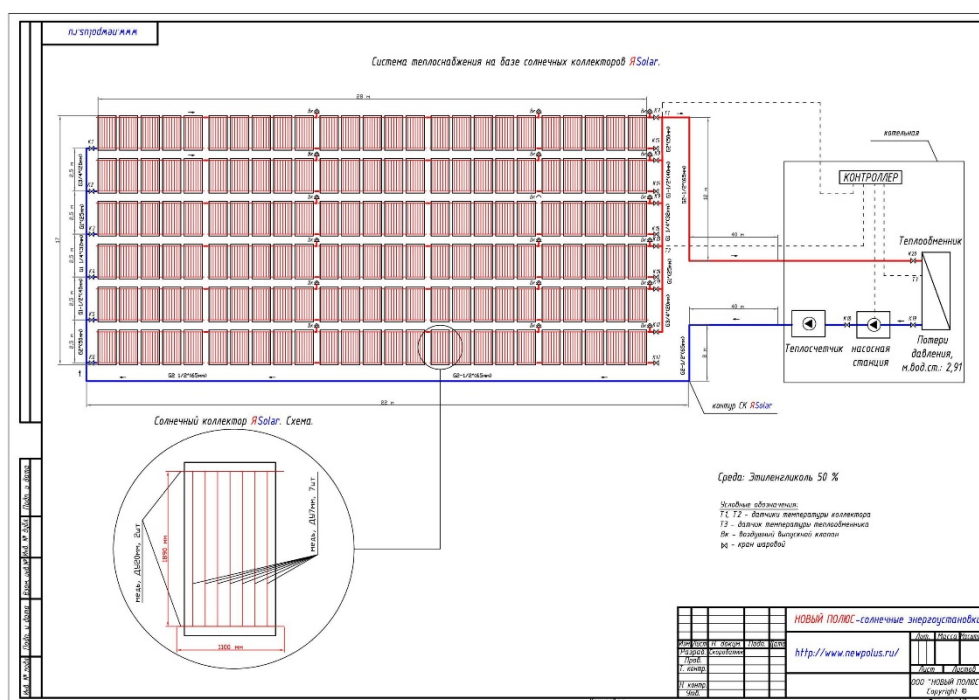


Рис.4. Схема системы солнечного теплоснабжения площадью 300 м<sup>2</sup>.

В настоящий момент спроектирована система и изготовлено оборудование для системы солнечного водонагрева вахтового поселка в Якутской области с площадью поля солнечных коллекторов 300 м<sup>2</sup> (Рис. 4). Монтаж данной системы запланирован в мае 2016 года.

В планах нашей компании в ближайшее время получить международный сертификат Solar Keymark на выпускаемые солнечные коллекторы. Мы постоянно ведем работы по улучшению конструкции солнечного коллектора ЯSolar и материально-технической базы нашего предприятия. Ведутся работы по созданию фотоэлектрического теплового модуля и теплового аккумулятора на фазовом переходе.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ БАЗ РЕАНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Сливканич М.А., Дюльдин М.В., Елистратов В.В.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
г. Санкт-Петербург, Россия

В России оценку ветроэнергетических ресурсов (ВЭР) принято проводить на основании методик [1-3], использующих материалы регулярных наблюдений на сети метеорологических станций Госкомгидромета СССР и Гидрометеослужбы России (ГМС), однако, из-за малой плотности сети метеостанций имеющих данные зачастую недостаточно, поскольку расстояние между ними может существенно превышать характерные масштабы пространственной изменчивости характеристик ветра. В среднем плотность покрытия территории России ГМС составляет около 51 582 км<sup>2</sup>, что соответствует расстоянию между станциями сети ГМС около 227 км. В районах Крайнего Севера плотность покрытия территории метеостанциями еще ниже и значения ВЭР в точке размещения ВЭС, удаленной от метеостанции могут значительно отличаться от измеренных на ней величин.

Еще одним недостатком данных ГМС является статистическая форма их представления. При использовании современных программных комплексов, основанных на численном моделировании ветрового потока, требуется более подробная метеорологическая информация в виде непосредственных рядов измерений скоростей и направлений ветра [4].

При отсутствии качественной метеорологической информации используются данные баз реанализа, разработанные различными международными организациями и институтами. Они основаны на спутниковых наблюдениях, прошедших обработку в глобальных численных моделях прогнозирования погоды (NWP) и представляют собой базы синтезированных значений скорости и направления ветра в узлах расчетной сетки. Основным недостатком использования этих данных является различная точность в разных регионах мира [5]. Таким образом, для достоверной оценки ВЭР выбор банка реанализа должен быть обоснован либо исследованиями предшественников, проведенных в данном регионе, либо проведением собственных исследований с проведением краткосрочных натуральных наблюдений в точке размещения ВЭС.

Целью настоящих исследований является оценка достоверности определения ВЭР в конкретной точке на основе данных баз реанализа и выбор базы реанализа, наиболее точно описывающей ветровой поток в северных регионах РФ.

Из всех существующих баз реанализа для анализа были выбраны базы, охватывающие всю территорию России (CFSR [6], MERRA [7] и NCEP/NCAR [8]), а также данные вторичного реанализа (Met Office, Vortex), заключающегося в масштабировании первичных данных реанализа в NWP моделях с большим разрешением.

Исследование проводится в несколько этапов (рис. 1):

### ***1. Проведение краткосрочных (годовых) натуральных измерений в п. Амдерма Ненецкого автономного округа.***

Натурные измерения проводились в период с 23.06.13 по 10.06.14 специализированным ветроизмерительным комплексом (ВИК) в соответствии с международными стандартами [9,10]. Координаты местоположения ВИК – 69,7586 с.ш., 61,6776 в.д. Измерения скорости ветра производились анемометрами Thies First Class Advanced, установленными на высотах 40,8, 38,5 и 20,7 м, и осреднялись каждые 10 мин. Измерения направления ветра проведены датчиками Thies First Class TMR на высотах 38,5 и 18,78 м.

**2. Статистическая обработка натуральных измерений. Получение значений средней скорости  $V_{cp}$  и удельной мощности ветрового потока  $Ne$  за период измерений.**

В процессе статистической обработки исходного ряда наблюдений отфильтровываются недостоверные значения, связанные с обледенением анемометров.

Мощность ветрового потока в  $i$ -тый момент времени определяется по формуле:

$$Ne_i = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_i^3, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха (принимается равной  $1,317 \text{ кг/м}^3$  – среднемноголетнее значение с метеостанции Амдерма).

**3. Проведение корреляционного (MCP) анализа данных реанализа с обработанным рядом натуральных измерений, определение коэффициентов корреляции и синтезирование рядов многолетней статистики.**

MCP анализ позволяет установить корреляционную связь рядов измерений методом линейной регрессии. Степень корреляции между рядами определяется коэффициентом детерминации  $r^2$ , характеризующим дисперсию (отклонение) измеренных значений от прямой, описывающей зависимость между рядами. Сравнимые ряды могут отражать скорости ветра на различных высотах в разных точках местности. Основными условиями выбора рядов является их гомогенность и нахождение в пределах одной климатической зоны.

Сопоставление рядов с помощью MCP анализа может производиться с различной периодичностью, что значительно влияет на результирующее значение коэффициента детерминации. При очень малых интервалах сравнения ряды могут значительно отличаться в силу различных микроклиматических факторов в точках измерений, при больших интервалах сравнения характерные особенности хода скоростей ветра могут сглаживаться и не отражать реальной картины. Оптимальное значение интервала сравнения определяется по эмпирической зависимости [11]:

$$\Delta t \approx \frac{D}{v}, \quad (2)$$

где  $D$  – расстояние между точками наблюдений сравниваемых рядов [м];  
 $v$  – среднемноголетняя скорость многолетнего ряда ветровой статистики [м/с].

Интервал сравнения принят равным оптимальному, за исключением случаев с большей периодичностью измерений в ряду.

Рекомендуемое значение коэффициента детерминации  $r^2$  в международной практике ветромониторинга составляет  $0,7-0,8$ , что гарантирует хорошую сопоставимость двух рядов и считается приемлемым для составления многолетнего синтезированного ряда ветровой статистики с высокой точностью [12].

Ввиду малых и близких по значению коэффициентов корреляции для различных баз реанализа и с учетом сферы дальнейшего использования этих данных (непосредственная оценка ВЭР в точке без сопоставления с натурными наблюдениями), было принято решение дополнительно сравнить величины оценок ВЭР за период натуральных измерений.

**4. Оценка годовых ВЭР (за период натуральных измерений) на основе данных реанализа с помощью численного моделирования.**

Для оценки ВЭР на базе данных реанализа, территориально удаленных на некоторое расстояние от рассматриваемой точки, проводится численное моделирование в программном комплексе WindPRO с учетом влияния на ветровой поток рельефа и шероховатости подстилающей поверхности. Для обеспечения возможности непосредственного сравнения результатов с результатами ветромониторинга период измерений был принят равным периоду натуральных наблюдений.

Для каждого банка реанализа были произведены расчеты отдельно для каждого узла сетки, а также на основании одновременно нескольких рядов с использованием весовых

коэффициентов, зависящих от удаленности от расчетной точки. Вертикальные профили распределения скорости ветра для данных реанализа приняты равными вертикальным профилям, использованным при получении этих данных методами численного NWP моделирования и описываются степенным законом:

$$V(z) = V_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^\alpha, \quad (3)$$

где  $V_0$  – скорость на высоте наблюдения [м/с];  $z_0$  – высота наблюдения [м];  $z$  – высота, на которой требуется определить скорость ветрового потока [м];  $\alpha$  – показатель профиля.

Для рядов, территориально расположенных в точке ВИК (данных вторичного реанализа), проводится описание распределения скорости ветра по грациям распределением Вейбулла и дальнейшая его вертикальная экстраполяция по соответствующим вертикальным профилям.

При сравнении полученных величин среднегодовой скорости  $V_{cp}$  и удельной мощности ветрового потока  $Ne$  с результатами обработки натуральных измерений, следует учитывать погрешности, связанные с численным моделированием ветрового потока (10-15%).

Оценка природных ВЭР является основным и первоначальным этапом при проектировании ВЭС, однако, большие различия в оценке природного ветроэнергетического потенциала могут незначительно сказаться на оценке выработки электроэнергии ввиду нелинейности кривой мощности ВЭУ. Поэтому также была рассчитана выработка электроэнергии ВЭУ, расположенной в точке натуральных наблюдений. В качестве ВЭУ была рассмотрена установка типа nED 100 производства компании Norvento energia (Испания) установленной мощностью 100 кВт с высотой башни 29,5 м. Выбор типа ВЭУ обоснован использованием в северных регионах ВЭУ малой мощности с расширенным диапазоном рабочих температур.

#### ***5. Анализ полученных результатов. Выбор базы реанализа, наиболее точно описывающей ветровой поток в северных регионах РФ.***

Выбор наиболее подходящей для использования базы реанализа производится на основании анализа двух критериев: коэффициентов детерминации и среднегодовых ВЭР, полученных в результате численного моделирования.

Коэффициент детерминации отражает корреляционную связь рассматриваемых рядов с данными натуральных измерений и выявляет ряды, наиболее подходящие для синтезирования многолетней статистики на основе краткосрочных наблюдений (статистическое моделирование).

Схожесть среднегодовых величин  $V_{cp}$  и  $Ne$  определяет возможность оценивать ВЭР без использования натуральных наблюдений непосредственно на основании данных реанализа (численное моделирование).

#### ***6. Оценка ВЭР в рассматриваемой точке с помощью статистического и численного моделирования. Сопоставление полученных значений с существующими оценками (на основе данных метеостанции).***

Статистическое моделирование заключается в синтезировании многолетнего ряда метеонаблюдений с помощью МСР анализа на основе данных натуральных наблюдений и ряда данных реанализа с наибольшей корреляцией. При этом синтезированный ряд будет отражать характеристики ветрового потока на высоте проведения ветромониторинга.

Численное моделирование проводится аналогично пункту 4 на основе многолетних рядов одновременно из нескольких узлов выбранной базы реанализа.



Рис. 1. – Алгоритм оценки ВЭР на базе данных реанализа

### Результаты

В результате проведения ветромониторинга и обработки результатов, был получен ряд измерений скорости и направления ветра на высоте 40,8 м со среднегодовым значением скорости 8,23 м/с и удельной мощностью ветрового потока 666 Вт/м<sup>2</sup>. Вертикальный профиль распределения скорости ветра описан степенным законом (3) и соответствует показателю степени  $\alpha=0,196$ .

Результаты этапов корреляционного анализа и численного моделирования на базе годовых рядов баз реанализа представлены в таблице.

Как показывают результаты численного моделирования (рис. 2), оценки природных ВЭР на основе данных реанализа значительно занижены (от 13 до 64%). Это превышает погрешность моделирования, что характеризует качество данных баз реанализа как недостаточное для их использования без сопоставления с натурными измерениями или данными климатологических справочников. Наибольшие погрешности в оценках дали ряды баз вторичного реанализа (Vortex и MetOffice), что обосновано большим разрешением мезомасштабного моделирования данных рядов. Такие ряды не рекомендуется рассматривать при возможности проведения микромасштабного численного моделирования. Несмотря на то, что наилучшая точность по оценке среднегодовой скорости была получена у одного из рядов CFSR, результаты моделирования на основе отдельных узлов сетки сильно отличаются. Наиболее одинаковые оценки ВЭР для различных узлов сетки дает моделирование на базе данных реанализа MERRA, что говорит о высокой точности используемых при их моделировании числовых моделей рельефа и шероховатости подстилающей поверхности.

Как и ожидалось, погрешности в оценке технических ВЭР, оказались значительно меньше природных ВЭР. Не считая ряда Vortex, все остальные ряды дают погрешность не более 20%, что соизмеримо с погрешностями при численном моделировании. Наиболее близкие показатели (погрешность 8-9 %), как и при оценке природных ВЭР, получены для рядов CFSR и MERRA. Близость к истине результатов моделирования на основе ряда MetOffice стоит отнести к случайным совпадениям за счет пересечения вертикальных профилей на высоте башни ВЭУ.

Многолетние оценки ВЭР, выполненные на базе данных реанализа MERRA, на основании статистического моделирования составили 563,8 Вт/м<sup>2</sup>, а на основании численного моделирования – 505,8 Вт/м<sup>2</sup>.

Таблица. Результаты корреляционного анализа и численного моделирования на основе данных реанализа

№	Источник метеоданных	Координаты точки данных		$\alpha$ , о.е.	$r^2_{\text{speed}}$ , о.е.	$V_{\text{ср}}$ , м/с	$N_e$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\mathcal{E}^*$ , МВтч/год
		широта, ° с.ш.	долгота, ° в.д.					
1	<b>ВИК</b>	<b>69,7586</b>	<b>61,6776</b>	<b>0,196</b>	-	<b>8,23</b>	<b>666,0</b>	<b>408</b>
2	<b>CFSR</b>	-	-	-	-	<b>7,57</b>	<b>439,0</b>	<b>377</b>
	CFSR	69,5	61,0	0,135	0,674	7,49	420,3	372
	CFSR	69,5	61,5	0,140	0,684	8,20	555,4	425
	CFSR	69,5	62,0	0,142	0,676	7,32	398,5	355
	CFSR	69,5	62,5	0,142	0,649	7,54	438,8	373
	CFSR	70,0	61,0	0,118	0,680	7,21	402,3	347
3	<b>MERRA</b>	-	-	-	-	<b>7,56</b>	<b>464,5</b>	<b>374</b>
	MERRA	69,5	61,33	0,156	0,620	7,6	473,3	377
	MERRA	69,5	62,00	0,160	0,639	7,62	473,9	377
	MERRA	69,5	62,67	0,156	0,643	7,92	522,7	401
	MERRA	70,0	60,67	0,109	0,609	7,11	401,6	338
4	<b>NCAR/NCEP</b>	-	-	-	-	<b>7,91</b>	<b>467,4</b>	<b>348</b>
	NCAR/NCEP	70,0	60,0	0,180	0,523	7,81	576,7	380
	NCAR/NCEP	70,0	62,5	0,220	0,448	7,01	413,2	325
5	<b>Vortex</b>	<b>69,7586</b>	<b>61,6776</b>	<b>0,282</b>	<b>0,636</b>	<b>5,87</b>	<b>242,9</b>	<b>161</b>
6	<b>MetOffice</b>	<b>69,7586</b>	<b>61,6776</b>	<b>0,114</b>	<b>0,629</b>	<b>7,49</b>	<b>409,6</b>	<b>396</b>

\*Примечания:

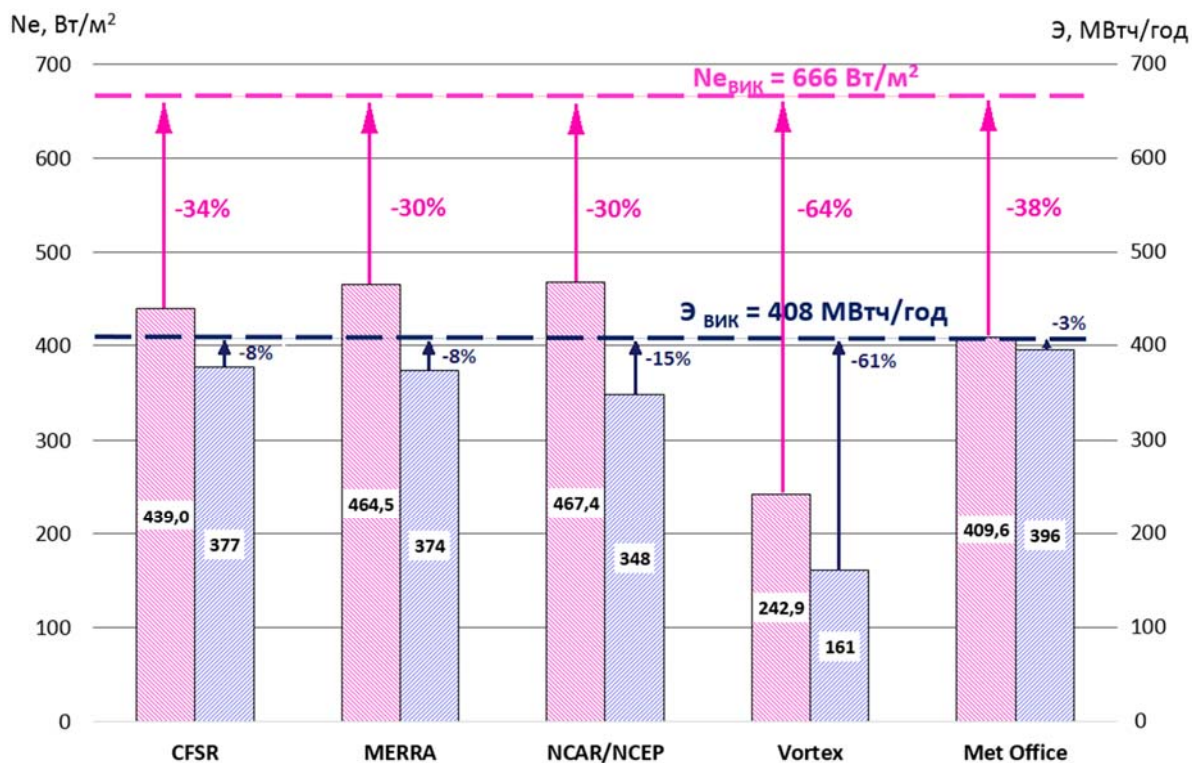
 $r^2_{\text{speed}}$  – коэффициент детерминации по скорости ветра, $\mathcal{E}$  – годовая выработка электроэнергии ВЭУ nED 100 с учетом 10% потерь.

Рис. 2. – Сравнительный анализ результатов численного моделирования

### Выводы

Для повышения точности оценки природных и технических ВЭР в случае отсутствия данных метеорологических наблюдений в окрестности предполагаемого размещения ВЭС в северных регионах России рекомендуется использовать базу реанализа MERRA.

Оценка ВЭР по данным Атласа ветров России [3] для рассматриваемой территории составляет 675 Вт/м<sup>2</sup>. Результаты статистического моделирования, ближе к данной оценке (по сравнению с результатами численного моделирования), т.к. используют данные натурных измерений. Оценки природных ВЭР на основании всех рассмотренных баз реанализа занижают ВЭР в среднем на 20-40%, а технические ресурсы на 8-15%.

Для повышения точности оценок ВЭР в дальнейших исследованиях предполагается установить повышающие коэффициенты рядов баз данных MERRA для каждого региона РФ.

*Исследования выполнены при поддержке проекта №14.577.21.0066 в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».*

### Список литературы

1. РД 52.04.275–89. Методические указания, 1991. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок / Под ред. М. М. Борисенко. – М.: Изд. Росгидромета. – 55 с.
2. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. / Под редакцией к. ф.-м. н. Николаева В.Г. М.: Атмограф. 2008. 584 с.
3. Старков А.Н., Ландберг Л., Безруких П.П., Борисенко М.М. Атлас ветров России. – М.: Можайск-Терра, 2000. 560 с.
4. Сливканич М.А., Дюльдин М.В., Столяров Н.В., Елистратов В.В. Оценка ветроэнергетических ресурсов с использованием методов нелинейного моделирования ветрового потока на примере Ленинградской области // Материалы Международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2014». 10-11 ноября 2014 г. – Москва: ОИВТ РАН, 2014–с.398-405.
5. Marc N. Schwartz Raymond L. On the Use of Reanalysis Data for Wind Resource Assessment. 11th Applied Climatology Conference American Meteorological Society Dallas, Texas January 10-15, 1999. – Электрон. данные. – Режим доступа: <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25610.pdf>– Загл. с экрана.
6. Saha, Suranjana, and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, pp. 1015–1057.
7. Rienecker et al. MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications J. Clim., 24 (2011), pp. 3624–3648
8. Kalnay, E., and Coauthors, 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 77, pp. 437–471
9. International Electrotechnical Commission (IEC) Standard 61400-12-1 First edition 2005-12: Wind turbines, Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines.
10. MEASNET Procedure: Evaluation of Site Specific. Wind Conditions. Version 1. November 2009.
11. Michael C. Brower. WIND RESOURCE ASSESSMENT. A Practical Guide to Developing a Wind Project. A John Wiley&Sons, Inc., Publication.
12. Елистратов В. В., Дюльдин М. В., Столяров Н. В., Сливканич М. А. Измерение характеристик ветрового потока установкой СОДАР для определения ветроэнергетических ресурсов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» №11 (151) 2014. – с. 21-28

## ПРАКТИКА ЗАМЕЩЕНИЯ МАЗУТА И ГАЗА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ПО ВЫРАБОТКЕ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

**Солдатов В.А.**

ООО «Лесэнерго», генеральный директор

### **Обзор использования отходов деревопереработки в лесной отрасли в России**

В настоящее время в Московской области образовались сухостойные леса, пораженные древесным жуком. Складывается ситуация, когда примерно 10 000 000 м<sup>3</sup> древесины поражены этим вредителем. Каждый год объем поврежденных лесов увеличивается примерно на 2 000 000 – 2 500 000 м<sup>3</sup>.

Из этой древесины на щепу для производства ДСП и ДВП используется примерно 800 000 м<sup>3</sup>. В настоящее время не используется 1 000 000 – 1 500 000 м<sup>3</sup> древесины.

Древесина сухостойная имеет влажность 30-32%, что соответствует теплоте сгорания 2960 Ккал/кг. Плотность древесины при влажности 30% равна 500 кг/м<sup>3</sup>.

С учетом коэффициента полезного действия установки (КПД 82%) из 1 000 000 м<sup>3</sup> древесины всего может быть полезно выработано 1 213 600 Гкал в год тепла.

Для выработки такого количества тепла потребуется 168 млн. м<sup>3</sup> природного газа (с учетом КПД установки на газе 90%).

Стоимость 1 м<sup>3</sup> топливной щепы, приготовленной из зараженной древесины, составит не более 500руб. Топливные затраты на производство тепловой энергии составят из зараженной древесины составят 500 млн. руб.

Топливные затраты на природный газ, соответствующий выработке такого же количества тепловой энергии, составят 168 000 000 м<sup>3</sup> x 5 руб./м<sup>3</sup> = 840 млн. руб.

Для выработки 1 213 600 Гкал в год тепла потребуется 139 тыс. т мазута (КПД 90%). При цене мазута 12 300 руб./т затраты на приобретение мазута составят 1 709 млн. руб.

Себестоимость одной Гкал тепла, выработанной на газе, на примере котельной в Сергиево-Посадском районе, 1900руб./Гкал. Исходя из этого, рассчитаем аналогичную себестоимость 1 Гкал на древесном топливе.

Затраты на производство 1 213 600 Гкал в год:

1 213 600 x 1900 = 2 305,84 млн. руб.

Из них на газ потрачено 840 млн. руб.

При условии выработки тепловой энергии на щепе, на топливо будет потрачено 500 млн. руб.

Таким образом, затраты в год при работе на древесном топливе будут:

2 305,84 – 840 + 500 = 1 965,86 млн. руб.

И себестоимость 1 Гкал будет:

1 965 860 000 / 1 213 600 = 1620 руб./Гкал.

При этом экономия на 1 Гкал по сравнению с газом составит 1900 - 1620 = 280 руб.

С учетом роста цены на газ до 8.5 рублей за 1 м<sup>3</sup> к 2017г эта разница возрастет до 500 руб.

### **Примеры решения замены газа-мазута на биотопливо на конкретных объектах.**

- "Полеко" – 1 котел ДКВр-20-13, 3 котла ДКВр-10-39 (Кировская обл.);
- «Заволжский ДОЗ» – 1 котел ДКВр-10-13 (Нижегородская обл.);
- «Максатихинский завод ДВП» (Тверская обл.) 1 котел ГМ-50-39-440;
- Муниципальная котельная пгт. Мураши Кировская обл. (2 котла ДКВр-4-13);
- Муниципальная котельная п. Маромица Кировская обл. (2 котла ДКВр-4-13).

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПИЛОТНЫХ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ  
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ПЕРМСКОМ КРАЕ  
DEVELOPMENT PERSPECTIVES AND REALIZATION EXPERIENCE OF PILOT  
EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROJECTS IN SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT ON THE TERRITORY OF PERM KRAY**

**Сурков А.А., Вайсман Я.И., Рудакова Л.В.**

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

**Surkov A.A., Vaisman Ya.I., Rudakova L.V.**

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education "Perm National  
Research Polytechnic University", Perm, Russia

Проанализированы нормативно-правовые основы развития зеленых технологий и их внедрения на федеральном, региональном и локальном уровнях. Рассмотрены основные тенденции развития и применения зеленых технологий в Пермском крае. Выявлены основные проблемы, препятствующие развитию «зеленых технологий» в Пермском крае. Представлены результаты пилотных проектов и программ в области устойчивого развития, разработанных и реализуемых с участием ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ). Для проведения НИР и разработки технических решений по повышению энерго- и ресурсоэффективности объектов жилищно-коммунальной сферы в рамках приоритетного направления «Урбанистика» в ФГБОУ ВПО ПНИПУ реализован пилотный проект научно-исследовательского модуля для оценки эффективности применения энергоресурсосберегающих технологий. Представлены основные направления развития и сотрудничества с заинтересованными сторонами в целях эффективной реализации проектов в области устойчивого развития

**Ключевые слова:** энергосбережение, устойчивое развитие, зеленые технологии, возобновляемые источники энергии

**Key-words:** energy saving, sustainable development, «green» technologies, renewable energy

Проблемы энергосбережения и энергоэффективности являются одними из наиболее актуальных в мировой энергетике. За последние 30 лет мировому сообществу удалось добиться существенных успехов в данной области: энергоемкость мирового ВВП снизилась в 2 раза (в т.ч. за последние 5 лет – на 25%). В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к использованию в различных отраслях экономики возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Вопросам энергосбережения и энергоэффективности уделяется значительное внимание и в России, в т.ч. в таких основополагающих документах, определяющих вектор развития российского ТЭК, как «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года».

Тем не менее, Россия продолжает оставаться одной из самых энергоемких экономик мира (энергоемкость российского ВВП в 2,3 раза выше среднемирового значения). [1]

В то же время, согласно проведенным исследованиям, в России имеется значительный потенциал энергосбережения, позволяющий снизить объемы потребления энергоресурсов на 45% к текущему уровню (потребление энергоресурсов может быть снижено на 20% в системах теплоснабжения, на 30% - в электроэнергетике, на 40% - в сфере транспорта и промышленности, на 50% - в жилых зданиях).

На сегодняшний день в целом вся альтернативная энергетика России дает около 8,5 млрд. кВт·ч в год, что составляет менее 1 % от общероссийской выработки. В то же время потенциал ВИЭ более чем в 20 раз превышает ежегодное потребление первичной энергии в стране. [2]

Отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации регулируются Федеральным законом РФ «Об энергосбережении



и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261. Целью указанного закона является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности. [3]

Согласно распоряжению Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р на период до 2020 года устанавливаются следующие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии:

- в 2010 году - 1,5 процента;
- в 2015 году - 2,5 процента;
- в 2020 году - 4,5 процента. [4]

Также Правительством Российской Федерации 28 мая 2013 года были приняты решения, определяющие основные механизмы стимулирования развития энергетики на основе использования ВИЭ:

- за счет получения зеленым объектом, который прошел специальный конкурс, повышенной платы за мощность, гарантирующей окупаемость затрат на строительство;
- через обязательную покупку сетевыми компаниями электроэнергии для компенсации потерь у зеленой энергетики.

Планы действий по достижению этих показателей правительством не определены. Также не определен порядок выделения из бюджета субсидий для компенсации стоимости подключения к энергосистеме, механизм закупок и ценообразования электроэнергии, производимой за счет ВИЭ, которая должна в первую очередь закупаться для компенсации потерь в электросетях и т.д. Федеральное законодательство касается поддержки ВИЭ, включаемых в объединенные энергосистемы. Однако они не относятся к зоне децентрализованного энергоснабжения, где экономический эффект от ВИЭ максимален.

Практически во всех регионах России имеется возможность экономически целесообразного использования нескольких типов возобновляемых источников энергии. Технический потенциал ресурсов ВИЭ в пять раз превышает годовое потребление первичных энергоресурсов в России, а экономический - способен обеспечить ежегодные энергетические потребности российской экономики на треть [1]. То есть каждая третья сжигаемая тонна нефти и кубометр газа могут быть замещены энергией ветра, солнца, биомассы. В настоящее время этот колоссальный потенциал практически не используется. Доля ВИЭ в топливном балансе России составляет менее 1 %.

Потенциальными сторонниками продвижения ВИЭ являются власти некоторых российских регионов. Ряд федеральных законов устанавливает тарифные гарантии, содействующие экономическому обоснованию инвестиций в развитие возобновляемой энергетики и позволяют региональным органам осуществлять политику в области развития возобновляемой энергетики. Среди регионов, которые уже сейчас в той или иной форме интересуются ВИЭ – Архангельская, Белгородская, Ленинградская, Мурманская, Челябинская области, Алтайский край, Калмыкия и др.

В соответствии с нормативными актами в области энергоресурсосбережения ответственность за реализацию по повышению энергоэффективности возлагается на субъекты РФ. В связи с этим в Пермском крае не только выполняется целевая программа "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности Пермского края на 2010-2020 годы", но и реализуется пилотный проект «Научно-исследовательский модуль для оценки эффективности применения энергоресурсосберегающих технологий iHouse» [5]. Данный проект был создан при поддержке Министерства промышленности,

инноваций и науки Пермского края, также в нем приняли участие специалисты ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Проект направлен на создание автономного, интеллектуального здания, в котором сконцентрированы все наукоемкие разработки Университета в области энерго- и ресурсосбережения.

Конкурентным преимуществом научно-исследовательского модуля iHouse на базе ФГБОУ ВПО ПНИПУ является комплексный подход к продвижению технологий: от изучения технических и технологических характеристик до консалтинга и инжиниринга на этапе внедрения в систему коммунального хозяйства, а также информационного сопровождения и профессиональной подготовки кадров.

В научно-исследовательском модуле запроектированы следующие инженерные системы:

- система теплоснабжения на основе геотермального теплового насоса;
- система водоснабжения, водоподготовки и водоотведения;
- система электроснабжения (централизованное, солнечная электростанция, ветрогенератор, энергохимический генератор);
- система диспетчеризации здания («Умный дом»)

Конструктивная схема научно-исследовательского модуля - каркасная с использованием клееных деревянных конструкций (КЦК) в качестве несущих колонн, балок и панелей перекрытия полной заводской сборки (рис. 1). Наружные стены - каркасные, с заполнением минераловатным утеплителем Rockwool Лайт Баттс. Окна - дерево-алюминиевые немецкого стандарта (евроокна четвертого поколения). Кровля - скатная, из профилированного листа. Общая площадь здания составляет 200 м<sup>2</sup>.



Рис. 1 Внешний вид научно-исследовательского модуля

Функционально модуль разделен на несколько блоков:

- ✓ Переговорная;
- ✓ Демонстрационный зал
- ✓ Лабораторный комплекс
- ✓ Котельная
- ✓ Серверная.

Здание подключено к централизованным инженерным системам электроснабжения и водоснабжения. В настоящее время завершаются пусконаладочные работы по объединению всех инженерных систем в единый комплекс – интеллектуальное здание.

Основным источником теплоснабжения модуля является тепловой насос Logatherm WPS 22, потребляющий до 9 кВт электрической энергии и выдающий 20 кВт тепловой энергии. Для повышения гидравлической устойчивости системы и более стабильной работы теплового насоса в тепловом пункте устанавливается бак-аккумулятор PS 300.

Для приготовления горячей воды применяется бивалентный бак Logalux SM 200/5, использующий тепловую энергию теплового насоса и солнечного коллектора.

Используемая система теплоснабжения – теплый пол, в качестве теплоносителя используется пропиленгликоль. Систему можно регулировать непосредственно в каждой комнате и создавать комфортный микроклимат.

Тепловой насос работает за счет грунтового тепла. Для обеспечения требуемого теплосъема и поддержания в здании температуры было пробурено 8 скважин по 70 м глубиной каждая. Одна из скважин обвязана температурными датчиками для анализа изменения температуры почвы по глубине. Показания, снимаемые с этих датчиков, в режиме реального времени выводятся на центральную панель управления.

В рабочих помещениях модуля смонтирована приточно–вытяжная вентиляция с механическим побуждением. Предусмотрена возможность регулирования производительности систем вентиляции по показаниям датчиков CO<sub>2</sub> и влажности воздуха, установленных в помещениях с длительным пребыванием людей.

Объект подключен к трем источникам электроэнергии:

- централизованный через здание кафедры охраны окружающей среды;
- солнечная электростанция 5 кВт;
- ветрогенератор 600 Вт.

Приоритет в энергоснабжении отдается альтернативным источникам, в случае нехватки электроэнергии система диспетчеризации переключает здание модуля на централизованный источник для бесперебойного функционирования всех систем.

Все инженерные системы модуля объединены между собой и управляются системой диспетчеризации, что в свою очередь позволяет:

- отслеживать состояние всех элементов инженерного оборудования;
- получать в режиме реального времени извещение о создавшейся аварийной ситуации или поломке;
- управлять работой систем вручную и в автоматическом режиме;
- получать отчеты о работе систем (потребление тепло-энергоресурсов, управление микроклиматом, уровень CO<sub>2</sub> в помещениях, качество водоподготовки и т.д).

Данный модуль является перспективной площадкой для развития взаимовыгодного научного сотрудничества с коллегами из других университетов РФ, а также с зарубежными партнерами, например из Китая. Результаты совместных исследований позволят сформировать пул инженерно-технических решений для внедрения на реальные объекты экономики с целью повышения их энергоэффективности.

В июне 2015 г. в ФГБОУ ВПО ПНИПУ состоялась встреча Ассоциации технических университетов России и Китая (АТУРК), посвященная инновационной энергетике, в рамках которой были организованы конференция и студенческий конкурс по вопросам применения альтернативной и возобновляемой энергии, новейшим исследованиям и разработкам в сфере энерго-ресурсо-сбережения и эффективности. По итогам встречи было принято решение о создании рабочей группы для проведения совместных НИОКР в области энергосбережения и энергоэффективности.

Еще одним перспективным направлением исследований ФГБОУ ВПО ПНИПУ является тематика «зеленого» строительства и устойчивого развития. Данное направление развивается с 2014 года, его стартом стал визит представителей НКО Tree Pittsburgh, а в мае 2015 года прошел целый ряд Международных конференций и обучающих семинаров с участием специалистов Green Building Alliance (GBA - Питтсбург) и Совета по экологическому строительству в России (RuGBC). В сентябре 2016 г. в университете планируется проведение Международной конференции "Зеленый кампус" при поддержке Совета по Экологическому строительству (RuGBC) и

инженерно-архитектурной компании ARUP (Великобритания). ПНИПУ рассматривает территорию студенческого кампуса как пилотную для отработки и реализации проектов «зеленых» технологий. Полученные результаты исследований планируется распространять и адаптировать на объектах городского и регионального значения.

Таким образом, университет активно инициирует и реализует комплексную программу по внедрению и продвижению «зеленых» технологий на объектах реальной экономики.

#### **Список литературы**

1. «Альтернативная энергетика России 2010», <http://aenergy.ru/2989>
2. Возобновляемая энергетика в России: от возможности к реальности. ОЭСР/МЭА, 2004
3. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 29.12.2014) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности.
4. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р (ред. от 28.05.2013) «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года».
5. Сурков А.А., Вайсман Я.И. Научно-исследовательский модуль для оценки эффективности применения энергоресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве

## ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНАЯ ГАЗОТУРБИННАЯ СИСТЕМА АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Счастливец А.И.  
ОИВТ РАН, Москва, Россия

### Введение

Потребность в создании эффективных аккумулирующих систем растет с каждым годом. В централизованной энергетике с установленной мощностью в десятки гигаватт это связано с необходимостью сглаживания неравномерности суточных, недельных и сезонных графиков энергопотребления. В автономной энергетике, по мере развития и увеличения доли энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), проблема с аккумулированием электроэнергии стоит наиболее остро. При этом к 2013 г. суммарная мощность действующих энергоустановок на ВИЭ достигла 500 ГВт – в полтора раза больше мощности всех атомных электростанций в мире [1].

Для решения проблем неравномерности производства и потребления энергии в централизованной энергетике, а также для обеспечения гарантированного энергоснабжения в автономной, необходима установка систем аккумулирования энергии. Наибольшее распространение в настоящее время получили гидроаккумулирующие (ГАЭС) и воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции (ВАГТЭ). Для автономной энергетике наибольшее распространение имеют электрохимические аккумуляторы, что связано в первую очередь с их надежностью, высоким коэффициентом рекуперации и безопасностью. Однако, в данных системах есть и существенные недостатки среди которых наибольшее значение имеют высокая стоимость и низкий ресурс, ограниченный несколькими тысячами циклов заряда-разряда. Это гарантирует их работу, в случае использования на энергоустановках ВИЭ, в течении 3...5 лет, а далее требуется их полная замена. Таким образом, разработка дешевого и эффективного аккумулятора, обладающего высоким ресурсом (более 20 лет), является актуальной задачей.

### Описание и принцип работы

За основу рассматриваемой далее схемы взяты воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции, обладающие относительно хорошими эксплуатационными характеристиками: высоким коэффициентом рекуперации (65...80 %) [2], сравнимым с ГАЭС, и низкой стоимостью киловатта установленной мощности (400...800 \$/кВт) [3].

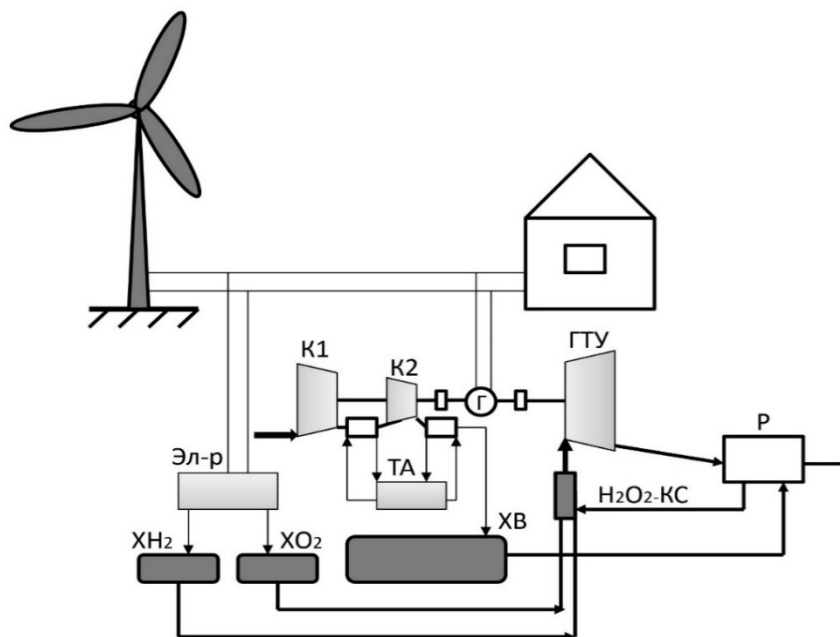
Принцип работы ВАГТЭ заключается в закачивании сжатого воздуха в специальные резервуары за счет использования электроэнергии, производимой в часы «провального» энергопотребления. В часы «пикового» энергопотребления сжатый воздух, подогреваемый сжиганием природного газа, используется для привода газотурбинной энергоустановки, вырабатывающей дополнительную электроэнергию.

В данной работе предлагается комбинированная схема воздушно-аккумулирующей газотурбинной электростанции, в которой для подогрева воздуха перед турбиной используется теплота сжигания водорода в кислороде, полученных путем электролиза.

Водород как аккумулятор энергии обладает рядом преимуществ по сравнению с другими системами аккумулирования: высокая плотность запасаемой энергии (до 38 кВт·ч/кг (т)), отсутствие вредных выбросов при работе, широкое распространение в природе. Продуктом сжигания водорода в кислороде является водяной пар высокой температуры, что позволяет использовать его для подогрева воздуха из хранилища путем смешения, исключая образование вредных веществ, в отличие, например, от сжигания водорода непосредственно в воздухе.

Использование водорода позволяет решить основную проблему ВАГТЭ, связанную с большими объемами хранилищ и использованием дополнительного топлива для подогрева, путем создания комбинированной водородно-воздушной газотурбинной системы аккумулирования (ВВГТСА).

Принцип работы ВВГТСА, упрощенная схема которой представлена на рисунке, заключается в следующем. Во время «провального» энергопотребления, аккумулирование происходит по двум направлениям. Первый - получением водорода и кислорода методом электролиза воды и последующим закачиванием их в хранилища. В случае использования электролизера высокого давления дожимной компрессор для водорода и кислорода может либо не понадобиться, либо понадобится компрессор с небольшой степенью повышения давления. Второй – путем сжатия воздуха компрессорами, приводимыми в действие мотор-генератором. Компрессорная группа может состоять из нескольких (как показано на рисунке) компрессоров среднего и высокого давления либо одного осевого компрессора с промежуточными отводами тепла. Отведенное при сжатии воздуха тепло может быть направлено в тепловой аккумулятор либо использоваться напрямую - для отопительных нужд и т.д. Охлажденный воздух после компрессоров поступает в хранилище.



Упрощенная схема ВВГТСА: К1, К2 – компрессорная группа, ХН<sub>2</sub> – хранилище водорода, ХО<sub>2</sub> – хранилище кислорода, ХВ – хранилище воздуха, ТА – тепловой аккумулятор, Г – генератор, ГТУ – газотурбинная установка, Р – рекуператор, Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>-КС – водородно-кислородная камера сгорания

В режиме выработки электроэнергии воздух из хранилища вначале поступает в регенератор, где происходит его подогрев выхлопными газами ГТУ до температуры 200...350 °С. Далее воздух поступает в Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>-камеру сгорания, где происходит его нагрев до 850...950 °С за счет теплоты сгорания водорода в кислороде. В Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>-камере сгорания осуществляется предварительное сжигание водорода в кислороде с последующим смешением полученного высокотемпературного водяного пара с воздухом, в результате чего происходит его нагрев до требуемой температуры. Такой способ исключает образование каких-либо вредных выбросов при работе, в частности NO<sub>x</sub>.

Следует отметить, что практически все основные элементы ВВАГТЭ в настоящее время известны и не требуют существенных затрат на проведение НИР, новым элементом

в данном случае является  $H_2O_2$  - камера сгорания. Сложность ее изготовления заключается в том, что для повышения эффективности её работы необходимо обеспечить как можно более полное сгорание водорода в кислороде при стехиометрическом соотношении компонентов и плавный подогрев воздуха, для предотвращения образования окислов азота. При этом, температура нагретого воздуха должна быть менее  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , для чего необходимо обеспечить предварительное снижение температуры генерируемого пара до  $1500\text{...}1800\text{ }^\circ\text{C}$  за счет отвода теплоты от камеры сгорания, и далее производить его постепенное смешение с основным расходом воздуха. Неоднородность температур в нагретом таким образом воздухе не должна превышать  $40$  градусов, чтобы исключить возникновение сильных термических напряжений в лопатках ГТУ. Прототипы таких камер сгорания мегаваттного и киловаттного уровней мощности, охлаждаемых водой, тепловой мощностью от  $50\text{ кВт}$  до  $25\text{ МВт}$  разработаны в ОИВТ РАН совместно с ОАО КБХА [8, 9], но требуют доработки в соответствии с вышеприведенными требованиями.

### Анализ основных узлов

Основными параметрами любой аккумулирующей системы являются ее стоимость, удельная емкость, коэффициент рекуперации и ресурс. Учитывая, что одним из основных минусов воздушно-аккумулирующих газотурбинных электростанций является большой объем хранилищ воздуха, начнем с определения этого важного параметра. Для определения требуемой массы воздуха в хранилище воспользуемся техническими характеристиками современных газотурбинных установок. Например, в газовой турбине компании Siemens STG-100 мощностью  $4,7\text{ МВт}$  удельный расход воздуха при степени сжатия компрессора  $14.1:1$  составляет около  $4\text{ кг/с}$  на  $1$  мегаватт номинальной электрической мощности [10]. При повышении степени сжатия и увеличении единичной мощности ГТУ компрессора удельный расход воздуха снижается. В газовой турбине GT24 компании ALSTOM мощностью  $193,3\text{ МВт}$  и степенью повышения давления  $33.8:1$  он составляет около  $2,34\text{ кг/с}$  на  $1\text{ МВт}$  номинальной электрической мощности [11]. Заметим, что около  $50\%$  мощности, вырабатываемой газовой турбиной, потребляется компрессором, для сжатия воздуха. С учетом этого, для ВВАГТЭ, где воздух подается уже с требуемым давлением, удельный расход воздуха составит  $2$  и  $1,17\text{ кг/с}$  на  $1\text{ МВт}$  для вышеуказанных турбин. Эти данные также подтверждаются опытом эксплуатации газовых турбин, установленных на ВВАГТЭ Хунторф и Макинтош, для которых удельный расход воздуха составляет  $1,44$  и  $1,41\text{ кг/с}$  на  $1\text{ МВт}$  номинальной электрической мощности при давлении на входе в турбину  $43$  и  $42\text{ атм}$  соответственно [5]. Следует отметить, что данные аккумулирующие станции были построены более  $20$  лет назад и возможно этим объясняются более высокие показатели удельного расхода воздуха по сравнению с турбиной ALSTOM. Тем не менее, для расчета примем значение  $1.4\text{ кг/с}$  на  $1\text{ МВт}$ . Таким образом, массу воздуха, необходимую для аккумулирующей системы ёмкостью  $E_{акк}$  [кВт·ч] можно определить следующим образом:

$$M_{возд} = g_{возд} \cdot E_{акк} \quad (1)$$

где  $g_{возд}$  – удельный расход воздуха [кг/(с·Вт)].

Определив массу воздуха рассчитаем массы водорода и кислорода, требуемые для его нагрева от температуры  $T_1$  [К] до температуры  $T_2$  на входе в газовую турбину:

$$M_{H_2} = \frac{c_p \cdot M_{возд} \cdot (T_2 - T_1)}{q_{H_2}} \quad (2)$$

$$M_{O_2} = M_{H_2} \cdot 7,96 \quad (3)$$

где  $c_p$  – удельная изобарная теплоемкость воздуха,  $q_{H_2}=120 \cdot 10^6$  – низшая теплота сгорания водорода [Дж/кг], 7,96 – стехиометрический коэффициент, определяющий количество полученного кислорода при разложении воды.

Объем хранилищ, с учетом того, что минимальное давление в них  $P_{\min}$  [Па] будет определяться минимальным давлением на входе в газовую турбину, а максимальное  $P_{\max}$  параметрами хранилища и компрессоров, определим следующим образом:

$$V_{xp} = \frac{M_{H_2}}{\rho_{\max} - \rho_{\min}} \quad (4)$$

где  $\rho_{\max}$  и  $\rho_{\min}$  – плотность газа [кг/м<sup>3</sup>] при давлениях  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  соответственно.

Отметим, что при сжатии воздуха в компрессоре происходит его нагрев до 250...470 °С, а перед подачей в хранилище его необходимо охладить до 30...50 °С для уменьшения удельного объема. Затраты на сжатие и потери теплоты для водорода и кислорода будут существенно ниже, с учетом их меньшего объема, а также наличием избыточного давления после электролизера (более 40 атм. [12]), что потребует меньшей степени повышения давления в компрессоре.

Рассмотрим вопрос с определением коэффициента рекуперации ВВГТСА. Для этого необходимо учитывать, что в такой схеме используется 2 разных типа хранения энергии: физический – в сжатом воздухе и химический – в водороде и кислороде, поэтому и оценивать их необходимо по отдельности. Начнем с физического способа. КПД современных винтовых компрессоров достигает 80...90 % и более, для поршневых этот показатель составляет 65...80 %. На первый взгляд более выгодным является использование винтовых компрессоров, однако их стоимость на 30...50 % выше, чем у поршневых, при этом поршневые компрессоры способны обеспечивать большую удельную степень сжатия. Потери в компрессоре преобразуются в тепловую энергию, которая также может быть использована потребителем, однако, для определения электрического КПД будем руководствоваться значением 70...90 %. Потери на трение в трубах, камере сгорания, дросселирование и т.д. можно оценить в 3...4 %. КПД преобразования в современных газовых турбинах составляет 89...92 %. Таким образом, суммарный коэффициент рекуперации для воздуха составит 61...79 %. Далее определим коэффициент рекуперации для химического способа хранения энергии. КПД современных электролизеров достигает 75...80 %, при давлении газов на выходе более 40 атм., что позволяет снизить затраты на сжатие. С учетом высокой удельной плотности энергии водорода, потери на трение, дросселирование и сжатие составят менее 2 %. КПД водородно-кислородной камеры сгорания составляет более 98,5 % при охлаждении водой, а с учетом использования в качестве охладителя воздуха, он будет близок к 100 %, поэтому данными потерями можно пренебречь. КПД преобразования тепловой энергии, полученной при сгорании водорода в кислороде, в газовой турбине составит 63...72 % (при условии, что энергия на работу компрессора не затрачивается). Таким образом, коэффициент рекуперации для химического способа составит 48...59 %. Из приведенного анализа видно, что для повышения общего коэффициента рекуперации всей системы аккумулирования необходимо увеличивать долю энергии, запасаемую в сжатом воздухе. Это достигается путем повышения давления на входе в газовую турбину, снижением температуры рабочего тела и использованием регенерации выхлопных газов.

Наиболее сложной задачей является оценка стоимости ВВГТСА, что связано с отсутствием аналогов подобных установок в мире. Однако следует учесть, что основные узлы, определяющие более 80 % стоимости всей системы доступны на рынке и их стоимость известна. Узлом с наиболее высокой удельной стоимостью является электролизер, его стоимость может быть оценена на уровне 700...2000 \$/кВт [13]. Стоимость компрессоров высокого давления можно оценить в 400...800 \$/кВт, в



зависимости от типа компрессора. Стоимость хранилищ высокого давления составляет 150...190 \$/кВт·ч для воздуха и 12...15 \$/кВт·ч для водорода и кислорода [13]. Стоимость теплообменного оборудования, трубопроводов и регенератора будет зависеть от оптимизационных расчетов, определяющих их размеры и обосновывающих необходимость их установки, но суммарная их доля в стоимости всей системы составляет не более 3...5 %. Стоимость ГТУ оценивается в 450...1200 \$/кВт в зависимости от мощности, однако, в данном случае потребуется ГТУ без компрессора, системы охлаждения, камеры сгорания и на более низкие рабочие температуры, что может существенно снизить ее стоимость. К примеру, стоимость ВАГТЭ мегаваттного уровня мощности, с хранением воздуха в подземных хранилищах в настоящее время оценивается в 700...900 \$/кВт [5, 13], из которых стоимость газотурбинного оборудования, включая камеру сгорания, составляет около 55 %. Таким образом, можно принять удельную стоимость газовой турбины 385...495 \$/кВт.

### Выводы

ВВГТСА может найти широкое применение как в централизованной, так и в автономной энергетике в диапазоне мощностей от десятков киловатт до сотен мегаватт. Использование водорода и хранения воздуха в металлических емкостях при давлении до 12 МПа позволяет снизить требуемый объем хранилищ более чем в 7 раз, по сравнению с традиционными ВАГТЭ. Вместе с тем для мегаваттного уровня мощности требуемый объем хранилищ остается все еще относительно большим и для повышения конкурентоспособности более оптимальным будет хранение воздуха в подземных резервуарах. Установки киловаттного уровня мощности требуют относительно небольших объемов хранилищ, обладают высокой маневренностью, являются экологически чистыми и не зависят от рельефа местности, что позволяет им найти широкое применение особенно на энергоустановках на основе ВИЭ.

Предложенная схема ВВГТСА является более эффективной и обладает меньшей удельной стоимостью по сравнению с безтопливной ВАГТЭ, вместе с тем в данном случае происходит её усложнение, что требует разработки более сложной системы управления. Кроме этого, в данной схеме используется  $\text{H}_2\text{O}_2$  – камера сгорания, которая требует разработки.

### Список литературы

1. Фортов В.Е., Попель О.С. «Состояние развития возобновляемых источников энергии в мире и в России» // Теплоэнергетика» №6, 2014, с. 4-13.
2. Finkenrath M, Pazzi S, D'Ercole M. «Status and technical challenges of advanced Compressed Air Energy Storage (CAES) technology». In: Int. workshop on environment and alternative energy; 2009.
3. Chen H, Cong TN, Yang W, Tan C, Li Y, Ding Y. «Progress in electrical energy storage system: a critical review». Progress in Natural Science 2009;19:291–312.
4. Raju M, Kumar Khaitan S. «Modeling and simulation of compressed air storage in caverns: a case study of the Huntorf plant». Applied Energy 2012;89:474–81.
5. Ольховский Г.Г., Казарян В.А., Столяревский А.Я. «Воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции (ВАГТЭ)». М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2011. – 360 с.
6. Hartman N., Vohringer O., Kruck C., Eltrop L. «Simulation and analysis of different adiabatic Compressed Air Energy Storage plant configuration». Applied Energy 2012;93:541-548.
7. Kim Y.M., Favrat D. «Energy and exergy analysis of a micro-compressed air energy storage and air cycle heating and cooling system». Energy 2010;35:213-220.
8. Малышенко С.П., Пригожин В.И., Счастливец А.И., Игнатов А.С. «Исследование и оптимизация тепловых процессов в водородно-кислородных парогенераторах киловаттного класса мощности», Тепловые процессы в технике, 2014, №1, с. 12-19.

- 
9. Малышенко С.П., Пригожин В.И., Савич А.Р., Счастливцев А.И., Ильичев В.А., Назарова О.В. Эффективность генерации пара в водородо-кислородных парогенераторах мегаваттного класса мощности // Теплофизика высоких температур. 2012. том 50. № 6. С. 820-829.
  10. <http://www.energy.siemens.com/co/en/fossil-power-generation/gas-turbines/sgt-100.htm>
  11. <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/power-generation/gas-power/gas-turbines/gt24-gt26-gas-turbines/>
  12. Carmoa M., Fritza D., Mergela J., Stoltena D. «A comprehensive review on PEM water electrolysis». International Journal of Hydrogen Energy 2013, V. 38, I. 12, P. 4901–4934.
  13. Schoenung S.M. Characteristics and Technologies for Long-vs. Short-Term Energy Storage. A Study by the DOE Energy Storage Systems Program // SAND2001-0765. 2001. (<http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2001/010765.pdf>).
  14. Ольховский Г.Г., Казарян В.А., Столяревский А.Я. «Методы регулирования неравномерности электропотребления». М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. – 712 с.

**ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ СОЛНЕЧНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ  
– НЕОБХОДИМЫЙ ШАГ В РАЗВИТИИ КОСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
SPACE SOLAR POWER DEMONSTRATION STATION IS A NECESSARY STEP IN  
SPACE POWER DEVELOPMENT**

**Сысоев В.К.**

ФГУП «НПО им. С.А.Лавочкина», Россия, Московская обл., Химки, (sysoev@laspace.ru),

**Sysoev V.K.**

Federal Enterprise «Lavochkin Association», Russia, Moscow region, Khimki.

В настоящее время большая часть энергии получается при переработке углеводородного сырья, что ведет к огромным выбросам CO<sub>2</sub>, приводящих к ухудшению экологической ситуации на Земле. Прогноз расхода запасов разведанного ископаемого углеводородного топлива, при возрастании его потребления, таков, что запасов углеводородного топлива хватит на недолгое время.

Единственный путь решения надвигающихся проблем – это развитие и внедрение возобновляемых чистых источников энергии во всех направлениях (от ветроэлектростанций до солнечных электростанций).

Солнечная энергетика – одно из главных направлений развития альтернативной энергетики XXI века.

В настоящее время успешно развиваются новые технологии в энергетике, базирующиеся на крупномасштабном использовании солнечной энергии. Солнце – огромный, неиссякаемый, абсолютно экологически чистый источник энергии, в равной степени всем принадлежащий и всем доступный.

При использовании высокоэффективных методов преобразования энергии Солнце может обеспечивать практически вечно растущие потребности в ней.

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии является одним из наиболее быстро развивающихся в мире направлений использования возобновляемых источников энергии. Объем производства энергии фотопреобразователями в последнее десятилетие увеличился в несколько раз, и достиг в некоторых странах 2-3 место по объему производства электроэнергии.

При определении практической целесообразности использования солнечной энергии на Земле исходят из того, что максимальная плотность энергии солнечного излучения достигает 1 кВт/м<sup>2</sup>. Однако такая плотность имеет место в течение 1–2 часов в разгар летнего дня в экваториальных широтах. В большинстве районов планеты средняя плотность энергии солнечного излучения составляет 200..300 Вт/м<sup>2</sup>. Если кроме этого учесть влияние на плотность солнечного излучения времени суток и года, облачности, осадков и т.д., то эффективная плотность солнечного излучения на поверхности Земли в 6-12 раз ниже, чем на спутниковых орбитах.

Недостатки традиционных наземных солнечных электростанций:

- Территории с серьезным энергетическим потенциалом расположены далеко от потребителей;
- Зависимость от погодных условий. Значительные (до 60-90%) потери энергии при прохождении солнечного излучения через атмосферу;
- Значительные площади, занимаемые солнечными электростанциями большой мощности;
- Невозможность использования в ночное и вечернее время, снижающее КПД системы в несколько раз.

Во многом эти недостатки может преодолеть новое направление солнечной энергетики – электростанция космического базирования [2].

Идея получения электроэнергии с борта космических электростанций является яркой и привлекательной. Она лишена недостатков традиционных солнечных электростанций[3]:

Энергия доступна практически круглосуточно и не зависит от погодных условий;

Энергия может быть передана практически в любой район поверхности Земли, включая северные территории;

Не расходуется ограниченные по размерам и ценные для технологических процессов будущего природные ресурсы Земли (уголь, газ, нефть и д.р.);

Солнечная космическая электростанция (СКЭС) обеспечивает минимальные тепловые потери (КПД ректенны может достигать 85-90%), что довольно существенно – проблема теплового загрязнения является одной из наиболее крупных глобальных проблем, возникающих перед Человечеством;

Отсутствуют проблемы, связанные с выбросом  $\text{CO}_2$ , и какие-либо иные выбросы, загрязняющие атмосферу;

Нет проблем, связанных с захоронением радиоактивных отходов и/или отработавшего ресурс радиоактивного оборудования;

Наземная приемная система может быть приподнята над поверхностью Земли, что позволит эффективно использовать ее площадь для сельскохозяйственных и промышленных целей;

Микроволновый или лазерный пучок СКЭС может легко перебрасываться с одной приемной системы на другую, обеспечивая, тем самым, возможность оперативного переключения территориально удаленных потребителей.

Концепция СКЭС (рис.1) предполагает размещать крупные панели солнечных батарей на геостационарной орбите (ГСО), а вырабатываемую ими энергию (5-10 ГВт) передавать на поверхность Земли пучком СВЧ-излучения (или лазерного излучения) с низкой расходимостью, преобразовывать ее затем в энергию постоянного или переменного тока технической частоты, и раздавать потребителям. Такая схема позволяет использовать интенсивный поток солнечного излучения, существующий на ГСО ( $\approx 1,4 \text{ кВт/м}^2$ ), и передавать полученную энергию на поверхность Земли непрерывно, вне зависимости от времени суток и погодных условий.

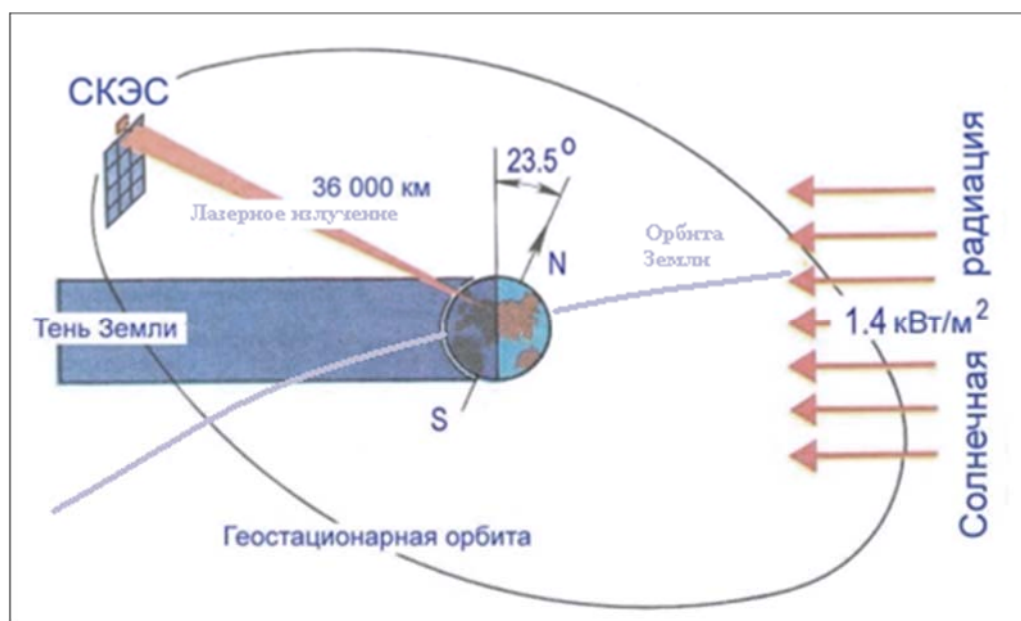


Рис. 1- Схема СКЭС

За счет естественного наклона экваториальной плоскости к плоскости эклиптики с углом 23,5 град., космический аппарат (КА), расположенный на ГСО, освещен потоком солнечной радиации практически непрерывно за исключением небольших отрезков времени вблизи дней осеннего и весеннего равноденствия, когда этот КА попадает в тень Земли.

При всей привлекательности СКЭС есть ряд физико-технических проблем, которые необходимо решить перед началом проектирования промышленных СКЭС:

Для получения мощности для промышленного применения необходимо создавать в космосе конструкции фотопреобразователей очень больших площадей (1ГВт ~  $10^6$  м<sup>2</sup>). Такие конструкции планируется собирать из отдельных фрагментов, а это – большое количество пусков и использование высокотехнологичных роботов для сборки конструкций на ГСО.

Создание высокоэффективного канала передачи энергии на наземные станции. Имеются все предпосылки создания такого канала на основе обратно-переизлучающей активной антенной решетки с использованием радио-пилот-сигнала с наземной приемной станции.

Высокий уровень собираемой и передаваемой энергии при достижении даже высокой эффективности преобразующей техники создает большие тепловые потоки на космическом сегменте СКЭС, это приводит к необходимости создания сложных схем утилизации тепла.

Общая эффективность всего наземно-космического комплекса в первых вариантах проектов 1970 г. такой СКЭС оценивается в 1-2%. В настоящее время развитие оптико-электронной элементной базы позволит достичь общего КПД СКЭС ~25-35%.

По оценкам японских специалистов МНИ экономическая целесообразность (себестоимость кВт\*ч, равная цене за кВт\*ч энергии от атомных электростанций) может быть достигнута при следующих условиях:

Эксплуатация станции в течение 30 лет (окупаемость станции);

Резкое уменьшение веса электроники (фотопреобразователи, СВЧ-микромодули и др.). Как показывает анализ развития электроники, имеется устойчивая тенденция увеличения удельной мощности Вт/г, и в ближайшие 10-20 лет эта величина может стать удовлетворительной для данной программы;

Необходимо достичь срока службы электроники более 30 лет. Оценки специалистов показывают, что срок службы станет приемлемым через 10-20 лет.

Уменьшение стоимости пусков, более чем вдвое, за счет создания новых ракет-носителей.

При достижении этих параметров МНИ планирует создать СКЭС к 2030 при капиталовложении в 8 млрд. дол. Все эти технические проблемы и организационные трудности приводят к поиску новых концепций построения космических электростанций преодолевающих эти трудности, в которой приняли участие и авторы данной статьи. И новизна представленных вариантов концепций состоит:

в использовании излучения волоконных лазеров в качестве канала передачи энергии (вследствие увеличения КПД лазеров в последние годы, выбор которых обуславливает уменьшение размеров приемных ректенн с километров до сотен или десятков метров, по отношению к ректеннам в случае микроволнового канала);

модульное построение конструкции СКЭС из отдельных автономных КА, которые могут существовать в виде «роя» отдельных аппаратов или наоборот соединяться в единую конструкцию, это позволит создать унифицированный элемент (КА) и тем самым уменьшить стоимость строительства промышленной СКЭС, а ввод в эксплуатацию сразу – увеличение мощности постепенным наращиванием количества КА.

Конечно, стоимость и сроки создания промышленной СКЭС приводимые многими специалистами очень «впечатляют» (от 20 млрд. долл. и более, и от 20 до 50 лет), что позволяет многим скептикам заявить о слишком далекой перспективе развития этого вида энергетики. Однако при сравнении с другими направлениями «будущей» энергетики – термоядерным синтезом, который уже пытались использовать для промышленной электростанции, от первого предложения до настоящего времени прошло более 60 лет, потрачены млрд. долл., а эффект нулевой. Главное – не найдено физико-техническое решение даже реализации термоядерного реактора с нулевым КПД, так что сроки предложения для СКЭС на этом фоне выглядят очень оптимистично, а также чётко видны физико-технические решения их создания.

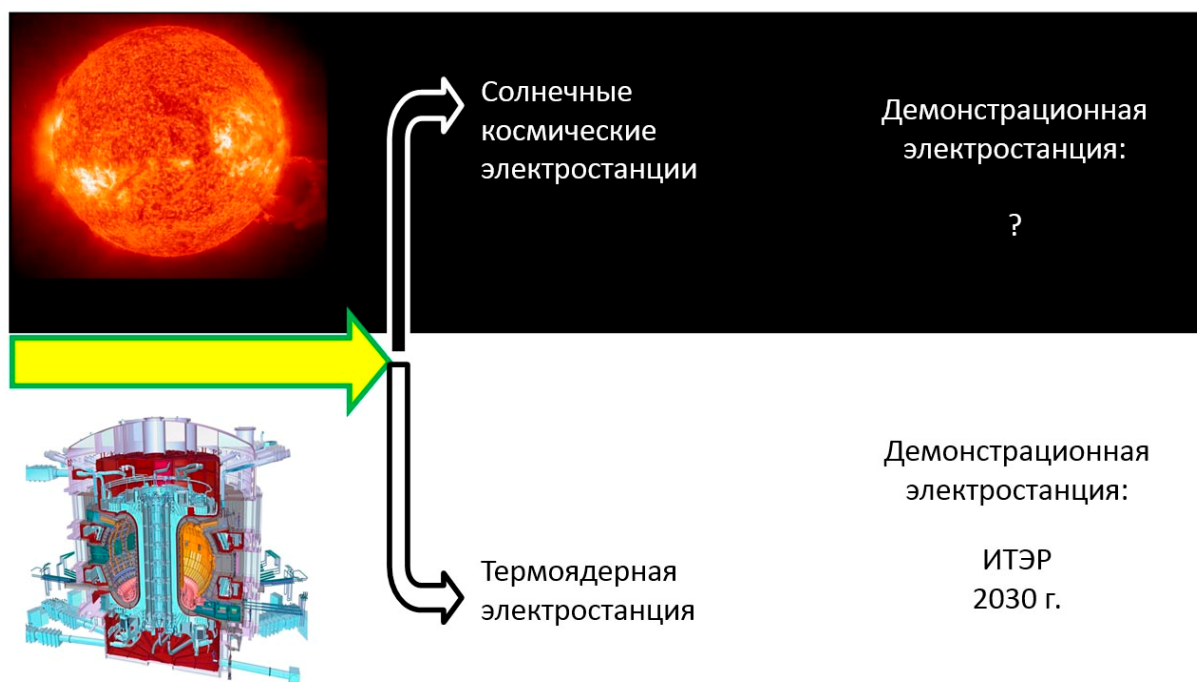


Рис. 2 - Тенденция развития альтернативных видов масштабной энергии

Однако, несмотря на все работы, проводимые развитыми странами по данной тематике (разработка новых концепций, создание новых высокоэффективных фото- и излучающих систем, проведение детальных наземных экспериментов) барьер недоверия к данной технологии остается

Преодоление барьера скептического отношения к СКЭС может способствовать первой практической реализации космическо-наземной структуры научно-исследовательской космической станции в виде демонстрационной СКЭС (ДСКЭС) на базе имеющейся ракетно-космической техники.

Основные задачи такой ДСКЭС будут (Рис 3):

Получение максимального количества электроэнергии от ФЭП и преобразование в лазерное излучение, мощностью более 10 кВт.

Высокоточное наведение лазерного канала передачи энергии на наземные фотопреобразователи, с точностью до угловой секунды.

Этот КА позволит отработать схему преобразования и передачи энергии (программное и аппаратное обеспечение) на Землю.

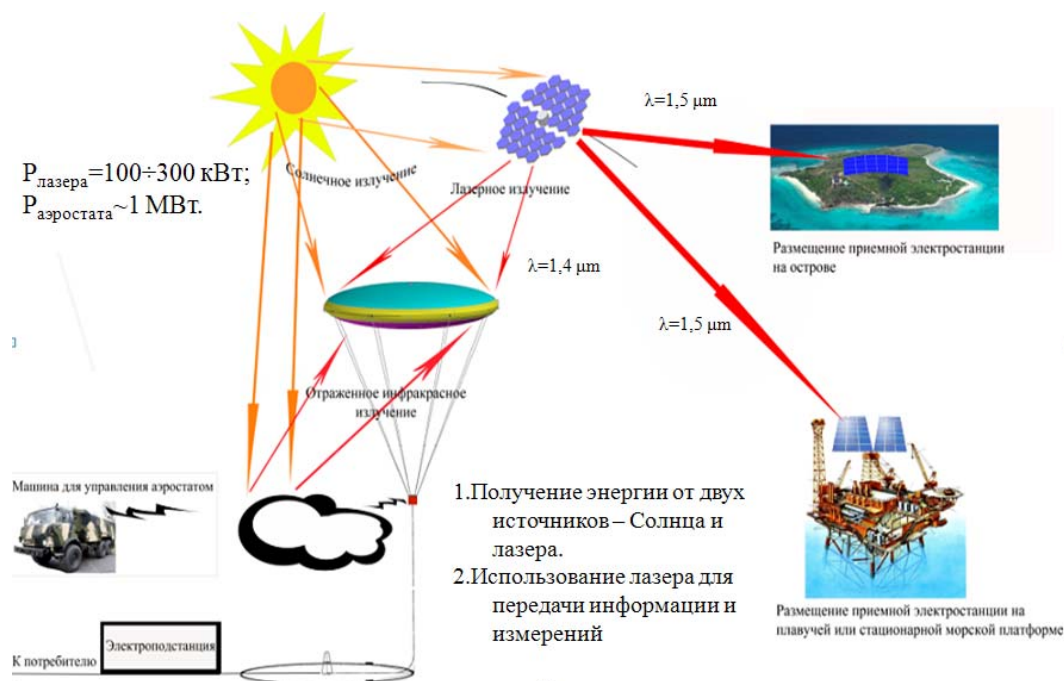


Рис. 3 - Схема ДСКЭС

Предполагается, что лазерный излучатель ДСКЭС будет вероятнее всего состоять из 5÷20 волоконных лазеров (ВЛ), следовательно можно будет ввести в контур управления некоторых ВЛ дополнительно 2 функции:

- цифровую передачу данных со скоростью более 500 Мбит/с;
- лидарные измерения состава и структуры атмосферы.

Всё это позволит получить уникальную научную космическую станцию, которая впервые в мире начнет решать задачи по экспериментальной отработке будущих космических электростанций.

Насколько это реально? Считаю, что в России имеются все основы для развития данного проекта.

### Список литературы

1. Мейтин М. «Фотовольтика - материалы, технология, перспективы» Электроника, 2000, №6, с. 40-46;
2. Glaser PE. «Power from the Sun: it's Future» // Science, 1968, vol.62, Nov., pp 857-886;
3. Ванке В.А., Лесков Л.В., Лукьянов А.В. «Космические энергосистемы» // М.: Машиностроение, 1997, -140с.

## **ВЫЗОВЫ, ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ МАССОВОГО ОНЛАЙНОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ВИЭ**

**Тюхов И.И.**

ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия

Значение образования в социальном и экономическом развитии общества и повышении благосостояния его граждан трудно переоценить. Многогранность и сложность воздействия образования на общество и индивидуумов в постиндустриальном обществе находит отражение в различных теоретических концепциях и практических действиях образовательного сообщества, которые говорят о том, что мировое образование вступило в стадию революционных изменений, кардинальных и динамичных трансформаций, которые напрямую связаны с эволюционными изменениями в обществе и, которые существенно и стремительными темпами меняют парадигму современного образования [1, 2].

В последние годы активное распространение получили массовые дистанционные курсы в системе онлайн-образования. Научно-образовательному сообществу, работающему в возобновляемой энергетике, необходимо подключиться к новым возможностям получения и быстрого распространения знаний с учетом появления массовых открытых технологий и проанализировать вызовы и проблемы, которые при этом возникают [2-5].

С распространением современных цифровых, мультимедийных и сетевых технологий обучение принимает формы непрерывного, индивидуально-ориентированного, гибкого и динамичного процесса. Информационные, коммуникационные и мультимедийные технологии содействуют широкому доступу к образованию всех слоев населения, а также повышению его качества.

В истории развития социальной коммуникации, образовательных и энергетических технологий прослеживается явная тенденция на ускорение передачи, увеличение объема, изменение форм представления соответствующей информации и, с другой стороны, постоянное освоение новых видов энергии, создание все более сложных энергетических технологий и увеличение энерговооруженности человека. Важно отметить существование тесной взаимосвязи информационных, энергетических и образовательных технологий. В таблице (см. ниже), не претендующей на детальное и точное отражение всех исторических процессов, условно-схематично показаны энергетические, коммуникационные и образовательные революции (трансформации) в истории человечества, отражающие эволюционные аспекты разнообразной человеческой деятельности.

Новые модели образования XXI века ориентированы, прежде всего, на цели устойчивого развития и должны представлять собой в целом опережающую информационно-образовательную систему. Так же как и наука, система образования должна опережать другие сферы социальной активности, поскольку именно информационные процессы будут опережать материально-энергетические процессы. До сих пор образование являлось достаточно консервативной сферой деятельности и часто отставало от развития технологий, как и материальное производство отставало от научных разработок.

Определенные опережающие механизмы, ориентированные на будущее, частично реализуются при использовании нового образовательного пространства и образовательных технологий - Массовых Открытых Онлайн-Курсов (МООК). МООК – это обучающий курс с массовым интерактивным участием с применением технологий электронного обучения и открытым доступом через Интернет, одна из форм современного дистанционного образования.



Таблица. Энергетические, коммуникационные и образовательные революции в истории человечества

Года (примерно)	Коммуникационные и образовательные революции	Энергетические революции	Стадии развития
10 <sup>6</sup> лет назад	Устный обмен информацией с помощью речи	Использование простейших инструментов Освоение огня	Обмен информацией между людьми Формирование человеческого сообщества на основе дополнения к биологическим источникам энергии внешних источников энергии
10 <sup>5</sup>	Запись и передача информации с помощью картинок и символов	Освоение солнечной энергии, использование энергии животных	Первая стадия использования ВИЭ
10 <sup>4</sup>	Письменность (от внутренней биологической памяти к внешней сохраняемой и передаваемой информации)	Использование энергии ветра и водных потоков (от мускульной энергии к машинам)	
10 <sup>3</sup>	Книгопечатание, формирование системы научных знаний Создание школьной и университетской системы образования	Механическая и тепловая энергия (уголь, нефть, газ)	Использование ископаемого топлива (аккумулированной солнечной энергии) Формирование человеческой цивилизации, научные и технологические революции
10 <sup>2</sup>	Мировая система образования Средства массовой информации, радио, телевидение	Энергия пара, электрическая и атомная энергия	
10 <sup>1</sup>	Компьютеры, интернет, мобильная связь, МООК	Фотоэлектрическая революция	Современные технологические революции (информатизация, роботизация, искусственный интеллект) Внепланетарная активность человечества
Современность	Практически общая взаимосвязанность на планете Массовое открытое образование	Умные (smart) сети и децентрализованная энергетика Космические технологии	
Ближайшее будущее	Глобализация и взаимосвязанность всех процессов на планете и в ближнем космосе Интернет вещей, интернет всего Технологии больших данных	Термоядерная энергетика Глобальная энергетика, интегрирующая весь спектр энергетических источников	Вторая стадия использования ВИЭ Доступность энергии и информации на планете и в ближнем космосе Освоение Луны и Марса
Будущее	Расширение ареала человечества до ближнего космоса		

Количество пользователей МООК сегодня растет в геометрической прогрессии, поэтому и говорят об образовательной революции. Онлайн-курсы – это не только современные образовательные ресурсы, но и эффективный маркетинговый инструмент, что может быть особенно важным для продвижения ВИЭ.

МООК отличается следующими характеристиками:

- большее по сравнению с обычными университетскими курсами количество участников курса (десятки и сотни тысяч студентов, и в целом более 10 млн., зарегистрированных на МООК к концу 2014 г.),

- простотой вовлечения в учебный процесс; все, что требуется от студента – это зайти на один из сайтов, например популярных платформ <https://www.edx.org> или <https://www.coursera.org>, выбрать интересующий курс, зарегистрироваться и начать освоение предлагаемого материала.

- курсы, в базовых элементах имеют открытый (доступный без оплаты) характер по содержанию и задачам обучения, несмотря на не всегда заметную коммерческую природу бизнеса МООК; курсы могут иметь дополнительную коммерческую составляющую, например, в виде платных сертификатов, систему отбора и трудоустройства выпускников курсов, платных наборов курсов по ряду самых современных специализаций (нескольких агрегированных курсов), по которым выдаются соответствующие документы и дипломы, уже принимаемые целым рядом организаций.

- курсы полностью выкладываются в онлайн, используя как асинхронные (с возможностью записи всех учебных материалов на различные гаджеты для последующего изучения вне интернет-сети), так и синхронные методы обучения (вебинары, google hangout) и это не исключает имитацию атмосферы кампуса через неформальные встречи с преподавателями.

Необходимо отметить, что в настоящее время большинство курсов предлагается учебу на английском языке, что можно рассматривать как недостаток или, наоборот, как возможность улучшить языковую подготовку по специальности и по восприятию живой речи лектора (распространенный медиа формат mp3).

Среди существующих образовательных платформ следует выделить EDx и Coursera, как наиболее продвинутые и распространенные. На примере онлайн обучения в рамках платформ EDx и Coursera проявляются новые качества онлайн-образования (например, персонифицированное обучение).

Для плохо подготовленных по английскому языку студентов можно рекомендовать освоение платформы Coursera, на которой реализуются проекты по переводу курсов, правда пока в скромных вариантах. В частности, ABBYY Language Services и центр Digital October объявили об официальном запуске краудсорсингового проекта «Переведем Coursera». Его цель — на волонтерской основе перевести лучшие курсы Coursera на русский язык и сделать их доступными для всех пользователей Рунета. По данным 2014 г. распределение онлайн-курсов по используемому языку следующее: английский - 800, китайский - 126 (второй по распространённости!), русский – только 29, что говорит о существенном отставании России по использованию технологий МООК.

В качестве примеров опережающих курсов можно привести такие, как «Органические солнечные элементы - теория и практика» (Датский технический университет), «Solar Energy» (Delft University), «Наше энергетическое будущее» (Калифорнийский университет в Сан-Диего), «Introduction to Graphene Science and Technology» (Chalmers University of Technology) и др. Опережающий характер курсов проявляется, например, в том, что рассматриваются вопросы органической фотовольтаики, технологии получения графена, различные технологии энергетики, которые являются предметом современных интенсивных исследований в которые вовлечены сами преподаватели курсов. Это соответствует нашей хорошо известной физтеховской системе, когда студенты непосредственно включаются в исследовательскую работу со своими учителями [5], только с использованием всего спектра современных информационных, мультимедийных технологий.

Широкий спектр курсов по различным дисциплинам существенно улучшает междисциплинарную подготовку всех интересующихся вопросами современного образования и способствует улучшению международной активности научно-технического сообщества.

Образовательные центры представляют, создаваемые на базе платформы coursera, представляют собой международную инициативу, целью которой является создание образовательного сообщества на основе смешанной системы обучения, сочетающей сетевое обучение с очным обучением. Воплощение этой идеи в жизнь осуществляется путём создания физической сети, объединяющей помещения, координаторов и студентов со всего мира. Недавно coursera анонсировала новый партнерский проект сотрудничества с Департаментом по делам ветеранов. В США 21 миллиону ветеранов будет рекомендовано пройти обучение в Coursera через ближайший к ним Центр трудоустройства ветеранов. Эта инициатива помогает ветеранам в получении необходимого образования и усовершенствовании навыков для достижения успеха в современных условиях труда.

Специалисты утверждают, что скорость изменений в некоторых отраслях производства настолько велика, что пока стандарт подготовки нового специалиста войдет в реальность, отрасль может свернуться. Например, в России полный цикл от запроса работодателя до внедрения этого стандарта занимает 10 лет. Поэтому многие компании вынуждены создавать собственные системы обучения, кафедры в вузах, включая корпоративное обучение. Внедрение MOOK в традиционный учебный процесс ВУЗов, школ позволяет быстрее реагировать на запросы быстро меняющихся отраслей.

Важнейшей проблемой MOOK является невозможность практической подготовки по многим инженерным (медицинским и др.) курсам. Эта проблема может решаться в проектно-исследовательской, проектно-ориентированной деятельности с использованием разработанных учебно-исследовательских стендов и проектов с использованием новейших космических технологий, включающих междисциплинарные подходы, которые начинают реализовываться в настоящее время, и нацелены в будущее [6-8]. Практическая подготовка студентов – это специальная тема, которой занимается кафедра ЮНЕСКО в ФГБНУ ВИЭСХ, в том числе и со школьниками [6]. Лабораторное оборудование по курсу ВИЭ, разрабатываемое на кафедре (и при участии кафедры), позволяет при минимальных затратах: охватывать самые современные технологии ВИЭ, вводить элементы ВИЭ в различные курсы: фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии, экология, нетрадиционная энергетика, физика твердого тела, физика полупроводников, прикладная оптика, ГИС, и др., вовлекая студентов, аспирантов и даже школьников в процессы реального проектирования, моделирования и автоматизации.

Например, с точки зрения устойчивого развития возобновляемой энергетики прогнозирование прихода солнечного излучения на земную поверхность в зависимости от облачности является актуальной задачей в настоящем и ближайшем будущем, когда большие солнечные электростанции, используемые как источники энергии для электросети, дают все более значительный вклад в систему энергоснабжения на базе традиционных источников энергии. Знание прихода солнечного излучения с использованием ГИС технологий позволит осуществлять оптимальное планирование работы системных операторов [7, 8].

### **О вызовах российской системе образования**

По данным IPOboard (<http://www.ipoboard.ru/>), объем рынка e-learning в России оценен в 9,3 млрд. по итогам 2014 года, среднегодовой темп роста составил 16,9%. По оценкам экспертов российский рынок электронного образования отстает от западных

рынков на 5-7 лет (это ли не вызов)! Однако участники рынка прогнозируют, что среднегодовой темп роста рынка e-learning в России достигнет 20-25%, что не может считаться достаточным.

Языковой барьер для российских студентов требует осознания необходимости в активном изучении иностранных языков, что стоит в приоритете Минобрнауки, но требует немедленных действий сейчас.

Пассивность и незаинтересованность студентов, которые нацелены не на получение знаний, а на получение работы уже во время учебы, к сожалению часто не по специальности, и на получение документа об окончании ВУЗа.

Относительная бедность российских университетов (в сравнении бюджетов с западными), не позволяет быстро и масштабно организовать работу по созданию MOOKов.

Практическое отсутствие венчурного капитала, заинтересованного в притоке молодежи с востребованными навыками из-за недоразвитого инновационного производства.

Недостаточный охват качественным интернетом по всей стране.

Перегруженность преподавателей ВУЗов текущей аудиторной нагрузкой.

Минобрнауки пытается решать эти проблемы. В сентябре 2015 г. на конференции EdCrunch состоялась презентация национальной платформы онлайн-образования «Открытое образование». В настоящий момент на ней представлено 46 курсов от восьми ведущих вузов России, таких как МГУ, СПбГУ, ИТМО, СПбПУ, НИУ «ВШЭ», МФТИ, УрФУ и НИТУ «МИСиС». Всего на курсы подписано уже более 8000 человек из разных регионов. Курсы бесплатны, платить можно только за сдачу экзамена и получение официального сертификата. Курс может быть засчитан в дипломе любого вуза России при согласии администрации вуза. К маю 2016 года планируется запустить в общей сложности более 100 курсов. Однако лидерами на международной платформе coursea среди российских ВУЗов являются ВШЭ и МФТИ.

### **Выводы**

На современном этапе развития общества появились новые возможности получения и распространения знаний с учетом развития современных технологий массового образования. На возникшие в связи с этим вызовы надо быстро реагировать и это особенно актуально на постсоветском пространстве (для продвижения и распространения российских технологий, товаров, образовательных услуг) и для подключения к международной инновационной научно-технической деятельности.

Массовые открытые онлайн-курсы (MOOK) позволяют существенно повысить кругозор, междисциплинарную подготовку и квалификацию студентов, преподавателей, школьников, старшего поколения, всех интересующихся вопросами современного образования, науки и технологий. Необходимо наладить системную работу по популяризации научно-технической деятельности в области ВИЭ во всех видах образовательной работы включая создание MOOKов по тематике ВИЭ.

Новые модели образования XXI века должны представлять собой опережающую информационно-образовательную систему. Так же как и наука, система образования должна опережать другие сферы социальной активности, поскольку именно информационные процессы будут опережать материально-энергетические процессы.

Новые образовательные инструменты способствуют формированию парадигмы опережающего образования. Практически мгновенное распространение о MOOK по всему миру позволяет, формировать опережающее человеческое сознание, способное, как предвидеть будущее, так и воплощать в практику наиболее желаемые модели, если предлагаемый курс отражает работу на острие научно-технического прогресса, как

например, курсы по искусственному разуму, встроенной электронике, робототехнике, солнечной энергетике и т.д.

Широкий спектр курсов, предлагаемых университетами всего мира по самым различным дисциплинам, существенно улучшает междисциплинарную подготовку научно-образовательного сообщества и способствует улучшению международного сотрудничества.

Проблема практической подготовки должна решаться в проектно-исследовательской деятельности с использованием современного оборудования в рамках проектов с использованием новейших технологий, включающих междисциплинарные подходы. Необходимо организовать работу по внедрению в учебный процесс проектно-ориентированную деятельность, учебно-исследовательского оборудования по ВИЭ в различные образовательные учреждения и университеты. Существенным дополнением к онлайн-образованию должна быть практическая работа студентов, включающая проектно-исследовательскую деятельность с использованием самых современных онлайн-технологий.

Образование, включающее указанные аспекты, использующее смешанную систему обучения, сочетающую сетевое обучение с очным обучением и практической работой для промышленности, производства, а также создание промышленности ВИЭ, формирующей заказ образовательной системе – наша глобальная задача (пока у нас есть ископаемые ресурсы).

#### Список литературы

1. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Наука и образование в глобально-ноосферной перспективе // NB: Проблемы политики и общества. — 2013. - № 2. - С.161-222. DOI: 10.7256/2306-0158.2013.2.439. URL: [http://e-notabene.ru/pr/article\\_439.html](http://e-notabene.ru/pr/article_439.html)
2. Информационные и коммуникационные технологии в образовании: монография / Под редакцией: Бадарча Дендева – М.: ИИТО ЮНЕСКО, 2013. – 320 стр.
3. Тюхов И.И. О влиянии ИКТ на качество высшего образования на примере курсов по солнечной энергетике в рамках образовательных платформ Edx и Coursera // Международная конференция ИИТО-2014 «Новые вызовы для педагогики и качества образования: массовые открытые онлайн курсы, облачные сервисы, мобильные технологии», 14-15 октября 2014 г., Москва, тезисы докладов. Интернет ресурс: <http://conference2014.iite.unesco.org/wp-content/uploads/2014/11/Tyukhov.pdf>.
4. Тюхов И.И. Новые вызовы и возможности онлайн-образования на примере курсов по устойчивому развитию. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК», Вип. 209, ч.1, г. Київ, с. 273-280.
5. Алхасов А.Б., Баранов Д.А., Симакин В.В., Тюхов И.И. Вопросы обучения и практической подготовки бакалавров и магистров по возобновляемой энергетике // Материалы V Школы молодых ученых имени Э.Э. Шпильрайна. 11-12 октября 2012 г. / Под ред. д.т.н. А. Б. Алхасова - Махачкала: АЛЕФ (И.П. Овчинников), 2012. – с. 77-80.
6. Космические образовательные технологии: инвестиции в будущее (теория и практика): монография // Под. ред. М.А. Шахраманьяна, И.И. Тюхова, Н.С. Вощенковой. - Калуга: Институт повышения квалификации работников образования, 2009. - 776 с., ил.
7. Тюхов, И. И. Мониторинг погодно-климатических условий для солнечной энергетике [Текст] / И. И. Тюхов, А. Х. Раупов // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). - Саров, 2014. - № 2. - С. 99-108.
8. Tyukhov I., Rezk H., Raupov A. Experimental implementation of meteorological data and photovoltaic solar radiation monitoring system Int. Trans. Electr. Energ. Syst. (2015), Published online in Wiley Online Library ([wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)). DOI: 10.1002/etep.2053.

## ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Филатов Д.В.**

ООО "АльтЭнерго, и.о. генерального директора

В Белгородской области имеется высокоразвитый агропромышленный комплекс, который производит до 15 млн. тонн отходов в год. Также в области уделяется большое внимание инновационным и энергосберегающим технологиям. Поэтому в 2009 году руководством области было принято решение создать инновационные компании, осуществляющих свою деятельность в сфере ВИЭ

Компания «АльтЭнерго» создана 27 ноября 2009 года, специализируется на реализации проектов в сфере альтернативной энергетики.

- реализовала и эксплуатирует 3 объекта в сфере ВИЭ: биогазовая станция (3,6 МВт), солнечная электростанция (100 кВт), ветряная электростанция (100 кВт);

- занимается апробацией, внедрением и популяризацией технологий генерации энергии из возобновляемых источников энергии.

Белгородский институт альтернативной энергетики создан 27 января 2012 года по поручению губернатора области Евгения Савченко. Специализируется на изучении, развитии и применении технологий генерации энергии на основе ВИЭ.

- разработал «Концепцию развития энергосбережения на основе использования возобновляемых источников энергии на территории Белгородской области»;

- занимается изучением технологий получения тепловой и электрической энергии из возобновляемых источников энергии;

- занимается адаптацией мировых технологий в области альтернативной энергетики к климатическим и техническим условиям регионов.

1 октября 2010 года введена в эксплуатацию солнечная электростанция, общей мощностью 100 кВт. Виды панелей – кристаллические и аморфные. 17 марта 2014 года – электростанция квалифицирована как объект, генерирующий электроэнергию на основе ВИЭ.

1 августа 2010 года введены в эксплуатацию 5 ветрогенераторов, общей мощностью 100 кВт, каждый 25 кВт. 17 марта 2014 года – электростанция квалифицирована как объект, генерирующий электроэнергию на основе ВИЭ.

В июне 2012 года была введена в эксплуатацию биогазовая станция «Лучки» в Прохоровском районе. Мощность – 2,4 МВт. Объем переработки отходов 95 тыс. тонн. – животноводческие отходы, отходы мясопереработки и сахарного производства. Это позволяет производить до 90 тыс. органических удобрений. 11 октября 2012 года - квалифицирована как объект, генерирующий электроэнергию на основе ВИЭ, мощность 2,4 МВт.

После установки дополнительного двигателя ГПА мощностью 1,2 МВт - 16 июня 2015 года - квалифицирована как объект, генерирующий электроэнергию на основе ВИЭ, мощность 3,6 МВт. За весь период эксплуатации переработали 225 тыс. тонн отходов, произвели 203 тыс. тонн органических удобрений, 59,4 млн. кВтч электрической энергии, 51,2 тыс. Гкал тепловой энергии.

В рамках долгосрочной целевой программы «Внедрение биологической системы земледелия на территории Белгородской области на 2011 – 2018 годы», утвержденной Постановлением Правительства Белгородской области № 324-пп от 29.08.2011 в Прохоровском районе в августе 2012 года создана агролаборатория для изучения влияния органических удобрений на будущую урожайность полей.

Площадь 54 Га (27 Га под кукурузу, 27 Га под сою)

Биоудобрения (эффлюент) фактически в 2 раза превосходят навозные стоки по содержанию действующего вещества.

В тонне продукта содержится:

- 45 кг органического вещества;
- 6,4 кг азота;
- 1,8 кг фосфора;
- 1,5 кг калия;

В июне 2013 года на базе Белгородского института альтернативной энергетики создана Лабораторная биогазовая установка, позволяющая в лабораторных условиях производить загрузку сырья и отслеживать объем и качество производимого биогаза, а также анализировать влияние каждого компонента на процесс анаэробного сбраживания.

Результаты исследований, проведенных лабораторией, помогли подобрать оптимальную рецептуру загрузки БГС «Лучки», что позволило увеличить мощность до 3,6 МВт без строительства дополнительных резервуаров сбраживания

В 2012 году разработана «Концепция развития энергосбережения на основе использования возобновляемых источников энергии на территории Белгородской области», которая учитывает, что развитый агропромышленный комплекс, производящий значительное количество органических отходов с возможностью их использования в качестве сырья для производства биогаза как топлива для когенерационных теплоэлектростанций, позволяет создать генерирующие мощности 223,3 МВт на основе ВИЭ.

Введение мощностей позволит обеспечить нужды 75 % населения региона, а также решить проблему накопления отходов АПК. Кроме того, развитие «зеленой» энергетики позволит создать ряд рабочих мест в машиностроении, сельском хозяйстве, строительной отрасли.

При строительстве и эксплуатации действующих биогазовых станций выявлены следующие проблемы:

- Использование 100 % импортного оборудования (продолжительные сроки поставки, высокая цена);
- Подготовка и обучение персонала за рубежом;
- Отсутствие компаний, занимающихся биологическим и технологическим сопровождением;
- Отсутствие центров обслуживания оборудования БГС и БТЭЦ;
- Отсутствие складов запасных частей;
- Длительность процедур устранения неполадок;
- Отсутствие доступа к исходным файлам программного обеспечения автоматической работы БГС и БТЭЦ.

Опыт эксплуатации БГС показал, что уже сегодня можно использовать до 50 % оборудования и работ, а при поддержке отечественных производителей объемами заказов - до 75 % к 2020 году.

Для реализации пилотных проектов до принятия федеральных нормативных документов, регламентирующих функционирование ВИЭ, в Белгородской области были приняты следующие меры поддержки:

Установление зеленого тарифа по действующим методикам.

- Льгота по налогу на имущество.

Ставка налога на имущество устанавливается на период окупаемости инвестиционных проектов, но не более чем на 5 лет, в размере от 0,1 - 0,5 %;

- Льгота по налогу на прибыль.

Снижение ставки налога на прибыль на 4,5 процентных пункта в части сумм, зачисляемых в областной бюджет.

- Субсидирование части процентной ставки по банковским кредитам за счет областного бюджета. ( в 2013 – 2015 годах в размере 2 млн. рублей ежегодно)

Объем поддержки за 2011-2015 гг. составил 113 772 тыс. рублей.

В 2015 году сформирована нормативно-правовая база, определяющая меры поддержки для проектов ВИЭ на федеральном уровне:

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 января 2015 г. №47 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электрической энергии».
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2015 г. № 1472-р «О внесении изменений в Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года, утвержденные распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р, в части установления расчетных величин затрат на строительство, обслуживание и выработку электрической энергии генерирующими объектами, функционирующими на основе использования отходов производства и потребления».

#### ЧТО В ИТОГЕ?

1. Действует ограничение в отношении ежегодного предельного покупного объема в размере 5% от величины планируемых годовых потерь по региону.
2. Невозможность получения дополнительной поддержки в виде субсидий в рамках государственных программ.
3. Устанавливается тариф на 15 лет с нормой доходности не более 14 %, что неприемлемо для вложений инвестиций и привлечения банковского финансирования.
4. Утвержденные величины затрат на строительство, обслуживание и выработку электрической энергии генерирующими объектами на основе ВИЭ не соответствуют текущей экономической ситуации (рост инфляции и курсов валют).
5. Не утверждена методика установления цен (тарифов) на электрическую энергию на розничных рынках, произведенную квалифицированными генерирующими объектами, функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии.

#### ДЛЯ РАЗВИТИЯ ВИЭ НЕОБХОДИМО

- Увеличить допустимый объем покупки выработанной электроэнергии на основе ВИЭ сетевыми компаниями в целях компенсации потерь.
- Пересмотреть предельные уровни капитальных и эксплуатационных затрат с учетом курса доллара и евро.
- Разработать систему банковского финансирования, предусматривающую увеличение срока кредитования до 15 лет и применение льготных налоговых ставок.
- Предоставление субсидий на поддержку экономически значимых региональных программ и субсидирование процентной ставки, возможность их использования при установленных тарифах.
- Стимулирование предприятий к вторичной переработке отходов и применению органических удобрений.



## СОЛНЕЧНЫЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Фрид С.Е.<sup>1</sup>, Арсатов А.В.<sup>2</sup>, Ощепков М.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОИВТ РАН, Москва, РФ, <sup>2</sup>ООО «Политермо», Москва, РФ

Рассмотрены результаты анализа технических решений, направленных на решение задачи существенного снижения стоимости солнечных водонагревательных установок (СВУ) путём использования в конструкции установки полимерных композиционных материалов и объединения в одном устройстве – установке аккумуляционного типа – солнечного коллектора и аккумулятора тепла. Показана возможность создания СВУ всего из трёх деталей и замены сварки, пайки, механообработки и сборки сложной конструкции формованием крупных деталей из полимерного композита и их склейкой. Разработана схема экспериментального образца – прототипа СВУ с себестоимостью 70-90 долларов за 1 м<sup>2</sup> приёмной поверхности при объёме производства не менее 5000 шт. в год.<sup>5</sup>

Одной из наиболее востребованных технологий использования солнечной энергии является ее преобразование в низкопотенциальное тепло нагретой воды и других теплоносителей с помощью солнечных нагревателей. К настоящему времени суммарная тепловая мощность действующих установок солнечного теплоснабжения в мире достигла 406 ГВт (580 млн м<sup>2</sup> солнечных коллекторов) [1]. Поскольку солнечное излучение характеризуется относительно низкой плотностью энергетического потока (до 1000 Вт/м<sup>2</sup> в ясный день) и его непостоянством во времени, требуются значительные затраты на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумуляцию и преобразование энергии.

В последние годы на европейском гелиотехническом рынке объём производства СВУ расти перестал, наблюдается даже некоторое его сокращение [2, 3]. Темп роста мирового рынка солнечных коллекторов с 2010 г. упал вдвое [1]. Российский рынок солнечных коллекторов и СВУ находится на одном из последних мест в мире (суммарная площадь солнечных коллекторов не превышает 20 тыс. м<sup>2</sup>). Всё это требует поиска путей существенного снижения стоимости солнечных коллекторов и установок, создания и подготовки к серийному производству солнечных водонагревателей, обладающих приемлемой стоимостью с сохранением высоких теплотехнических характеристик.

Ключевым устройством СВУ является солнечный коллектор. Наиболее простая и традиционная его разновидность – плоский солнечный коллектор. Уже к началу 2000-х годов технологии изготовления таких коллекторов из традиционных материалов были достаточно отработаны, резервы снижения их стоимости были практически исчерпаны на уровне 150-200 долларов США за 1 м<sup>2</sup>. Бурное развитие (преимущественно в Китае) производства трубчатых вакуумированных коллекторов, доля которых среди всех установленных в мире составляет сегодня более 70% [1], проблему не решает. Их стоимость, как правило, превышает стоимость плоских коллекторов, а выигрыша в количестве производимого тепла при характерных для горячего водоснабжения относительно низких температурах (40–45°С) они по сравнению с плоскими (при одинаковой габаритной площади) не дают [4].

Одним из путей снижения стоимости солнечных коллекторов и СВУ в целом является замена в них традиционных материалов на полимерные материалы и композиты с соответствующим изменением конструкции установок, учитывающим специфику этих материалов [5-7]. Ещё одна из возможностей снижения стоимости СВУ – совмещение функций солнечного коллектора и бака-аккумулятора в одном устройстве – установке

---

<sup>5</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (соглашение о предоставлении субсидии № 14.607.21.0036, уникальный идентификатор RFMEFI57714X0068)

аккумуляционного типа. Именно такими были первые серийные СВУ [8], однако после изобретения в 1908 г. термосифонной установки [9] они были вытеснены термосифонными практически полностью. Сегодня в мире СВУ аккумуляционного типа выпускают небольшими партиями всего около полутора десятков производителей [8], более популярны они в среде «самодельщиков» [10]. При изготовлении из традиционных материалов такие установки низкотехнологичны и, соответственно, обладают высокой себестоимостью при потенциально более простой конструкции, чем у СВУ с отдельными солнечным коллектором и баком-аккумулятором. Использование полимерных и композиционных материалов позволяет упростить конструкцию установки и снизить её стоимость путём замены сварки, пайки, механообработки и сборки сложной конструкции формованием крупных деталей из полимерного композита и их склейкой. Можно также отказаться от корпуса СВУ как отдельного элемента, совместив его с наружными стенками бака-аккумулятора. В результате установка состоит всего из трёх деталей (остекления, поглощающей панели и совмещённого с тыльной стенкой бака СВУ несущего корпуса, которые склеиваются при сборке, и тыльной теплоизоляции из вспениваемого материала. Прототип установки [11] показал свою работоспособность в натуральных условиях, несмотря на то, что технологические решения, примененные при его изготовлении (ручная формовка корпуса и поглощающей панели) пригодны лишь для мелкосерийного производства, а термовакуумформование остекления из поликарбоната гарантированного результата не давало. Тыльная теплоизоляция, составляющая единое целое с корпусом, выполняется из вспенивающегося материала, причём в качестве формы используется сама корпусная оболочка. Если для изготовления теплоизоляции применяется материал с закрытыми порами, задняя стенка корпуса не требуется. При склейке поглощающей панели и корпуса образуется разделенный на несколько секций бак СВУ, заполненный нагреваемой водой.

Отказ в конструкции от отдельного несущего корпуса СВУ и изготовление установки всего из трёх основных деталей позволяет снизить себестоимость продукции благодаря повышению технологичности производства и сокращению числа операций.

Поглощающая панель, в принципе, может быть изготовлена из серийно выпускаемой фольги с уже нанесенным поглощающим покрытием [12], но тогда панель получается плоской и обладает низкой жёсткостью, что приводит к возникновению высоких напряжений по периметру клеевых швов и к разрушению клеевых соединений. Более надежным решением является использование гофрированной поглощающей панели с высотой выпуклостей 20–25 мм. Поскольку фольгу без повреждения покрытия нанести на неплоскую поглощающую панель сложно, наиболее приемлемым покрытием для композитной панели оказываются селективные краски. Несмотря на то, что краски обладают худшими характеристиками, чем покрытия на фольге, они более дешёвы.

Принято также считать, что эффективность СВУ аккумуляционного типа ниже, чем у установок с отдельными солнечным коллектором и баком-аккумулятором, поскольку у аккумуляционных установок практически невозможно исключить ночные теплопотери через лицевую поверхность. Вместе с тем, расчеты показали [13], что в летний период доля покрытия нагрузки горячего водоснабжения для СВУ аккумуляционного типа на большей части территории России может превышать долю покрытия для установки с отдельными солнечным коллектором и баком-аккумулятором.

Создание остеклённых плоских солнечных коллекторов из полимерных композитов сопряжено с поиском термостойких материалов, способных работать при температурах до 180-200°C, которые могут достигаться при работе установки в аварийных режимах (без воды). Такими материалами являются стеклопластики и углепластики на основе реактопластов горячего отверждения. Технологией, обеспечивающей наилучшие технико-экономические показатели при объеме производства 5-20 тыс. изделий в год,

является горячее прессование препрега SMC – композиционного материала, который благодаря высокому содержанию армирующего стекловолокна и наполнителей, обладает необходимой температурной стойкостью. Такая технология позволяет получить за одну операцию корпус с интегрированными крепёжными узлами и подкрепляющими элементами, однако её реализация требует наличия специализированного пресса с контролем параллельности плит, обеспечивающего давление 8-10 МПа при температуре 180-200°C и сложной и дорогостоящей пресс-формы. Амортизация оборудования вносит существенный вклад в себестоимость СВУ, поэтому производство методом горячего прессования менее 5000 изделий в год экономически не целесообразно. Схема разработанного экспериментального образца СВУ из композиционных материалов приведена на рисунке. Оценки показывают, что срок службы корпуса, поглощающей панели и клеевых соединений составит не менее 7 лет, а себестоимость – 70-90 долларов за 1 м<sup>2</sup> приёмной поверхности при объёме производства не менее 5 тыс. шт. в год.

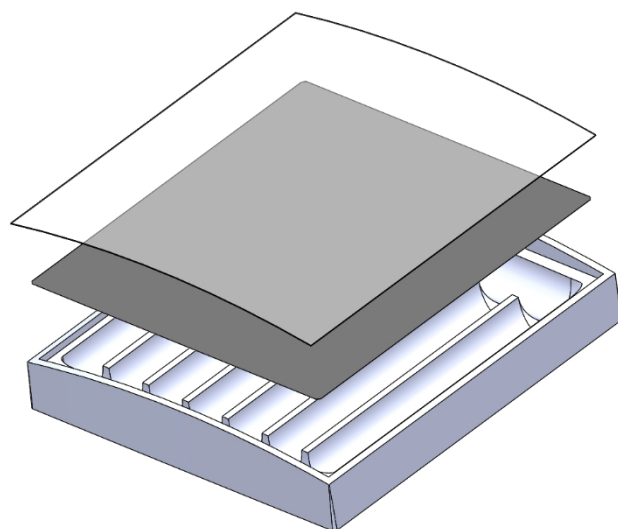


Схема экспериментального образца СВУ аккумуляционного типа из композиционных материалов

### Список литературы

1. *Mauthner F., Weiss W., Spörk-Dür M.* Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply 2013. 2015 ed. / <http://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>
2. *Meyer J.P.* Market overview collectors // Sun & Wind Energy. 2013. No. 7-8. P. 34-45.
3. *Meyer J.P.* Market overview collectors // Sun & Wind Energy. 2014. No. 7. P. 26-39.
4. Detailed comparison of the performance of flat-plate and vacuum tube solar collectors for domestic hot water heating / *Yohanis Y.G., Popel O.S., Frid S.E., Kolomiets Yu.G.* // International Journal of Sustainable Energy. 2012. iFirst. P. 1-18.
5. *Григорьева Е.Н., Попель О.С., Щеглов В.Н.* О возможности использования полимеров в конструкциях солнечных водонагревательных установок // Труды Международной конференции «Возобновляемая энергетика 2003. Состояние, проблемы, перспективы». Санкт-Петербург. 4-6 ноября 2003 г.
6. Опыт разработки солнечных коллекторов из теплостойких пластмасс / *Попель О.С., Прокопченко И.В., Мордынский А.В., Фрид С.Е., Рыжиков И. А., Ильин А.С., Лапин Р.С.* // Теплоэнергетика. 2008. № 12 С. 6-8.
7. *Polymeric Materials for Solar Thermal Applications / Kohl M.(ed.), Meir M.G. (ed.), Papillon P. (ed.), Wallner G.M. (ed.), Saile S. (ed.).* Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2012.

- 
8. Фрид С.Е., Мордынский А.В., Арсатов А.В. Солнечные водонагреватели аккумуляционного типа // Теплоэнергетика. 2012. №11. С. 1-8.
  9. Bailey W.J. Solar Heater // US patent No. 966070. 1910.
  10. Build It Solar. The Renewable Energy site for Do-It-Yourselfers / <http://www.builditsolar.com>.
  11. Результаты разработки солнечной водонагревательной установки аккумуляционного типа из полимерных и композиционных материалов / Попель О.С., Фрид С.Е., Мордынский А.В., Сулейманов М.Ж., Арсатов А.В., Ощепков М.Ю. // Теплоэнергетика. 2013. № 4. С. 40-42.
  12. Berner J. Solar thermal absorber coater market // Sun & Wind Energy. 2012. No. 9. P. 48-51.
  13. Эффективность и перспективы использования различных систем солнечного нагрева воды в климатических условиях Российской Федерации / Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Сушникова Е.В, Ямудер В.Ф. // Теплоэнергетика. 2011 №11. С. 26-31.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА И  
ТИПОРАЗМЕРА ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ  
МЕСТНЫХ ВЕТРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**  
**METHODICAL APPROACHES TO OPTIMIZATION OF COMPOSITION AND  
SIZE OF THE WIND-DIEZEL POWER COMPLEX TAKING INTO ACCOUNT  
LOCAL WINDS AND CLIMATE CONDITIONS**

**Харченко В.В.<sup>1</sup>, Николаев В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ВИЭСХ

<sup>2</sup>НИЦ "АТМОГРАФ"

**Kharchenko V.V.<sup>1</sup>, Nikolaev V.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Russian Institute of agriculture electrification

<sup>2</sup>Research & Information Center "ATMOGRAPH"

В докладе изложены результаты разработки и апробации методических основ и численно реализованной математической модели для оптимального выбора комплектации и типоразмеров дизельгенераторов и ветроэлектрических установок в составе автономных ветродизельных энергокомплексов (ВДК) для покрытия заданных графиков нагрузок.

The report presents the results of the development and testing of methodical bases and numerical mathematical model for the optimal choice of packaging and sizes of diesel and wind power plants in the autonomous wind-diesel power complexes (WDPC) to cover defined schedules workloads.

**Ключевые слова:** график нагрузки, дизельная электростанция, ветроэлектрическая установка, ветродизельный энергокомплекс, автономное энергоснабжение

**Key words:** load curve, diesel power plant, wind turbine, wind-diesel power complex, autonomous power supply

Актуальность работы связана с большими перспективами комплектования дизельных электростанций (ДЭС) - основы электроснабжения изолированных потребителей России - ветроэлектрическими установками (ВЭУ) и аккумулирующими энергию устройствами (АКУ) с целью сбережения дорогостоящего дизельного топлива и повышения надежности и эффективности энергоснабжения потребителей малой и средней мощности (до 5 - 10 МВт) в удаленных от централизованных энергосетей территорий (более 65 % площади России).

Использование ВЭС в составе ВДК в северных и дальневосточных регионах России перспективно в связи с их богатыми ветровыми ресурсами, иллюстрируемой для примера на рис. 1 картой распределения по территории России среднегодовых значений коэффициентов использования номинальной мощности ( $K_{иум}$ ) ВЭУ V 44 номинальной мощности 600 кВт с высотой башни 50 м производства датской компании VESTAS, построенная авторами по методике работы [1].

Согласно карте на рис. 1, характерные для современных ВЭУ значения  $K_{иум}$  в большинстве заполярных и прибрежных дальневосточных регионов превышают значения 25 %, обеспечивая себестоимость выработки ВЭС менее 5 руб./кВт·ч даже при высоких удельных капитальных затратах на ВЭС (до 2500 долларов за кВт и более). При типичной для российских "северов" топливной составляющей выработки электроэнергии на ДЭС от 7 – 8 руб./кВт·ч и более, использование ВЭУ в составе ВДК, как это показано в ряде работ [2 - 5], экономически целесообразно. При ежегодном объеме "северного завоза" дизельного топлива для ДЭС порядка 2 млн т стоимостью более 80 млрд рублей экономия топлива при использовании ВДК с высоким уровнем замещения мощности ДГУ (до 100 %) и при 25 - 30 %-ном замещении выработки ДГУ может достигать 500 - 600 млн тонн и 20 - 30 млрд рублей.

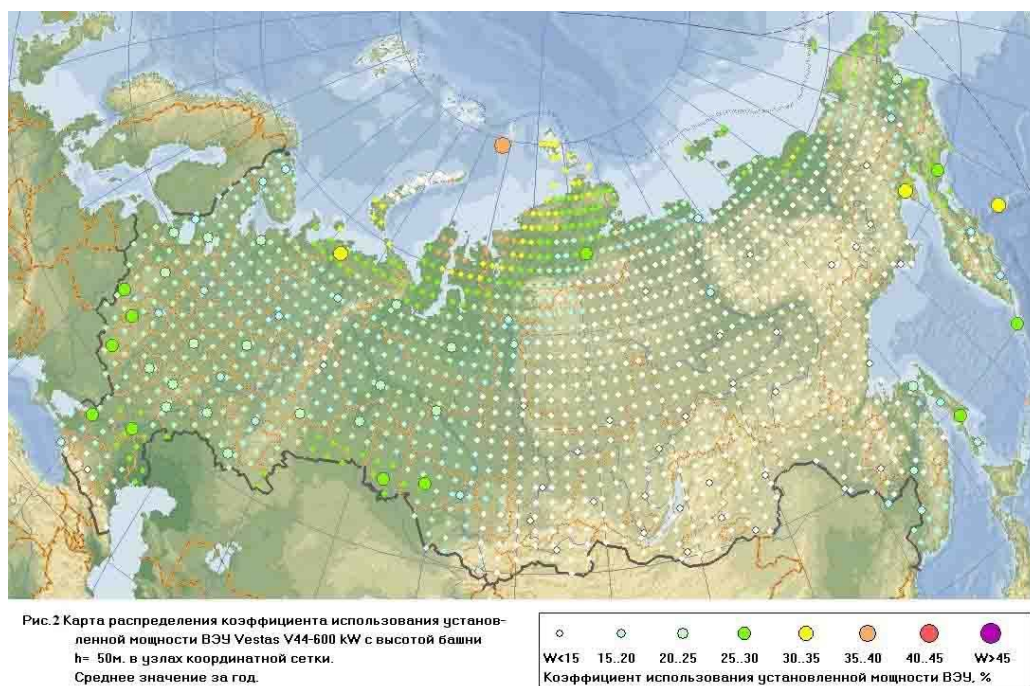


Рис. 1. Распределение по территории России Киум (%) ВЭУ V 44 600 кВт

Эффективность использования ВДК во многом определяется выбором его состава и типоразмером комплектующих его составляющих (ДГУ, ВЭУ, аккумуляторов энергии). Количество вариантов при определении оптимального состава ВДК даже опытными проектировщиками при наличии многих факторов составляет несколько тысяч, что при решении этой задачи необходимость привлечения численных методик анализа.

Выбор оптимальных вариантов комплектации ветродизельных энергокомплексов (ВДК) проводится в данной работе с учетом суточного хода ветра; вероятности ветровых штилей различной продолжительности; межгодовой изменчивости скоростей ветра; специфических высотных профилей скорости и направления ветра, определяемых по данным многолетних метеорологических измерений и (при наличии) краткосрочных (1 - 2-х годовых) измерений ветра на метеорологических мачтах.

Методика предоставляет возможность последовательного расчета энергетических показателей ВЭС на базе нескольких типов ВЭС с известными техническими и рабочими характеристиками и их сравнительного анализа с целью выбора оптимальной базовой ВЭУ.

В качестве критериев оптимальности при выборе состава ВДК в данной методике рассматриваются минимальный расход дизельного топлива и максимум его замещения, минимум себестоимости электроэнергии, вырабатываемой ВДК, минимальный период окупаемости и прочие экономические показатели проектов ВДК.

В разрабатываемой численной методике графики и табличные значения потребления и выработки энергии ВДК с учетом выработки энергии ВЭУ могут задаваться математическими моделями либо (при наличии) реальными распределениями изменчивости годового, сезонного, суточного, часового и внутри часового (10-минутного) масштаба.

Для обеспечения энергосистемы необходимой мощностью предусмотрено комплектование ВДК любым заданным набором дизельных генераторов (ДГУ) различных типоразмеров. Суммарная номинальная мощность ВДК выбирается с

задаваемым запасом (25 - 30 %-ным) от максимальной нагрузки, приходящейся обычно на зимний период.

Зависимость удельного (на 1кВт·ч) расхода дизельного топлива (ДТ) в зависимости от режима работы ДГУ может задаваться либо математической моделью либо (при наличии) фактической нагрузочной характеристикой.

Наиболее проблемными и важными факторами при оптимизации состава ВДК, ранее выявленными авторами [6 - 8] и анализируемыми разработанной методикой являются:

- наличие суточного и часового хода ветровых характеристик, зависящего от высоты над поверхностью;

- годовой и сезонный ход и высотное распределение вероятностей ветровых штилей различной продолжительности;

- наличие короткопериодных (порядка 10 минут) колебаний скорости ветра и, соответственно, мощности ВЭС, приводящих к частой режима работы ДГУ и частым их отключениям и включениям, чреватым потерям ресурса и преждевременному их износу;

- возможность различного временного осреднения (среднего годового, сезонного, месячного) при моделировании функций распределения скоростей и направлений ветра или (при наличии) использовании эмпирических повторяемостей характеристик ветра;

- недостоверность корреляции значений скоростей ветра, определяемых по многолетним метеорологическим данным и данным краткосрочных 1 - 2-х годовых измерений, полученным в разные периоды наблюдений;

- региональная и локальная специфика высотных распределений (профилей) скорости и направления ветра;

- наличие значительных в различные сезоны и в различных районах суточных и сезонных колебаний плотности воздуха;

- наличие и использование для решения задачи оптимизации состава ВДК нескольких различающихся по точности и детальности методик расчета ветровых характеристик, из которых наиболее известными и распространенными в России являются авторитетная в мире методика WASP разработки датского института RISO и отечественная методика ФЛЮГЕР XXI разработки ЦАГИ - НИЦ "АТМОГРАФ" [9].

При многих достоинствах активно продвигаемой в России (используемой также и авторами доклада) ведущей западной методики WASP выявлены также и некоторые слабые ее места: сильная чувствительность к заданию рельефа и шероховатости поверхности, использование упрощенных моделей высотных профилей скорости и направления ветра, пр.

Как показали оценки, учет этих факторов или отсутствие такового может существенно влиять на точность определения ветроэнергетического потенциала, на выбор места для установки ВЭУ, на выбор типоразмера и состава и соотношения мощностей энергоисточников в составе ВДК, и существенно повышать достоверность итогового эффекта или исказить его. Поэтому их учет необходим и он был обеспечен при реализации разработанной методики.

Разработанная авторами методика численно реализована в программный комплекс "ВОСТОК" (© НИЦ "АТМОГРАФ"), совмещенный с базой многолетних метеорологических и аэрологических данных "ФЛЮГЕР" (© НИЦ "АТМОГРАФ"), позволяющей моделировать ветро-климатические характеристики в любой точке территории России с заданными координатами с учетом всех упомянутых выше факторов.

Программный комплекс "ВОСТОК" апробирован при обосновании инвестиций и разработке ТЭО ряда проектов ВДК, например ВДК в поселке Новиково (Сахалинской области), городе Тикси (Саха-Якутия).

На рис. 2, 3 и 4 приведены в графическом виде примеры результатов расчетов для г. Тикси (Саха-Якутия) замещения дизельного топлива на ДЭС, себестоимости



электроэнергии (ЭлЭн) ВДК и периодов окупаемости, полученных с использованием программного комплекса "ВОСТОК" при разных соотношениях номинальных мощностей ДЭС и ВЭС на базе ВЭУ V 29 номинальной мощности 225 кВт производства датской компании VESTAS.

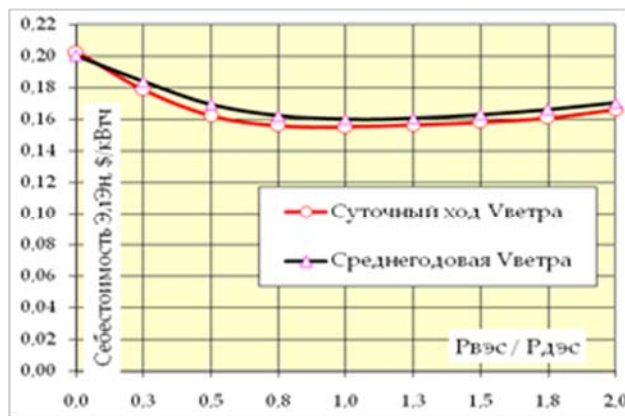


Рис. 2. Зависимость % замещение дизельного топлива на ДЭС от соотношения номинальных мощностей ДЭС и ВЭС

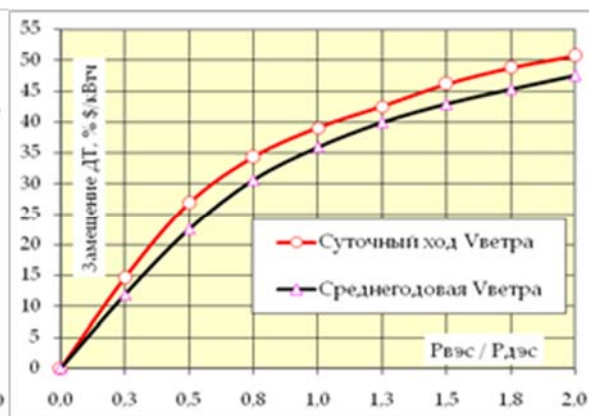


Рис. 2. Зависимость себестоимости ЭлЭн ВДК ДЭС от соотношения номинальных мощностей ДЭС и ВЭС

Расчеты проведены с шагом 0,25 по соотношению номинальных мощностей ДЭС и ВЭС для двух вариантов расчетов: 1) по среднегодовым значениям скорости ветра и функции распределения ветра по скоростям и 2) расчетов с учетом годового и суточного хода скорости ветра и среднемесячным значениям функции распределения ветра по скоростям.

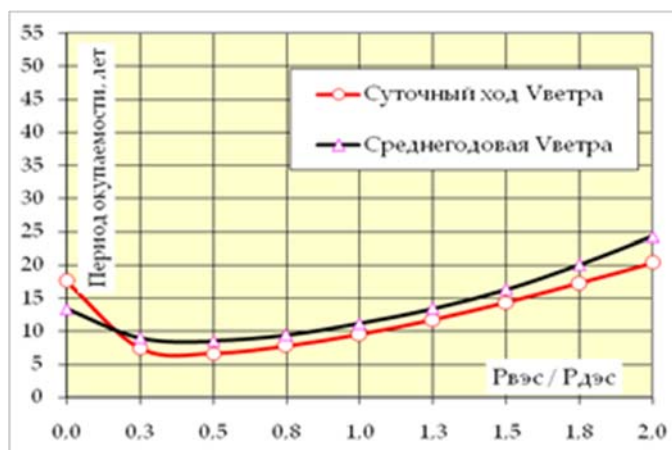


Рис. 3. Зависимость периода окупаемости (лет) ВДК ДЭС от соотношения номинальных мощностей ДЭС и ВЭС

Согласно полученным и представленным на графиках результатам доля замещения дизельного топлива на ДЭС растет с ростом соотношения номинальных мощностей ДЭС и ВЭС. Себестоимости электроэнергии ВДК имеет минимум при соотношении мощностей ДЭС и ВЭС от 0,8 до 1,2. График периода окупаемости ВДК также имеет минимум, но, в отличие от графика себестоимости, минимум реализуется в диапазоне соотношения мощностей ДЭС и ВЭС от 0,3 до 0,6.

При этом отмечаем, что учет суточного хода характеристик ветра заметно корректирует рассчитанные показатели ВДК.

Оптимизация числа ДГУ в составе ДЭС при оптимальном подборе их мощности и большой вариативности режимов работы выбранных ДГУ позволяет снизить расход



дизельного топлива до 5 % и более в зависимости от графиков нагрузки по сравнению с комплектацией ДЭС одним ДГУ.

Показатели ВДК, полученные для других районов с иными ветро-климатическими характеристиками и при других графиках нагрузки, как показывает опыт использования представленной в работе численной методики, могут существенно различаться.

Как показывают методические расчеты, комплектование ВДК системой аккумулирования электроэнергии может приводить к существенной экономии топлива.

Авторы продолжают развитие и повышение эффективности методики и ее численной реализации в направлениях более детального учета технических и рабочих характеристик ДГУ и систем аккумулирования энергии и возможных вариантов графиков нагрузки, а также включением в модель дополнительных вариантов комплектования локальных энергетических микросетей на базе ВДК возобновляемыми энергоисточниками других типов (фотоэлектрическими и биоэнергетическими установками, малыми ГЭС и пр.).

Авторы будут благодарны за полученные по результатам доклада замечания и предложения по совершенствованию и дальнейшему развитию представленной на обсуждение методики.

### Список литературы.

1. Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития и использования ветроэнергетики в России. "Атмограф", 2011. 502 с.
2. Николаев В.В., Харченко В.В. К вопросу о перспективах и проблемах развития в России энергетических микросетей на основе ветродизельных комплексов. Труды международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований». 2015 г. с. 37 – 46.
3. Грибков С.В. Ветро-дизельные энергетические комплексы для районов, удаленных от централизованного энергоснабжения. Вести в электроэнергетике. Информационно-аналитический журнал, № 4, 2008. С. 13 - 19.
4. Елистратов В.В., Конищев М.А. Ветро-дизельные электростанции для автономного энергоснабжения северных территорий России. Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология", № 11 (151), 2014, - с. 62 - 70.
5. Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Чернов Д.А. Факторы эффективности ветродизельного комплекса. Сборник трудов XII-ой ежегодной международной научно-практической конференции "Возобновляемая и малая энергетика - 2015". М. Энерби-Дизайн, 2015. - с. 58 - 65.
6. Николаев В.В. Исследование микромасштабных флуктуаций ветра применительно к созданию ветродизельных комплексов. Труды 5-ой международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве». М., ВИЭСХ, 2014, - с. 129 - 135
7. Николаев В. В., Харченко В. В. Исследование нестабильности работы дизельных генераторов в ветродизельных комплексах с учетом микромасштабных флуктуаций ветра. Труды XII Международной ежегодной конференции "Возобновляемая и малая энергетика - 2015". М. Энерби-Дизайн, 2015. - с. 206 - 211.
8. Николаев В. В., Харченко В. В. К вопросу оптимизации состава и типоразмера дизельных генераторов в составе малых локальных микросетей. Сборник трудов XII Международной ежегодной конференции "Возобновляемая и малая энергетика - 2015". М. Энерби-Дизайн, 2015. сс. 199 - 206.
9. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов РФ и методические основы их определения. "Атмограф", М., 2008, 590 с.

## ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕТЕВЫХ И АВТОНОМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**Хафизов А.Д.**

ООО «Авелар Солар Технолоджи», Москва

ООО «Авелар Солар Технолоджи» (г. Москва) – дочерняя организация компании «Хевел» (совместное предприятие ГК «Ренова» и ОАО «Роснано»). «Авелар Солар Технолоджи» предоставляет услуги по строительству солнечных электростанций «под ключ» любой мощности, как автономных, так и сетевых.

ООО «Авелар Солар Технолоджи» является членом НП «Совет рынка» и участвует в конкурсных отборах инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии, проводимых в соответствии с постановлением Правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности».

По итогам конкурсных отборов проектов ВИЭ, прошедших в 2013 и 2014 годах, ООО «Авелар Солар Технолоджи» приступило к реализации проектов строительства солнечных электростанций (СЭС) на территории в семи регионах России. Общая мощность генерирующих объектов составляет 254 МВт.

Вся вырабатываемая электроэнергия будет продаваться на оптовом рынке электроэнергии и мощности. В дневное время, во время работы СЭС, когда сеть максимально загружена, будет повышаться надежность энергосистемы регионов, понизятся потери в сетях. Выработка электроэнергии на солнечных электростанциях обеспечит снижение выбросов в атмосферу парниковых газов.

Реализация инвестиционных проектов будет осуществляться с максимальным привлечением местных подрядчиков, что позволит создать в регионах новые квалифицированные рабочие места и обеспечить загрузку производственных мощностей, готовых участвовать в процессе строительства солнечных электростанций.

В настоящее время ООО «Авелар Солар Технолоджи» ввела в эксплуатацию Кош-Агачскую СЭС мощностью 5 МВт в Республике Алтай, Переволоцкую СЭС мощностью 5 МВт в Оренбургской области. До конца 2015 года планируется окончание строительства еще трех СЭС общей мощностью 20 МВт на территории Республики Алтай и Республики Башкортостан.

Кроме этого, ООО «Авелар Солар Технолоджи» реализует проекты по строительству СЭС для предприятий и отдельных территорий. ООО «Хевел» и «Авелар Солар Технолоджи» реализовали ряд проектов солнечных электростанций в целях энергосбережения различного типа:

- на кровле ж/д вокзала «Олимпийский парк» г. Сочи, мощностью 127,5 кВт;
- на кровле ж/д вокзала в г. Анапа, мощностью 70 кВт;
- наземного исполнения СЭС на территории завода «Хевел» (Новочебоксарск, Чувашия) мощностью 44 кВт;
- фасадного типа СЭС на здании «Апарт-отель» в г. Сочи мощностью 31 кВт и на здании Гиперкуб (Сколково, г.Москва) мощностью 11 кВт и др.

Для снижения затрат на содержание дизель-электрических станций в удаленных поселках, изолированных от единой энергетической системы, ООО «Авелар Солар Технолоджи» разрабатывает проекты автономных гибридных (дизель-солнечных) энергоустановок – АГЭУ. Примером успешной реализации подобного проекта является первая в РФ гибридная энергоустановка мощностью 100 кВт, построенная в Республике Алтай в с. Яйлю на территории Алтайского государственного природного заповедника. За два года эксплуатации обеспечена экономия дизельного топлива на 40%.

Финансово-организационная схема реализации подобных проектов может реализоваться через энергосервисные договоры или в рамках механизмов, прописанных в постановлении Правительства РФ от 23 января 2015 г. № 47 «О внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электрической энергии».

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ THE USAGE OF HEAT PUMPS TECHNOLOGY IN THE URBAN ENVIRONMENT

Цейзер Г.М.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), Челябинск, Российская Федерация

Tseyzer G.M.

Federal State State-Financed Educational Institution of High Professional Education “South Ural State University” (national research university), Chelyabinsk, Russian Federation

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, тепловые насосы, системы отопления, утилизация тепла.

**Keywords:** alternative energy, heat pumps, heating systems, heat recovery.

Энергетика является одним из ключевых понятий современного мира, так как она тесно взаимосвязана с экономическими, политическими, экологическими и многими другими глобальными аспектами. Именно поэтому её состояние так важно и актуально в наши дни.

Возрастающая потребность в энергетических ресурсах на фоне непредсказуемости экологических последствий дальнейшей разработки традиционных источников энергии создаёт проблемы, как в самой энергетике, так и ситуации в мире в целом. Важнейшим способом решения этой проблемы является использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Переход на использование нетрадиционных видов энергии является одной из главных политических задач многих стран, что подтверждает важность этой проблемы.

В нашей стране, где основной упор ставится на добычу, использование и экспорт ископаемого топлива, вопрос использования нетрадиционных источников энергии стоит не столь остро, по сравнению со многими другими странами. Развиваемая десятилетиями традиционная энергетическая инфраструктура, основанная на использовании крупных энергетических станций, создаёт неподъёмную конкуренцию, как правило, более маломощным и низкопотенциальным нетрадиционным источникам. Кроме того, проблему внедрения таких источников в отечественную энергетику создают географические и климатические особенности России. Не смотря на это, переход на новые виды энергии является не менее актуальным для нашей страны. Многие виды альтернативных источников энергии имеют существенный потенциал.

Особую важность для отечественной энергетике представляет собой производство тепла. Суровый климат с продолжительными холодными зимами создаёт необходимость обеспечения продолжительных сезонов отопления, что требует значительных затрат топлива, которые превышают почти в 2 раза затраты на электроснабжение. Обеспечение тепла российских потребителей главным образом строится на использование центрального отопления. Это с одной стороны это создаёт зависимость получения тепла потребителем от центрального отопления. С другой, абсурдная нерациональность использование традиционных морально и даже физически изношенных тепловых систем приводит к непомерным тратам, которые можно избежать, используя установки на базе возобновляемых источников. Ещё одной характерной особенностью отечественной теплоэнергетики является использования местного теплоснабжения с использованием газовых или электрических систем отопления. В первом случае это требует газификации, которое также не обходится без дополнительных трат. Поэтому уровень газификации в нашей стране крайне низок в частном секторе. Обогреть электричеством – это не соизмеримые затраты даже для небольших индивидуальных домов, да и старые электросети порой не рассчитаны на такую большую нагрузку [1].

Проблему обеспечения тепловой энергией как частных, так и промышленных потребителей можно решить использованием низкотемпературной энергии с помощью тепловых насосов.

Как известно, теплонасосные установки (ТНУ) являются устройствами, способными передавать тепловую энергию от источника теплоты с низкой температурой к приемнику теплоты с высокой температурой при подводе извне механической энергии для привода компрессора (приводной энергии)[1].

Таким образом, в отличие от традиционных источников теплоснабжения, тепловые насосы являются энергетически и экологически более эффективными. Их использование исключает зависимость от центрального теплоснабжения, а значит и затраты на транспортировку тепла к потребителю. Традиционное получение тепла сжиганием ископаемого топлива является крайне низкоэффективным и имеет пагубные экологические последствия. И как отмечалось выше, местное теплоснабжение экономически и технически не обоснованно. Использование же теплонасосных систем требует материальных вложений только при их установке, само производство тепла несравнимо выгодно и эффективно в сравнении с центральным или местным отоплением. Производство и использование низкпотенциальной энергии с помощью тепловых насосов не сопровождается экологическим ущербом, не загрязняются воздух, вода, почва. Электрическая энергия, требуемая для их работы, в разы меньше энергии, что потребляют любые другие электрические обогревательные системы при той же выработке тепловой энергии. Главным недостатком тепловых насосов является их дороговизна и сложность установки. Однако опыт развитых стран, таких, как США, Япония и страны ЕС, показал, что эти затраты вполне окупаются дешевизной полученного тепла. В настоящее время ТНУ широко применяется за рубежом, от индивидуальных установок небольшой тепловой мощностью, до промышленных, мощностью нескольких десятков мегаватт [2].

Показателен пример использования тепловых насосов в скандинавских странах, в которых климатические показатели сравнимы с суровыми условиями в большей части нашей страны. Даже Норвегия, страна с сильно развитым нефтяным сектором, является прекрасным примером внедрения в собственную энергетику возобновляемых источников, которые уже вырабатывают больше половины от общего количества производимой энергии. Львиную долю этой энергии производят как частные, так и промышленные теплонасосные установки, использование которых обязывает даже закон.

Итак, использование геотермальных теплонасосных систем для России выгодно не только в плане мировых тенденций по внедрению «чистой» энергетики, но и имеет экономические преимущества. Отсутствие явных подвижек по их использованию объясняется нежеланием перекраивать устаревшую энергетическую инфраструктуру наряду с недостаточной информированностью об альтернативных источниках тепла руководителей и технических специалистов

Безусловно, характерная для нашей страны, отдалённость частного сектора от центрального теплоснабжения и крайне низкоэффективное производство тепла с помощью местных систем говорит о том, что, прежде всего установка и использование теплонасосных систем выгодна именно для индивидуального теплоснабжения потребителей, которые не способны подключиться к центральному или газовому теплоснабжению.

Однако, не стоит оставлять без внимания использование тепловых насосов в городских условиях, которое имеет свои особенности.

В городской черте традиционное применение тепловых насосов для отопления зданий с забором тепла из грунта, грунтовых вод или водоема имеет много проблем, которые фактически тормозят развитие их применения в городах России. Отопление с

помощью ТНУ, характерных для города, крупных зданий требует значительных объемов забора тепла от низкопотенциальных источников, что весьма проблематично в плотно застроенной городской среде. Более того, повсеместное применение в крупных городах центрального отопления создаёт неподъемную конкуренцию тепловым насосам. Наконец, дороговизна монтажных и инженерных работ по установке теплового насоса играет значительную роль для применения этой технологии в нашей стране, где экономические особенности затрудняют применение технологий, имеющих высокие сроки окупаемости [3]. Все это ставит Россию в число стран, отстающих по применению тепловых насосов, от большинства развитых стран, хотя, эта технология имеет у нас большие перспективы, поэтому внедрения тепловых насосов в отечественную городскую инфраструктуру требуют иных подходов.

Прежде всего, следует рассмотреть различные пути применения тепловых насосов и способы забора низкопотенциального тепла. Во-первых, это использование отходов теплоты, таких, как сточных вод коммунальных сетей и промышленных предприятий. Использование тепловых насосов в данном направлении позволяет не только утилизировать, вредное для окружающей среды тепло, но и подготовить воду для объектов, где требуется охлаждаемая оборотная вода [4]. Кроме того, тепловые насосы позволяют проводить вентиляцию зданий, осушение и обезвоживание, термическое разделение веществ и другие технологии, требуемые в промышленности [1].

Среди способов применения тепловых насосов в общественных сооружениях наиболее перспективным является их использование для подогрева и регулирования температуры воды в бассейне. Постоянный подогрев болящих масс поступающей воды наряду с большими сбросами отработанной воды в канализацию позволяет применить тепловые насосы в двух направлениях. Тепловые насосы могут не только подогревать воду в бассейне, но и утилизировать тепло сточных вод с дальнейшей выработкой тепла для приготовления горячей воды [6].

Использование тепловых насосов в жилищно-коммунальной сфере поможет повысить эффективность, как индивидуальных систем отопления, так и сетей центрального отопления. Однако, их внедрение в данную сферу требует особого подхода, связанного с выбором источника тепла и различными подходами использования тепловых насосов, в том числе для кондиционирования зданий и утилизацией тепла сточных вод [7].

В дальнейшей работе предполагается теоретически рассмотреть способы применения тепловых насосов для существующих промышленных объектов города Челябинска. Будет проведён обзор заводов, фабрик, электростанций, коммунальных сетей, бассейнов и прочих объектов, где существует возможность осуществления утилизации тепла и подготовки воды с помощью тепловых насосов, рассмотрены принципы осуществления таких технологий. На основе полученных данных будет произведён экономическая оценка рассмотренных технологий.

### Список литературы

1. Хайнрих Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения : пер. с нем. / Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В.; под ред. Б.К. Явнеля. - М. : Стройиздат, 1985.- 352с Васильев, Г.П. О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании / Васильев Г.П., Закиров Д.Г., Абуев И.М., Горнов В.Ф. // Водоснабжение и канализация. – 2009.- № 7-8.
2. <http://каталог-статей.рф/stroyka/oborudovanie/dostoinstva-i-nedostatki-kotlov-rabotayuschih-na-raznyh-vidah-topliva.html> Садовников А.А. Использование тепловых насосов для подогрева воды в бассейнах/ Садовников А.А. // Сантехника – 2013. - №2.
3. Луканин, П.В., Технологические энергоносители предприятия (Низкотемпературные энергоносители): Учебное пособие/ГОУВПО СПбГТУРП. – Санкт-Петербург, 2006 с. 47-48.

4. Филиппов, С.П. Перспективы применения тепловых насосов в России/ Филиппов С.П., Дильман М.Д., Ионов М.С. // Энергосовет – 2011. - № 5(18).
5. Васильев, Г.П. О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании / Васильев Г.П., Закиров Д.Г., Абуев И.М., Горнов В.Ф. // Водоснабжение и канализация. – 2009.- № 7-8.
6. Садовников А.А. Использование тепловых насосов для подогрева воды в бассейнах/ Садовников А.А. // Сантехника – 2013. - №2.
7. Бриганти А. Тепловые насосы в жилых помещениях/ Бриганти А.// АВОК – 2001. - № 5.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ КАСКАДНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Чекалин А.В., Румянцев В.Д., Малевский Д.А., Покровский П.В., Шварц М.З.,  
Андреев В.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им.  
А.Ф. Иоффе Российской академии наук, г. Санкт–Петербург, Россия.

### Введение

Каскадные солнечные элементы, на основе полупроводниковых материалов III и V групп, широко используются для преобразования солнечного излучения в электрическую энергию. Такие солнечные элементы (СЭ) являются основой концентраторных модулей, где для снижения количества используемого полупроводникового материала, а, следовательно, и стоимости, применяются, относительно недорогие оптические системы концентрирования излучения. При этом условия и режимы работы преобразователей солнечного излучения в концентраторных системах могут существенно отличаться. При наземном использовании кратность концентрирования солнечного излучения может достигать 1000 «солнц», а рабочая температура элемента превышать 100°C, в то время как работа в условиях дальнего космоса характеризуется пониженными рабочими температурами и низкими уровнями освещенности [1].

При оптимизации СЭ для различных условий эксплуатации следует рассмотреть влияние факторов оказывающих наиболее существенное влияние на их рабочие характеристики. К такими факторами в первую очередь относятся, температура и кратность концентрирования солнечного излучения. Как правило, различия в структурах фотоэлектрических преобразователей, разработанных специально для наземного и космического применений не являются принципиальными, а результаты усовершенствования структур «наземных» СЭ могут быть использованы при оптимизации структур для СЭ космического применения.

В литературе посвященной применению СЭ в наземных условиях основное внимание уделено влиянию положительных температур на параметры солнечных фотоэлементов [2-5]. Для исследования потенциала преобразователей солнечного излучения на основе различных структур по генерации максимальной мощности при различных условиях работы, важно наличие комплексной информации относительно поведения основных параметров СЭ при изменении температуры и кратности излучения в широком диапазоне значений.

Данные исследования могут рассматриваться также как механизм для обнаружения «паразитных» потенциальных барьеров, возникающих, в частности, при низких температурах, для оптимизации структуры фотоэлектрических преобразователей, даже если структура была разработана для эксплуатации при более высоких температурах [1].

### Образцы фотоэлектрических преобразователей

Были исследованы два типа трехпереходных GaInP/GaInAs/Ge фотопреобразователей в диапазоне температур от – 150 до + 85 °С. Фотопреобразователи различались по внутренней структуре: согласованные по постоянной решетки и метаморфные элементы. Данные по образцам представлены в Таблице 1. Рассмотренные преобразователи солнечного излучения характеризуются высоким КПД преобразования солнечного излучения (39 – 42 %) при кратности концентрирования порядка 300 «солнц» и температуре T=25°C.



Таблица 1/ Типы исследованных образцов

Тип ФЭП	Структура	Площадь фотоактивной поверхности, см <sup>2</sup>
Тип А	Согласованная по постоянной решетки	0,0398
Тип Б	Метаморфная	0,0916

### Методика измерений

При исследованиях ВАХ использовался импульсный имитатор солнечного излучения (ИСИ) [6] на основе ксеноновой лампы и корректирующего интерференционного фильтра, что обеспечивало воспроизведение спектра по классу А [7].

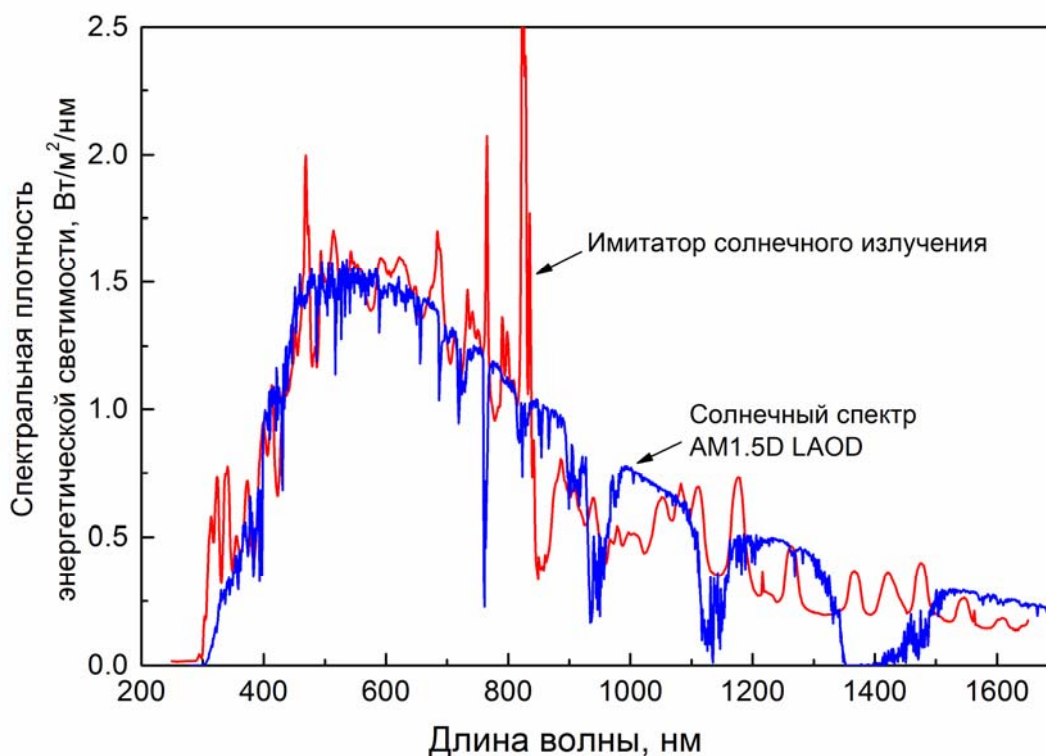


Рис.1 Стандартный солнечный спектр AM 1.5d LAOD и спектр имитатора солнечного излучения, скорректированный с помощью интерференционного фильтра. Фильтр соответствует спектральной чувствительности фотопреобразователя со средним переходом согласованным по постоянной решетки

При измерении вольт-амперных характеристик уровень освещенности, соответствующий условиям AM 1.5d LOAD, контролировался с помощью контрольного элемента, температура которого постоянно поддерживалась на уровне комнатной ( $T = +25^{\circ}\text{C}$ ). При температурных измерениях СЭ помещался в стеклянный сосуд Дьюара с системой охлаждения жидким азотом и механизмом стабилизации температуры. Для спектральных измерений в широком диапазоне температур была использована система состоящая из монохроматора, контрольного фотоприемника, источника смещающего

излучения и системы измерений и обработки информации. Спектральные характеристики для одного из метаморфных СЭ (Тип Б) представлены на рисунке 2.

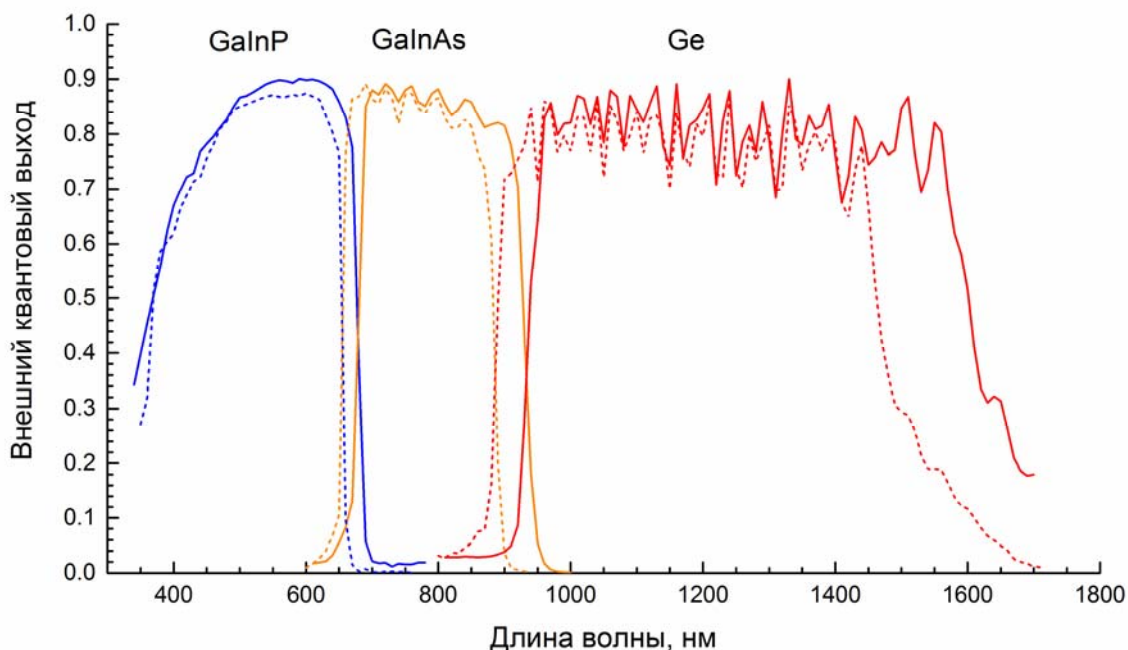


Рис.2 Внешний квантовый выход для одного из преобразователей с метаморфной структурой (Тип Б): при  $T = +25^{\circ}\text{C}$  (сплошные линии) и  $T = -150^{\circ}\text{C}$  (прерывистые линии)

Результаты вычислений плотности фототока для каждого перехода при кратности излучения в одно солнце приведены в таблице 2. Как можно видеть из таблицы вне зависимости от типа рассматриваемого спектра (спектр ИСИ или солнечный спектр), при уменьшении температуры плотность тока каждого p-n перехода заметно уменьшается. Особенно стоит отметить, что в то время как при температуре  $T = 25^{\circ}\text{C}$  ограничивающим ток переходом является средний (InGaAs) переход, то при температуре  $T = -150^{\circ}\text{C}$  такую роль начинает выполнять верхний (InGaP) переход.

Таблица 2. Расчитанные значение плотности фототока ( $j_{ph}$ ,  $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) для СЭ типа Б при различных температурах и кратности концентирования солнечного излучения равной одному солнцу

Метаморфный элемент	Солнечный спектр ( $+25^{\circ}\text{C}/-150^{\circ}\text{C}$ )	Спектр имитатора солнечного излучения ( $+25^{\circ}\text{C}/-150^{\circ}\text{C}$ )
Верхний переход (InGaP)	15.09/13.09	15.45/13.39
Средний переход (InGaAs)	14.40/13.52	14.78/14.21
Нижний переход (Ge)	19.33/17.60	19.20/18.22

### Результаты

Были измерены нагрузочные вольт-амперные характеристики для СЭ типов А и Б при одинаковой кратности концентирования солнечного излучения равного 300 «солнц» и при двух температурах  $T = +25^{\circ}\text{C}$  и  $T = -164^{\circ}\text{C}$  (рис. 3,а). Наблюдается идентичность формы ВАХ при комнатной температуре ( $T = +25^{\circ}\text{C}$ ) и заметное их различие при низкой температуре ( $T = -164^{\circ}\text{C}$ ). Для СЭ типа А наблюдается появление

изгиба вольтамперной характеристики в области расположенной вблизи значения напряжения соответствующего напряжению холостого хода элемента. Причиной такого поведения может являться наличие встроенных потенциальных барьеров для основных носителей заряда на границе n-GaInP/n-Ge гетеро-перехода [1]. Из рисунка 3,б ясно видно, что искривление вольтамперной характеристики практически отсутствует для СЭ типа Б. Дальнейшие исследования были нацелены на изучение зависимости основных фотоэлектрических параметров от температуры для элементов у которых искажение формы ВАХ не наблюдается.

На рисунке 3,б для СЭ типа Б представлены вольт-амперные характеристики полученные при различных температурах и кратности концентрирования солнечного излучения 100 «солнц». Монотонное возрастание напряжения холостого хода, высокое значение фактора заполнения вольт-амперной характеристики и незначительное уменьшение фототока при понижении температуры являются основными причинами значительного увеличения значения КПД СЭ.

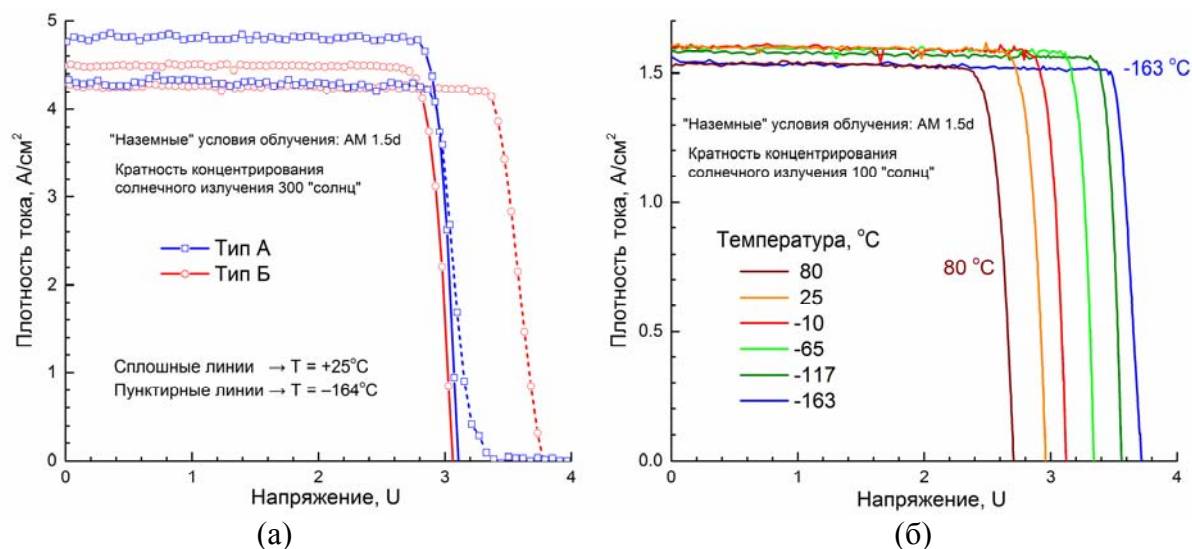


Рис.3 (а) – Нагрузочные вольт-амперные характеристики трехпереходных СЭ для образцов типа А и Б при температуре  $T = +25^{\circ}\text{C}$  (сплошные линии) и  $T = -164^{\circ}\text{C}$  (пунктирные линии); (б) – световые вольтамперные характеристики для GaInP/GaInAs/Ge СЭ типа Б измеренные в температурном диапазоне от  $-163$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 4 представлен набор фотоэлектрических параметров измеренных для метаморфного GaInP/GaInAs/Ge СЭ (тип Б) в диапазоне температур от  $-170$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  при различных кратностях концентрирования солнечного излучения. Зависимость фактора заполнения и напряжения холостого хода от температуры представлены на рисунке 4,а; коэффициента преобразования солнечного излучения со спектральным составом соответствующим спектру AM 1.5d LOAD – на рисунке 4,б. Напряжение холостого хода увеличивается почти линейно с уменьшением температуры, в то время как фактор заполнения достигает максимума при температуре  $-100^{\circ}\text{C}$ . По мере дальнейшего уменьшения температуры он начинает падать из-за омических потерь на внутреннем сопротивлении. Максимальное значение КПД наблюдается в диапазоне температур от  $-120$  до  $-150^{\circ}\text{C}$ . При этих температурах были достигнуты значения эффективности преобразования солнечного излучения (AM 1.5d): 48%, 51% и 52% при кратностях концентрирования солнечного излучения 750, 300 и 100 «солнц» соответственно.

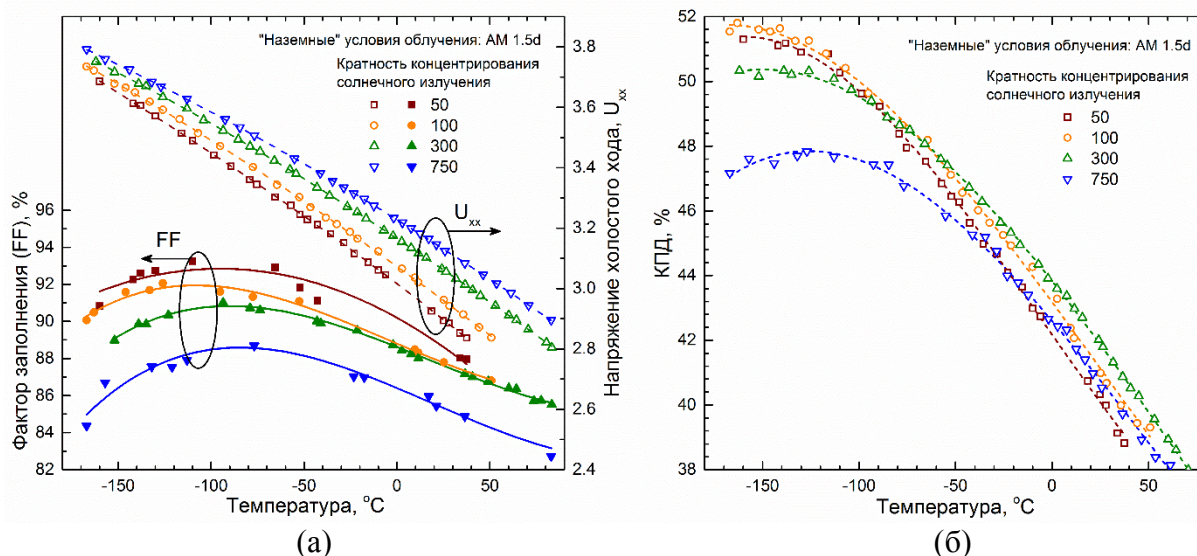


Рис. 4 Фотоэлектрические параметры измеренные для метаморфного GaInP/GaInAs/Ge СЭ (тип Б) в диапазоне температур от  $-170$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  при различных кратностях концентрирования солнечного излучения. (а) – зависимости фактора заполнения и напряжения холостого хода от температуры, (б) – зависимость коэффициента преобразования солнечного излучения со спектральным составом соответствующим спектру AM 1.5d LOAD от температуры

### Заключение

Выполнены исследования основных фотоэлектрических параметров для двух типов трехпереходных InGaP/InGaAs/Ge солнечных элементов в широком диапазоне изменения температуры и кратности концентрирования солнечного излучения. Полученные данные позволяют оптимизировать разрабатываемые структуры для различных условий эксплуатации концентраторных фотоэнергосистем. При кратности концентрирования 50-750 «солнц» и температурах от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $-160^{\circ}\text{C}$  были получены значения КПД фотоэлектрического преобразования солнечного излучения от 44% до 52%.

Настоящая работа, выполненная в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, поддержана Министерством образования и науки России, Соглашение о предоставлении субсидии от 27.06.2014 г. №14.604.21.0088 на выполнение прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60414X0088.

### Список литературы

1. M.Z. Shvarts, A.S. Gudovskikh, N.A. Kalyuzhnyy, S.A. Mintairov, A.A. Soluyanov, N.Kh. Timoshina and A. Luque. High Intensity Low Temperature (HILT) Performance Of Space Concentrator GaInP/GaInAs/Ge MJ SCs. AIP Conference Proceedings 1616, 29 (2014).
2. Myles A. Steiner, John F. Geisz, Daniel J. Friedman, Waldo J. Olavarria, Anna Duda, and Tom E. Moriarty. "Temperature-Dependent Measurements of an Inverted Metamorphic Multijunction (IMM) Solar Cell". Proc. of the 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC 37), Seattle, Washington, June 19-24, 2011.
3. Assaf Ben Or, Joseph Appelbaum "Dependence of multi-junction solar cells parameters on concentration and temperature". Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 130, November 2014, Pages 234–240.
4. Daniel Aiken, Mark Stan, Chris Murray, Paul Sharps, Jenifer Hills, and Brad Clevenger. "Temperature dependent spectral response measurements for iii-v multi-junction solar cells". Proc. of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC 29), New Orleans, May 21-24, pp. 828-831 (2002).

5. C. Karcher, H. Helmers, M. Schachtner, F. Dimroth, A.W. Bett. “Temperature Dependent Electroluminescence and Voltages of Multi-Junction Solar Cells”. Proc. of the 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp. 107 – 112.
6. V.D. Romyantsev, V.R. Larionov, D.A. Malevskiy, P.V. Pokrovskiy, A.V. Chekalin, M.Z. Shvarts, “Evaluation of the solar cell internal resistance in I-V measurements under flash illumination”, AIP Conf. Proc., 1477 (2012) 152-156.
7. IEC Standard 60904-9, Photovoltaic Devices—Part 9: Solar Simulator Performance Requirements, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland: [/http://www.iec.ch](http://www.iec.ch), accessed on 12/14/2007



## ТОПЛИВО ИЗ ВОДОРОСЛЕЙ: КАНДИДАТНЫЕ ШТАММЫ, КУЛЬТИВИРОВАНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ALGAE FUELS: CANDIDATE STRAINS, CULTIVATION, ENERGY EFFICIENCY

**Чернова Н.И., Киселева С.В.**

НИЛ ВИЭ географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

**Chernova N.I., Kiseleva S.V.**

Renewable Energy Sources Laboratory of Geographical Faculty of Lomonosov MSU

Рассмотрена биомасса микроводорослей в качестве перспективного сырья для производства биотоплива и сопутствующих продуктов с высокой добавленной стоимостью. Представлены результаты собственных экспериментальных работ по получению водорослевой биомассы с повышенным содержанием липидов, углеводов, крахмала и белка, а также результаты анализа энергетических затрат на производство топлива (биодизеля и биоэтанола) из микроводорослей. Рассмотрены различные типы биореакторов для получения биомассы, а также отдельные технологические этапы (различные технологии экстракции). Показана доля затрат антропогенной энергии в общем энергопотреблении процесса производства биотоплива. Оценено влияние энергоемкости остаточной биомассы после экстракции липидов и (или) сахаров на энергобаланс процесса производства биотоплива. Учтено влияние получаемых ценных сопутствующих продуктов из микроводорослей на снижение себестоимости конечного энергетического продукта. Оценка проведена на основе опубликованных данных и результатов экспериментальных работ, проведенных авторами.

**Ключевые слова:** микроводоросли, биотопливо, биоэтанол, биодизель, открытые культиваторы, фотобиореакторы, преобразование энергии, энергоэффективность

**Keywords:** microalgae, biofuel, biodiesel, bioethanol, outdoor cultivators, photobioreactors, energy conversion, energy efficiency

Микроводоросли и цианобактерии эффективно конвертируют солнечную энергию в комплекс энергоемких соединений, таких как углеводы, белки, липиды, которые могут быть подвергнуты дальнейшей трансформации. В то же время микроводоросли достаточно лабильны к изменению условий культивирования (количественный и качественный состав биогенных элементов в питательной среде, освещенность, температура и проч.), на которые они отвечают изменением биохимического состава клеток. Таким образом, можно управлять биосинтезом клеток и добиваться получения биомассы с заданным биохимическим составом. Способы получения биомассы МКВ с характеристиками, определяющими возможность и целесообразность ее использования в качестве сырья для различных отраслей промышленности является важной задачей современных исследований, ориентированных на эффективное применение биомассы МКВ и цианобактерий в качестве возобновляемых источников энергии и сырья. Биомасса микроводорослей (МКВ) традиционно рассматривается как перспективное сырье для производства моторных топлив, в первую очередь, биодизеля и спиртов. Исследования МКВ направлены не только на получение моторных топлив, но и на широкий класс иных продуктов, которые потенциально имеют хорошие перспективы выхода на промышленное использование в нефтехимической, химической, пищевой и кормовой промышленности.

Конъюнктуру мирового рынка нефти/газа следует рассматривать как фактор, определяющий рентабельность производства биотоплива из биомассы вообще, и микроводорослей в особенности. Само возникновение интереса к МКВ как сырью для производства топлива было связано с энергетическим кризисом 70-х годов XX века, когда цены на энергоносители резко выросли. Однако еще в 50-е годы была показана принципиальная возможность выращивания микроводорослей в массовой культуре в производственных масштабах. Крупные промышленные установки были созданы в Германии, Японии, Чехословакии, СССР, Польше, Болгарии, Франции, Мексике и ряде

других стран [1]. Несмотря на высокую научную результативность исследований, в 80-е – начале 90-х гг. применение микроводорослей как источника биомассы для энергетических целей стало неконкурентоспособным по сравнению с ископаемыми видами топлива. Поэтому в этот период в области водорослевых технологий безусловное лидерство получили исследования, связанные с неэнергетическими приложениями.

Дополнительным стимулом к получению и использованию биоспиртов и биодизеля на основе водорослей является повышение экологических требований к применяемым моторным топливам (запрет на использование стандарта Евро-4 и переход на Евро-5). Востребованность биокомпонентов моторных топлив в США и Европе объясняют несколькими факторами: 1) снижение зависимости от углеводородного сырья, 2) уменьшение выбросов парниковых газов, 3) улучшение экологических характеристики топлива. В России же общий объем используемых оксигенатов составляет лишь 1,6% от бензинового фонда, в то время, как в США и Европе аналогичный показатель составляет 8–12% и 10% соответственно [2]. При этом, помимо экологической составляющей, не менее актуальной для нашей страны, является проблема повышения октанового числа бензина. Одной из дополнительных мер при решении указанных проблем может стать широкое применение таких биодобавок, как биоэтанол, этил-трет-бутиловый эфир и биобутанол.

Производство этих топливных добавок из биомассы пищевого назначения привело в 2005–2008 гг. к конфликту природопользования, связанного с широким использованием зерновых и масличных культур (пшеницы, кукурузы, рапса, канолы, сои, ятрофы, масличных пальм) для производства биоэтанола и биодизеля (так называемое биотопливо первого поколения). Рост цен на продукты питания вызвал негативное отношение к биоэнергетике как к масштабному потребителю пищевых ресурсов<sup>6</sup>, но и послужило стимулом к разработке технологий получения биотоплива из непищевого сырья и отходов (биотопливо второго поколения), представленных прежде всего лигноцеллюлозой. Кроме того, Европейский Союз принял поправки в нормативы на биотоплива, увеличив обязательную его долю из непищевого сырья. Следует заметить, что микроводоросли в полной мере способствуют преодолению обозначившегося конфликта природопользования. В терминологическом плане это привело к выделению биотоплива третьего поколения (топливо, производимое из специально выращиваемых для энергетических целей водорослей) и биотоплива четвертого поколений (топливо из генетически модифицированных водорослей–продуцентов углеводов, конвертирующих CO<sub>2</sub> непосредственно в топливо).

Для достижения рентабельности процессов чрезвычайно важным является комплексное использование биомассы, в том числе получение широкого спектра ценных коммерчески значимых сопутствующих продуктов, таких как витамины (каротиноиды: β-каротин, астаксантин, лютеин; и др.), фикоцианин, антиоксиданты, аминокислоты, макро- и микроэлементы в биодоступной органической форме. В ранее выполненных нами совместно с ИБХФ РАН исследованиях (Гос. контракт № 16.512.11.2181, ФЦП «Исследования и разработки ...»), а также в проекте НИЛ ВИЭ (Гос. контракт № 14.740.11.0096, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013гг.) были разработаны методы трансформации биомассы выделенных нами различных видов МКВ в целевые энергетические продукты: биоэтанол, биобутанол,

---

<sup>6</sup> По данным ФАО ООН рост цен на продовольствие в этот период скорее был вызван увеличением цен на энергоносители и резким увеличением спроса на продовольствие в странах Юго-Восточной Азии. Так, в дальнейшем, в период 2008–2009 гг. цены на зерно падали синхронно с ценами на нефть, несмотря на стремительный рост мирового производства биотоплива.

биодизель, биоводород, биометан, бионефть, биоразлагаемые полимерные композитные материалы, биоантиоксиданты. В течение 2008-2012 гг. авторами были проведены экспедиции для взятия образцов и выделения из них липидосодержащих водорослей (Камчатка, Байкал, Карелия, Валдай, Московская область). Полученные накопительные культуры в дальнейшем были проанализированы по методике пре-скрининга на основе окрашивания клеток судановыми красителями [3]. В результате была выделена серия кандидатных штаммов микроводорослей – продуцентов липидов, углеводов, крахмала для дальнейшего производства биодизеля, биоэтанола, биобутанола, и биоводорода. Эти, а также ранее исследованные штаммы, образовали коллекцию микроводорослей энергетического назначения НИЛ ВИЭ, и вошли в Базу данных культур фототрофных микроорганизмов, которая была разработана с участием авторов [4]. База данных имеет узкую тематическую направленность, содержит информацию о перспективных с точки зрения получения биотоплива третьего поколения штаммах микроводорослей и позволяет осуществлять поиск и выборку штаммов по таксономическим признакам, используемым питательным средам, способам культивирования; уровням коммерциализации производства биомассы и т.д.

В НИЛ ВИЭ были проведены селекционные и физиолого-биохимические исследования отобранных штаммов микроводорослей для увеличения выхода целевых продуктов. Теоретически обоснована и экспериментально апробирована двухстадийная схема выращивания микроводорослей, которая обеспечивала на первой стадии их максимальную продуктивность по биомассе, а на второй – биосинтез и аккумуляцию липидов в клетках водорослей под влиянием специально подобранных для каждой культуры условий физиологического стресса. Для этих целей в Лаборатории был разработан и смонтирован экспериментальный фотобиореактор (ФБР) для двухстадийного культивирования микроводорослей, включающий культиваторы открытого и закрытого типа со светодиодным освещением и контролируемой подачей углекислого газа. Изучалось воздействие повышенной и пониженной инсоляции, субоптимальных температур, лимитирования азота и фосфора в питательных средах на продуктивность и содержание липидов в клетках выделенных штаммов микроводорослей. Для экспресс-отбора кандидатных штаммов был использован метод скрининга микроводорослей и цианобактерий на основе окрашивания липидов в клетках флуоресцентным красителем, специфичным на нейтральные липиды Нильским красным. Практическим результатом этой работы стали 2 патента на изобретение РФ [5, 6].

Помимо собственно микробиологических исследований, в частности, поиска штаммов, технологий культивирования, экстракции и технологий конверсии в биотопливо и др. большое значение имеют оценки энергоэффективности производства. Эти исследования тем более важны, поскольку стоимость топлива из микроводорослей является достаточно высокой и необходимо определить резервы для ее снижения. В настоящее время оценки энергоэффективности производства топлива из микроводорослей можно проводить только на основе пилотных проектов, или полупромышленного/промышленного культивирования. К сожалению, в мире их единичные пока примеры. Поэтому оценки проводят на основе анализа мирового опыта, экспериментальных лабораторных результатов и прочее.

Ранее мы в [7] на основе теоретических и экспериментальных данных о результатах культивирования микроводорослей в климатических условиях Британской Колумбии, Канада (открытые русловые культиваторы и фотобиореакторы) [8] провели оценку энергетического баланса производства биотоплива. Было показано, что отношение полезной энергии, заключенной в целевом продукте (масло из микроводорослей) и отходах биомассы после экстракции, к затратам антропогенной энергии (электрической энергии на весь цикл выращивания и энергетического эквивалента потребляемых



удобрений) составило 1,76. При этом решающий положительный вклад в энергобаланс обеспечивает энергия отходов биомассы микроводорослей после экстракции липидов, которая превосходит энергию масла в 1,26 раза. Это заставляет практически во всех проектах предусматривать полную переработку биомассы. В противном случае (без полной утилизации органических остатков) производство биодизеля с энергетической точки зрения может оказаться “убыточным”: отношение энергосодержания масла к энергозатратам составляет 0.7. Величина солнечной энергии, затрачиваемой на получение 1 л масла из биомассы, составляет для этой климатической зоны 183,6 МДж (с учетом введенного нами в работе [7] интегрального коэффициента эффективности преобразования солнечной энергии в органическое вещество). В этом случае полный баланс (отношение полезной энергии к затраченной) составит 0,40. Это говорит о необходимости максимально полно использовать при выращивании микроводорослей возобновляемые источники энергии (солнечная энергия), а также биогенные элементы и низкопотенциальную тепловую энергию сточных и геотермальных вод.

Таким образом, можно констатировать:

1. в настоящее время биотопливо из микроводорослей неконкурентоспособно;
2. в то же время исследования в области водорослевой энергетики остаются актуальными в связи с: а) перспективностью использования биодобавок к моторным топливам в целях улучшения их экологических характеристик; б) возможностью получения линейки ценных сопутствующих продуктов для нефтехимической, химической, пищевой, кормовой промышленности; в) эта отрасль исследований – полигон для апробации современных научных методов (генная инженерия) и инновационных технологий выращивания и переработки биомассы.

В связи с вышеизложенным важным направлением и для России является поиск и выделение из природной среды штаммов микроводорослей, перспективных для производства биотоплива; пополнение коллекций МКВ энергетического назначения, разработка технологий культивирования и сбора биомассы, экстракции целевых продуктов и производства из них топлива, а также получение коммерчески значимых сопутствующих продуктов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-02596.

### Список литературы

1. Пиневиц В.В., Верзилин Н.Н., Михайлов А.А. Изучение *Spirulina platensis* – нового объекта для высокоинтенсивного культивирования // Физиология растений, 1970. Т.17, Вып. 5, С. 1037-1046; Goldman J.C. Outdoor algal mass cultures. Applications // Water Res., 1979, V.13, №1, P.1-19.
2. М.А. Ершов, В.Е. Емельянов, Т.А. Климова, Е.С. Рехлецкая Перспективы биотехнологий//Современная АЗС. 2012. № 10(127). Интернет-ресурс <http://www.sovazs.com/showarticle.phtml?id=1877> Дата обращения: 01.10.2015.
3. Коробкова Т.П. Метод определения нейтральных липидов при первичном скрининге липидообразующих микроводорослей // Возобновляемые энергоресурсы атмосферы, гидросферы, биосферы: лабораторный практикум / Под ред. А.А.Соловьева. М.: «Университетская книга», 2013. С.147-155.
4. Чернова Н.И., Коробкова Т.П., Киселева С.В. и др. База данных «Культуры фототрофных микроорганизмов». Свидетельство о государственной регистрации № 2013620237. Зарегистрировано в Реестре баз данных 04 февраля 2013г.
5. Коробкова Т.П., Чернова Н.И., Киселева С.В., Зайцев С.И. Штамм *Arthrospira platensis* (Nordst.) Geitl. 1/02-T/03-5 - продуцент белковой биомассы. Патент на изобретение РФ №2322489 // Б.И. 2008. №11, 7с.
6. Чернова Н.И., Коробкова Т.П., Киселева С.В., Зайцев С.И., Радомский Н.В. Патент РФ № 2539766 С2 «Штамм *Arthrospira platensis* (Nordst.) Geitl. T/05-117 - продуцент липидосодержащей биомассы» Б.И. 2015 № 3.8с.

- 
7. Чернова Н.И., Киселева С.В., Попель О.С. Эффективность производства биодизеля из микроводорослей // *Теплоэнергетика*, 2014, № 6, с. 14-21.
  8. Alabi A.O., Tampier M., Bibeau E. Microalgae technologies for biofuels/bioenergy production in British Columbia: current technology and barriers to implementation: Final Report to the British Columbia Innovation Council. Seed Science. Jan.,14, 2009. [http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0901\\_Seed\\_Science\\_Microalgae\\_technologies\\_and\\_processes\\_for\\_biofuelsbioenergy\\_production\\_in\\_British\\_Columbia.pdf](http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0901_Seed_Science_Microalgae_technologies_and_processes_for_biofuelsbioenergy_production_in_British_Columbia.pdf).

**КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ ЗОНЫ ВЫСОКОЙ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА  
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ И  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
THE CONCEPT OF CREATING ENERGY EFFICIENCY DEMONSTRATION  
ZONES AGRICULTURAL PRODUCTION LENINGRAD REGION WITH LOCAL  
AND RENEWABLE ENERGY**

**Эрк А.Ф., Никитин А.В., Судаченко В.Н.**

ФГБНУ «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного  
производства» (ИАЭП), Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Erk A.F., Nikitin A.V., Sudachenko V.N.**

Federal State Budget Scientific Institution «Institute for Engineering and Environmental Problems in  
Agricultural Production» (IEEP), Saint-Petersburg, Russian Federation

**Keywords:** concept, demonstration zone, energy efficiency, agricultural production, renewable energy

Идея создания в Ленинградской области зон энергоэффективного сельхозпроизводства возникла и начала обсуждаться более 10 лет назад, тогда были проведены экспресс обследования всех сельхозпредприятий и были выявлены реальные показатели энергосбережения. В 2012-2014г.г. в разных административных районах области (Рис.1) институтом ИАЭП проведены полные энергетические обследования более 40 сельхозпредприятий молочного направления [1] с разработкой и регистрацией энергопаспортов в Минэнерго. По результатам обследований стало возможным обосновать целесообразность создания энергоэффективных зон производства сельхозпродукции на базе отдельных сельхозпредприятий области, в которых наряду с традиционными источниками энергии будут использоваться местные и возобновляемые источники.

Целями создания демонстрационной зоны высокой энергоэффективности являются:

- снижение энергоемкости производства и себестоимости сельхозпродукции за счет замещения местными и возобновляемыми источниками энергии объемов потребления электроэнергии от централизованной электросети;
- распространения опыта повышения энергоэффективности производства на другие сельхозпредприятия.

По результатам проведенных обследований и обработки полученных данных установлено, что потребление энергоресурсов в обследованных хозяйствах находилось в пределах от 800 до 2500 т.у.т. в год в зависимости от объемов производств. Энергоемкость производства молока изменялось в пределах 0,15-0,20 т.у.т/т. Доля платы за энергетические ресурсы в себестоимости продукции сельхозпроизводства составила от 12,0 до 18,0%. Из оценки структуры потребления топливо-энергетических ресурсов сельскохозяйственным производством по видам топлива (Рис.2) следует, что электроэнергия является основным энергетическим ресурсом.

Электроэнергия расходуется на цели освещения, нагрев воды для технологических нужд, для привода в действие машин и механизмов, охлаждения молока, в технологических процессах, в электротехнологиях и в системах управления. Современные электротехнологии применяются довольно редко. Электропривод тесно связан с технологией производства (доение, уборка навоза и т.д.). Наибольший расход электроэнергии в хозяйствах на электроосвещение (30-35%), нагрев воды на технологические нужды и кондиционирование воздуха.



Рис.1 Карта-схема энергоаудита крупных сельскохозяйственных предприятий Ленинградской области

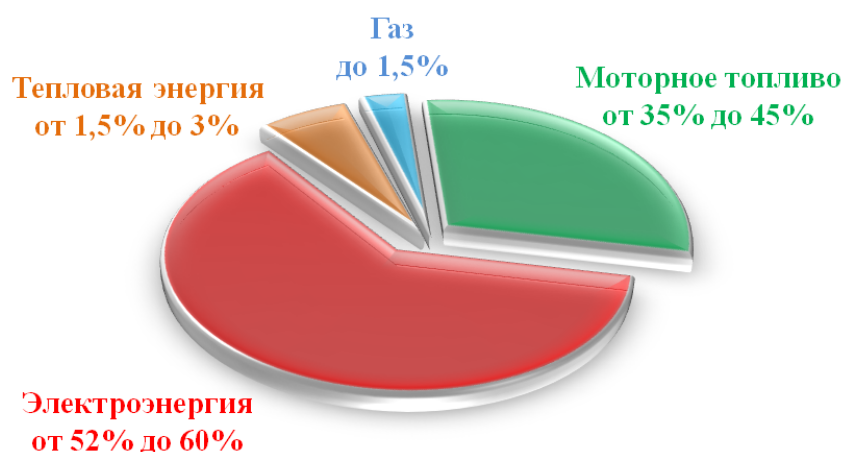


Рис.2 Структура потребления топливо-энергетических ресурсов сельхозпредприятиями по видам топлива

Действующая в стране нормативная база допускает плановые отключения потребителей 3-й категории надежности электроснабжения до 24 часа в сутки (к этой категории надежности энергоснабжения относятся большинство сельхозпредприятий молочного направления). Электроснабжение сельхозпредприятий осуществляется по радиальным схемам, что существенно влияет на надежность обеспечения сельхозпредприятия электроэнергией. По данным исследования Всероссийского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) [2] длительность простоя технологического оборудования молочной фермы от отключения источника электроснабжения на 14 часов приводит к недовыпуску продукции на 19,5 %. На восстановление продуктивности животных требуется до нескольких месяцев. Таким образом плановые и аварийные отключения современного сельхозпредприятия молочного направления от централизованной электросети приводит к потере продукции и снижению продуктивности животных. Следовательно, действующие нормативные документы о надежности электроснабжения не соответствуют требованиям современного сельхозпроизводства.

В настоящее время институт ИАЭП занимается вопросами повышения эффективности использования энергетических ресурсов за счет реализации комплексных мероприятий направленных на снижение энергоемкости производства. Институтом начата работа по созданию демонстрационных зон по энергосбережению и предложено осуществить пилотный проект в одном из племхозов Ленинградской области [3]. Составлен перечень мероприятий по повышению энергоэффективности производства, который включает в себя:

- модернизация систем освещения производственных, служебных помещений и территорий с заменой светильников на энергосберегающие и использованием современных систем автоматического управления, а так же внедрением систем частичного электроснабжения от местных и возобновляемых источников энергии позволит снизить расход электроэнергии на освещение на 30-50 %;

- реконструкция систем нагрева воды для технологических нужд и обогрева помещений с использованием гелиоводонагревателей (Рис.3) для подогрева воды и «умному» перераспределению тепловой энергии тепловыми насосами, а так же внедрение систем автоматизации работы оборудования котельных и циркуляционных насосов позволит обеспечить надежность и электробезопасность систем обогрева при снижении расхода электроэнергии на эти цели до 20 %;



Рис.3 Гелиоводонагреватель «ГВН-2», технология «сэндвич», производительность 100-150 л/сутки, температура воды 65°C [4]

- реконструкция систем водоснабжения животноводческих ферм и других производственных объектов, а также систем кондиционирования воздуха с использованием частотного регулирования приводами обеспечивает экономию электроэнергии до 25 %.

Создание демонстрационной зоны высокой энергоэффективности может стать частью программы по энергосбережению в Ленинградской области, для её реализации необходимо предусмотреть стимулирующие мероприятия. Существующая нормативная база использования возобновляемых источников энергии предусматривает только стимулирование создания сертифицированных электрогенерирующих установок для поставки электроэнергии на оптовый рынок электроэнергии или для компенсации потерь в электросетевом хозяйстве. Сельхозпроизводство получает электроэнергию, как правило, из розничных рынков электроэнергии.

Возобновляемые источники энергии в сельскохозяйственных предприятиях находят свое место в следующих процессах:

- энергия Солнца в получение тепловой энергии для подогрева воды на технологические нужды животноводческих ферм и быта (сезонный характер),

- ветровая энергия в получение тепловой энергии для подогрева воды на технологические нужды животноводческих ферм и быта, отопления зданий и сооружений;

- комбинированные системы использующие энергию Солнца и ветровую энергию в производстве электрической энергии для децентрализованного электроснабжения потребителей небольшой мощности, территориально расположенных вдалеке от сетей, и для повышения надежности энергообеспечения потребителей подключенных к централизованной электросети электроснабжения;

- биогаз и получение газа за счет пиролиза отходов продукции растениеводства и животноводства,

Находят применение биогазовые установки и тепловые насосы в основном для отопления молочных залов и родильных отделений животноводческих ферм.

Нормативных документов по стимулированию развития «малой возобновляемой энергетики» пока недостаточно. Не решены вопросы тарифной политики, стимулирования установки потребителями фотоэлектростанций, гелиоводонагревателей и ветрогенераторов. Не решены вопросы продажи потребителями излишков тепловой и электрической энергии в централизованные сети розничных рынков энергии на экономически приемлемых условиях.

Реализация положений концепции позволит создать демонстрационную зону высокой энергоэффективности на базе одного из сельхозпредприятий молочного направления, где к 2018 году будет снижена энергоемкость производства молока на 15-27%, сведены до минимума риски не выполнения программы развития сельского хозяйства из-за непредсказуемого роста цен на энергоносители и низкой надежности энергоснабжения.

Финансовые затраты на создание демонстрационной зоны в одном из сельхозпредприятий молочного направления (в ценах 2014 года) составят порядка 16 млн. руб. Затраты на ТЭР в среднем составляют 15 млн.руб. в год. При снижении энергоемкости производства сельскохозяйственной продукции на 27%, т.е. если допустить равное производство продукции по годам, срок окупаемости составит – 3,2 - 3.8 года.

### Список литературы

1. Эрк А.Ф., Судаченко В.Н., Размук В.А., Бычкова О.В. Результаты энергетического обследования сельхозпредприятий/ Сборник науч.трудов №85 ГНУ СЗ НИИМЭСХ, 2014.
2. Рекомендации по экономической оценке ущербов, наносимых сельскохозяйственному производству отказами электрооборудования// Москва, ВИЭСХ, 1985- 34с.
3. Эрк А.Ф., Судаченко В.Н., Смирнова Л.Ю. Энергосбережение в АПК: проблемы и перспективы / Журнал «Сельскохозяйственные вести», №2/2015, стр.58-61.
4. Никитин А.В. Использование энергии солнца и ветра в сельском хозяйстве /А.В. Никитин//Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 86. С. 191-200.

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ  
LIST OF AUTHORS**

Abdukhamidov D.U.	24	Papin V.V.	162
Alkhasov A.B.	40	Parshukov V.I.	162, 268
Alkhasova D.A.	46	Popel O.S.	67
Andreenko T.I.	51	Potansky V.G.	275
Avdienko A.A.	28	Poulek V.	15
Avezov R.R.	24	Rafikova Yu.Yu.	275
Avezova N.R.	24	Ramazanov A.Sh.	40
Batenin V.M.	67	Rudakova L.V.	311
Bezrukih P.P.	114	Rusakevich I.V.	268
Bezrukikh P.P.	70, 76	Rustamov N.A.	76
Bezrukikh P.P.(Jr)	70	Ryzhkov A.V.	268
Bezuglov R.V.	162	Shakun V.P.	51
Blinov D.V.	125	Smygalina A.E.	185
Brusnitsyn A.N.	101	Sudachenko V.N.	362
Cherniavskii A.A.	185	Surkov A.A.	311
Chernova A.V.	149	Svalova V.B.	288
Chernova N.I.	357	Sysoev V.K.	322
Dunikov D.O.	121, 125, 191	Tseyzer G.M.	347
Efimov N.N.	162, 268	Ustinov A.A.	125
Egikov N.I.	211	Vaisman Ya.I.	311
Elistratov V.V.	149	Zaitchenko V.M.	185
Erk A.F.	362	Абдухамидов Д.У.	24
Garkavenko A.N.	28	Авдиенко А.А.	28
Golodnitskiy A.E.	101	Авезов Р.Р.	24
Gorbachev V.M.	162	Авезова Н.Р.	20, 24
Gribkov S.V.	114	Алхасов А.Б.	34, 40
Ivanov M.F.	185	Алхасова Д.А.	46
Kascheev A.V.	28	Андреев В.М.	351
Kasharin D. V.	201	Андреев Т.И.	51
Kazakov A.N.	125, 191	Арсатов А.В.	336
Kharchenko V.V.	340	Афанасьев В.П.	58
Kirichev A.V.	211, 261	Баделин А.С.	63
Kiseleva S.V.	51, 357	Базаев А.Р.	34
Klimov E.I.	211, 261	Базаев Э.А.	34
Koloskov S.A.	28	Батенин В.М.	67
Komarkov D.A.	28	Безруких П.П.	70, 76, 114
Komarova N.A.	237	Безруких П.П. (мл)	70
Kovbasyuk V.I.	67	Безуглов Р.В.	162
Libra M.	15	Белый В.В.	224
Maltseva A.V.	76	Блинов Д.В.	125
Mitrokhin S.V.	191	Бобыль А.В.	80
Nefedova L.V.	237	Борботько В.	259
Nikitin A.V.	362	Брусницын А.Н.	101
Nikolaev V.V.	340	Бугаенко Н.И.	86
Panchenko V.A.	261	Вайсман Я.И.	311
Pantsyrny V.I.	28	Васьков А.Г.	91

Вохидов А.У.	20	Нефедова Л.В.	237
Гаркавенко А.Н.	28	Низов А.В.	243
Годин М.А.	97	Никитин А.В.	362
Голодницкий А.Э.	101	Николаев В.В.	340
Горбачев В.М.	162	Николаев В.Г.	247
Горлов А.А.	107	Нисимов С.У.	58
Грибков С.В.	114	Нырковский В.И.	254
Гудовских А.С.	58	Обозов А.Д.	215
Денисов Р.С.	135	Олейник С.	259
Дерюгина Г.В.	91	Орехов Д.Л.	58
Дуников Д.О.	121, 125, 191	Ощепков М.Ю.	336
Дюльдин М.В.	304	Панцырный В.И.	28
Егоров И.Ю.	130	Панченко В.А.	261
Ежиков Н.И.	211	Папин В.В.	162
Елистратов В.В.	135, 139, 144, 149, 294, 304	Паршуков В.И.	162, 268
Ермоленко Б.В.	154	Персиц И.С.	15
Ермоленко Г.В.	154	Покровский П.В.	351
Ефимов Н.Н.	162, 268	Попель О.С.	67, 215
Житков А.Н.	224	Потанский В.Г.	275
Зай Яр Лин	169	Пыхтина А.И.	280
Зайченко В.М.	173, 177, 185	Рамазанов А.Ш.	40
Иванов М.Ф.	185	Рафикова Ю.Ю.	275
Исаев Р.Э.	215	Романов И.А.	280
Казаков А.Н.	125, 191	Романовский В.Ф.	284
Карабекова Б.К.	34	Рудакова Л.В.	311
Карамов Д.Н.	196	Румянцев В.Д.	351
Кашарин Д.В.	201	Русакевич И.В.	268
Кашеев А.В.	28	Рустамов Н.А.	76
Киричев А.В.	211, 261	Рыжков А.В.	268
Киселева С.В.	51, 207, 215, 357	Свалова В.Б.	288
Клер А.М.	196	Сибгатуллин А.Р.	294
Климов Е.И.	211, 261	Скоробатюк А.В.	301
Ковбасюк В.И.	67	Сливканич М.А.	304
Коломиец Ю.Г.	207, 215	Смыгалина А.Е.	185
Колосков С.А.	28	Солдатов В.А.	310
Комарков Д.А.	28	Стребков Д.С.	15
Комарова Н.А.	237	Судаченко В.Н.	362
Конищев М.А.	135	Сурков А.А.	311
Кормилицын В.И.	224	Счастливец А.И.	316
Косов В.Ф.	177	Сысоев В.К.	322
Кострица В.Н.	218	Сычев Г.А.	173
Котляр Э.А.	230	Тарасенко А.Б.	218
Кудряшева И.Г.	139	Тарасенко В.И.	243
Кузьмина Ю.С.	173	Теруков Е.И.	58, 80
Лавренов В.А.	177	Туманов В.Л.	218
Ложкин С.Г.	230	Турапова Д.У.	20
Малевский Д.А.	351	Тюхов И.И.	327
Мальцева А.В.	76	Тягунов М.Г.	91, 169
Мацура А.А.	154	Устинов А.А.	125
Митрохин С.В.	191	Федоров М.П.	144
		Филатов Д.В.	333



---

Фрид С.Е.	207, 336	Чернова А.В.	149
Хаитмухамедов А.Э.	20	Чернова Н.И.	357
Харченко В.В.	340	Чернявский А.А.	185
Хафизов А.Д.	345	Шакун В.П.	51
Цейзер Г.М.	347	Шварц М.З.	351
Чекалин А.В.	351	Эрк А.Ф.	362
Чернов Д.А.	91		