



2021
№1(9)

Окружающая среда и энергостудение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703
(Online)

Окружающая среда и энергосистемы

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

2021 №1(9)

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

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

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

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации Эл № ФС 77 - 74521 от 7 декабря 2018 г.

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



Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь

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

Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь РИА
(МЭИ)
Березкин Михаил Юрьевич, к.геогр.н (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН).
Гулев Сергей Константинович, д.ф.-м.н., профессор, член-
корреспондент РАН (ИО РАН).
Дегтярев Кирилл Станиславович, к.геогр.н (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
Добролюбов Сергей Анатольевич, д.геогр.н., профессор, член-
корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).
Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН).
Залиханов Алим Михайлович, к.геогр.н, (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
Киселева Софья Валентиновна, к.физ.-мат. н. (МГУ им. М. В.
Ломоносова).
Красовская Татьяна Михайловна, д.геогр.н., профессор (МГУ
им. М. В. Ломоносова).
Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (КТН Royal Institute of
Technology, Sweden).
Нигматулин Роберт Искандерович, д.ф.-м.н., профессор,
академик РАН (ИО РАН).
Панченко Владимир Анатольевич, к.т.н., доцент (Российский
университет транспорта (МИИТ))
Показеев Константин Васильевич, д.физ.-мат.н., профессор
(МГУ им. М. В. Ломоносова).
Рафикова Юлия Юрьевна, к.геогр.н. (МГУ им. М.В.
Ломоносова)
Соловьев Дмитрий Александрович, к.физ.-мат.н.,
ответственный секретарь (ИО РАН).
Тикунов Владимир Сергеевич, д.геогр.н., профессор (МГУ им.
М. В. Ломоносова).

Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ
возобновляемых источников энергии географического
факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Тел./ факс +7 (499) 939-42-57

e-mail: info@jeees.ru

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

Окружающая

среда и энерговедение. 2021 №1(9)

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

Редактор К.С.Дегтярев

Корректор К.Г.Горошкин

Верстка М.Ю.Березкин

Перевод на английский язык

К.С.Дегтярев

Подписан в свет 30.03.2021.

Издатель:

Закрытое акционерное общество "Глобализация и
устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии"
125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011.

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

E-mail: guies@guies.ru.

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

Учредитель: Соловьев Д.А.

© Редакция журнала

«Окружающая среда и энерговедение», 2020

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

Содержание

Т.Д. Аликеримова, С.А. Ниналалов

**Перспективы развития геотермальной энергетики в
Республике Дагестан 4**

Е.В. Васильева

**К вопросу о существовании промежуточной фазы между
кристаллическим и жидким состоянием в плоской
плазменно-пылевой системе10**

К.С. Дегтярев, М.Ю. Березкин

О проблемах водородной экономики14

Г.П. Покрытан

**Современное состояние обеспечения водными ресурсами
Республики Кипр24**

В.А. Панченко

Новые российские разработки в солнечной энергетике.....42

Д.С. Стребков

**Источники и способы передачи энергии – глобальные
решения52**

И.Р. Хайретдинов, К.С. Денисов, В.И. Велькин

**Исследование эффективности зарубежных и отечественных
прикладных программ для расчёта комплексных
энергетических систем на основе ВИЭ60**

Content

T.D. Alikirimova, S.A. Ninalalov

**Prospects for Development of Geothermal Energy in Republic of
Dagestan 4**

E.V. Vasilyeva

**On the Existence of an Intermediate Phase Between the
Crystalline and Liquid States in a Flat Plasma-Dust System10**

K.S. Degtyarev, M.Yu. Berezkin

On the Problems of Hydrogen Economy14

G.P. Pokrytan

The current State of Water Supply in the Republic of Cyprus24

V.A. Panchenko

New Russian Solutions for Solar Energy42

D.S. Strebkov

Sources and Ways of Energy Transmission – Global Solutions.....52

I.R. Khairetdinov, K.S. Denisov, V.I. Velkin

**Research on the Efficiency of Foreign and Domestic Applications
for Calculating Energy Systems Based on Renewable Sources.....60**

УДК 620.9

Перспективы развития геотермальной энергетики в Республике Дагестан

Аликеримова Тамила Давлетхановна^{[0000-0002-1815-1742]1},Ниналалов Саид Ахмедханович^{[0000-0002-8303-5019]1,2}¹Дагестанский государственный университет (ДГУ), Махачкала, Россия²Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал Объединенного института высоких температур РАН (ИПГВЭ ОИВТ РАН), Махачкала, Россия¹E-mail: tamila@list.ru²E-mail: said2706@gmail.com

Аннотация. Рассмотрено несколько перспективных проектов, разработанных в последние годы учеными ДГУ и ИПГВЭ ОИВТ РАН в целях освоения потенциала геотермальной энергетики Дагестана. Комбинированная геотермально-парогазовая энергетическая система, комбинированная гелио-геотермальная теплонасосная система, строительство бинарных ГеоЭС с использованием выработанных нефтяных и газовых месторождений, технология переработки сероводорода при обычных температурах с получением водорода и серы, комплексное освоение высокопараметрических минерализованных гидрогеотермальных ресурсов – все эти проекты имеют высокую экономическую эффективность и перспективны для внедрения.

Ключевые слова: геотермальные месторождения, геотермальные воды, освоение ресурсов, экономическая эффективность.

Центральная и северная низменные зоны Дагестана богаты высокоминерализованными геотермальными источниками. Высокая стоимость делает экономически невыгодной разработку скважин термальной воды. Но практически беззатратными её источниками являются выработанные нефтяные и газовые месторождения, которыми изобилует равнинный Дагестан [1]. А экономическая целесообразность добычи и использования геотермальных ресурсов следует из того, что они содержат большое количество ценных компонентов.

Чтобы обеспечить высокую экономическую эффективность термальных вод, необходимо максимально использовать тепловой потенциал, чего можно достигнуть при комплексном использовании этих вод. Необходимо отметить, что эксплуатация большинства геотермальных месторождений ведется на достаточно низком уровне. Зачастую после потребителя термальные воды сбрасываются с $T = 50-70^{\circ}\text{C}$. Полезно используется примерно 1/5 теплового потенциала тер-

мальной воды.

Низкий уровень эксплуатации месторождений и огромная разница между значительными запасами геотермальной энергии и малой ее используемой частью объясняется некоторыми специфическими факторами, характеризующими эту энергию, а также технологией ее извлечения и использования.

Таковыми факторами являются:

- высокая стоимость скважин и низкие транспортабельные качества термальных вод;
- необходимость обратной закачки отработанных вод и значительные расходы на их подготовку;
- невозможность аккумулирования тепловой энергии на длительный период;
- коррозионно-агрессивные свойства;
- одноразовость использования термальных вод в системе теплоснабжения и сравнительная их температура.

В связи с этим возникают научно-технические и технологические проблемы геотермальной энергетики, основными из которых являются:

- освоение технологий строительства высокодебитных скважин с горизонтальными столами в продуктивном горизонте;
- перевод бездействующих скважин на выработанных нефтяных и газовых месторождениях для добычи геотермального флюида;
- широкое освоение ГЦС (геотермальных циркуляционных систем);
- разработка эффективных методов борьбы с коррозией и солеотложением;
- разработка эффективных технологий утилизации низкопотенциального геотермального тепла.

Области применения и эффективность использования геотермальных вод зависят от их энергетического потенциала, общего дебита и запаса скважин, химического состава, минерализации, агрессивных вод, наличия потребителя и т.д. Наиболее эффективной областью применения геотермальных вод является отопление, горячее и техническое водоснабжение объектов различного назначения. Максимальный энергетический эффект достигается созданием специальных систем отопления с повышенным перепадом температур.

Ученые ИПГВЭ ОИВТ РАН и ДГУ предлагают к реализации несколько высокорентабельных проектов, связанных с освоением геотермальных вод (ГТВ).

Комбинированная геотермально-парогазовая энергетическая система (ГПЭС) [2]. Термальные воды могут быть использованы для выработки электроэнергии в ГПЭС, которые сочетают и возобновляемые, и ископаемые источники энергии. Разработана технологическая система по эффективному использованию низкотемпературных термальных вод (80 – 100 °С) для выработки электроэнергии, состоящая из газотурбинного блока и блока бинарной геотермальной электростанции (ГеоЭС) (рис. 1).

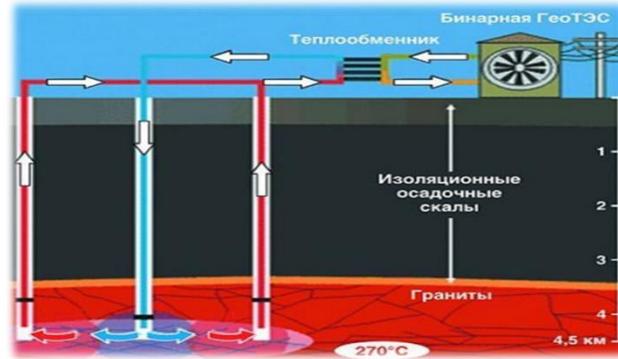
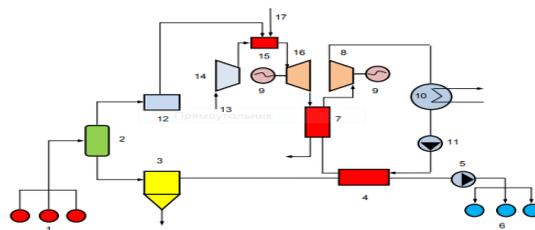


Рис. 1. Схема бинарной геотермальной электростанции.

Горячая вода нагревает низкокипящее рабочее тело в контуре бинарной ГеоЭС до температуры его испарения. Тепло газотурбинной электростанции (ГТЭС) обеспечивает испарение и перегрев рабочего тела. ГПЭС эффективно использует тепло термальной воды и выхлопных газов ГТЭС, и позволяет непрерывно эксплуатировать геотермальные скважины.



Комбинированная геотермально-паровая электростанция
 1 – добычные скважины; 2 – сепаратор; 3 – шламонакопитель; 4 – теплообменник;
 5 – нагнетательный насос контура ГЦС; 6 – нагнетательные скважины; 7 – блок теплообменников для испарения и перегрева низкокипящего рабочего агента; 8 – турбина на низкокипящем рабочем агенте; 9 – генератор; 10 – конденсатор; 11 – циркуляционный насос; 12 – блок по осушке газа; 13 – подвод воздуха; 14 – компрессор; 15 – камера сгорания; 16 – газовая турбина; 17 – подвод газа из газопровода.

Рис. 2. Схема комбинированной геотермально-паровой электростанции.

Перспективно для строительства ГПЭС Тернаирское геотермальное месторождение на окраине г. Махачкалы. Производительность водозабора - 20 тыс. м³/сутки, средняя устьевая температура воды - 100°C. Восемь скважин производительностью по 2500 м³/сутки пробурены для добычи воды. Месторождение слабо освоено: работают лишь две скважины, а отработанные воды с температурой 60°C сбрасываются в дренажный канал. При полном использовании ресурсного потенциала месторождения мощность энергоустановок на основе ГПЭС технологии может достигать 60 МВт [3]. Реализация проекта обеспечит значительную часть потребности г. Махачкалы в электроэнергии.

Комбинированная гелио-геотермальная теплонасосная система. В комбинированной системе предлагается совместное использование солнечной энергии и тепла грунта до глубины 2,5 м или сухих горных пород до глубины 100 м для тепло- и горячего водоснабжения децентрализованных объектов малой мощности.

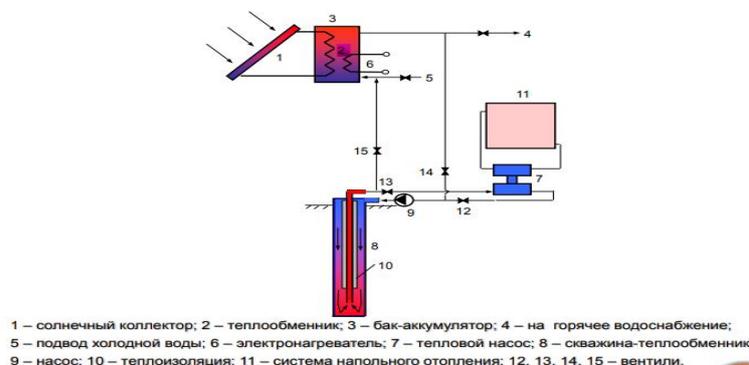


Рис. 3. Схема гелио-геотермальной системы теплоснабжения.

Интегрированная технология использования глубинного тепла Земли. Разработка предполагает вовлечение в экономику региона ранее не используемых геотермальных ресурсов и расширение их использования в энергобиологических комплексах для выращивания в промышленных условиях ценных продуктов питания – товарных осетровых (балык красной рыбы, осетровая икра), ранних овощей, мяса птицы, микроводорослей (спирулина, хлорелла). Концепция интегрированных геотермальных систем, которая будет реализована при сооружении энергобиологических комплексов, придаст новый импульс развитию геотермального производства, продемонстрирует возможности с точки зрения увеличения промышленного и налогового потенциала и создания новых рабочих мест.

Технология переработки сероводорода при обычных температурах с получением водорода и серы. Метод может быть эффективно применён в нефте- и газохимии, геотермальной энергетике, в решении экологических проблем утилизации сероводорода, в частности, для решения известной черноморской сероводородной проблемы с дополнительным получением водорода – одного из лучших экологичных энергоносителей и востребованного химического реагента. [4]

Комплексное освоение высокопараметрических минерализованных гидрогеотермальных ресурсов [5]. В составе большинства высокоминерализованных ГТВ Дагестана содержатся в промышленно значимых концентрациях ионы лития. Соли лития используются в стекольной, фармацевтической, электрохимической и атомной промышленности. Карбонат лития в России практически не добывается и ввозится из Чили. В то же время разведанные запасы редкометалльных термальных вод одного Берикейского месторождения обеспечивают выработку более 2000 тонн карбоната лития в год. Это превышает все потребности промышленности страны. Строительство заводов по производству карбоната лития на Южно-Сухокумской, Тарумовской, Комсомольской и других месторождениях Дагестана даст возможность экспортировать карбонат лития в страны Европы. Кроме солей лития ГТВ содержат пищевую соль, магнезию жженную и другие ценные компоненты, причем минерализация составляет до 200 граммов солей на 1 литр термальной воды.

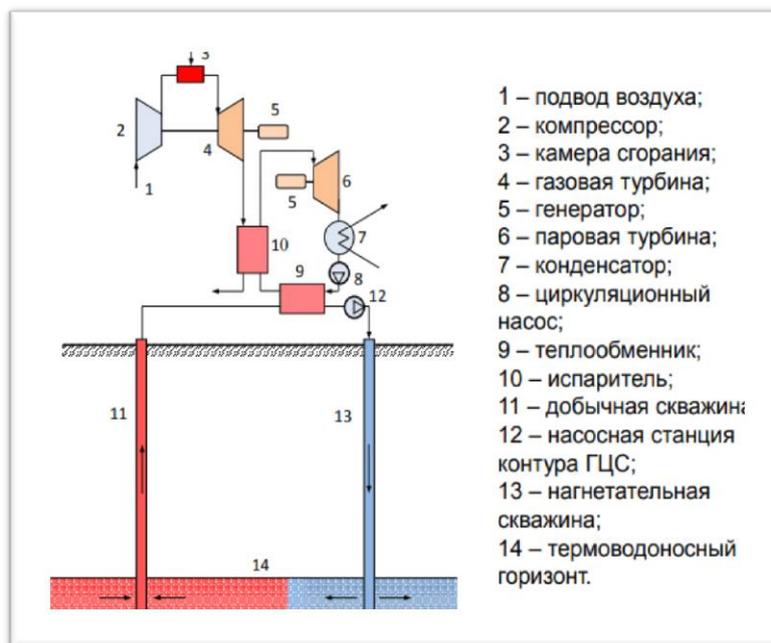


Рис. 3. Схема геотермальной электростанции с конденсационной системой.

Строительство бинарных ГеоЭС с использованием выработанных нефтяных и газовых месторождений. Капитальные затраты на реконструкцию скважин для добычи термальной воды гораздо ниже затрат на строительство новых скважин. В пределах Восточно-Предкавказского артезианского бассейна имеется более 2000 простаивающих скважин, большинство из которых могут быть применены для добычи термальной воды. Для 14 выработанных нефтегазовых месторождений проведена оценка строительства бинарных ГеоЭС с ГЦС-технологией. До 30% генерируемой на таких ГеоЭС электрической мощности затрачивается на циркуляцию теплоносителя в контуре ГЦС. Общая полезная мощность ГеоЭС на этих месторождениях достигает более 330 МВт [6].

Литература

1. Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Алхасова Д.А., Каймаразов А.Г., Рамазанов М.М., Освоение низкопотенциального геотермального тепла // Москва: Физматлит, 2012.
2. Алхасов А.Б. Технологии комплексного освоения геотермальных ресурсов Северо-кавказского региона // «Теплоэнергетика». Вып. 3, 2018, с. 31-35.
3. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Оценка эффективности создания бинарных геотермальных энергоустановок с использованием отработанных нефтяных и газовых скважин на Юге России // «Теплоэнергетика». Вып.2, 2018, с.24-32.
4. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии // Москва: Физматлит, 2008.

5. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А. Технологии освоения высокоминерализованных геотермальных ресурсов // «Теплоэнергетика». Вып. 9, 2017, с.17-24.
6. Инвестиционные проекты (Использование тепла Земли). Вып. 1. - Махачкала: Институт проблем геотермии ДНЦ РАН, 2005.

Reference

1. Alhasov A.B., Alishaev M.G., Alhasova D.A., Kaymarazov A.G., Ramazanov M.M. Exploitation of low-potential geothermal heat. Moscow: Physmatlit, 2012.
2. Alhasov A.B. Technologies of combined exploitation of North-Caucasus geothermal // Teploenergetika, vol. 3, 2018, pp. 31-35.
3. Alhasov A.B., Alhasova D.A. Efficiency assessments for the binary geothermal power plants with use of exhausted oil and gas wells in the South of Russia // Teploenergetika, vol. 2, 2018, pp.24-32.
4. Alhasov A.B. Geothermal energy: problems, resources, technologies // Moscow: Physmatlit, 2008.
5. Alhasov A.B., Alhasova D.A., Ramazanov A.Sh., Kasparova M.A. Technologies of exploitation of high-mineralized geothermal resources // Teploenergetika, vol. 9, 2017, pp.17-24.
6. Investment projects (Use of the heat of the Earth). Vol. 1. - Makhachkala: Institute for Geothermal Problems DNC RAS, 2005.

Prospects for Development of Geothermal Energy in the Republic of Dagestan

Alikirimova Tamila¹, Ninalalov Said^{1,2}

¹ Dagestan State University (DSU), Makhachkala, Russia

²Institute for Geothermal and Renewable Energy Problems - Branch of the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (IGREP JIHT RAS), Makhachkala, Russia

¹E-mail: tamila@list.ru

²E-mail: said2706@gmail.com

Abstract. Several promising projects developed in recent years by scientists from DGU and IGREP JIHT RAS in order to develop the potential of geothermal energy in Dagestan are considered. Combined geothermal-steam-gas power system, combined solar-geothermal heat pump system, construction of binary geothermal power plants using depleted oil and gas fields, technology for processing hydrogen sulfide at ordinary temperatures to produce hydrogen and sulfur, integrated development of highly parametric mineralized hydrogeothermal resources - all these projects have high economic efficiency and promising for implementation.

Keywords: geothermal deposits, geothermal waters, resource development, economic efficiency.

УДК 539.173

К вопросу о существовании промежуточной фазы между кристаллическим и жидким состоянием в плоской плазменно-пылевой системе

Елена Валерьевна Васильева ^[0000-0002-7662-6515]Объединенный институт высоких температур РАН
125412, Россия, Москва

E-mail: elen_vasilieva@mail.ru

Аннотация. В статье представлено интервью с к.ф.-м.н., научным сотрудником лаборатории диагностики пылевой плазмы ОИВТ РАН и лаборатории физики активных сред и систем МФТИ о проводимых экспериментальных исследованиях в области исследования промежуточной фазы между кристаллическим и жидким состоянием в плоской плазменно-пылевой системе. Существование этой фазы впервые экспериментально подтверждено в двумерных структурах в плазме. Исследование физических свойств двумерных систем имеет огромное прикладное значение. Такие исследования сейчас бурно развиваются, обещая в перспективе новые материалы с заданными свойствами и устройства на их основе в сфере микроэлектроники, медицины для секвенирования ДНК и в других областях науки и техники.

Ключевые слова: плазменно-пылевые системы, лабораторный эксперимент, состояние вещества, двумерные системы, плазма

Ученые Объединенного института высоких температур (ОИВТ РАН) и МФТИ экспериментально подтвердили наличие промежуточной фазы между кристаллическим и жидким состоянием в плоской плазменно-пылевой системе [1]. Теоретическое предсказание промежуточной — гексатической — фазы заслужило Нобелевскую премию по физике в 2016 году: премия была присуждена Майклу Костерлицу, Дэвиду Таулессу и Дункану Холдейну с формулировкой «за теоретические открытия топологических фазовых переходов и топологических фаз материи».

В научной статье [2] в журнале Scientific Reports ученые опубликовали свои наблюдения и детальное описание экспериментов, в ходе которых они впервые наблюдали гексатическую фазу в двумерных структурах в плазме. В работе опи-

саны способы точной идентификации точек фазового перехода и представлен детальный анализ структурных свойств такой системы. Полученные в ходе эксперимента данные полностью соответствуют теории Березинского — Костерлица — Таулесса.

Проведенный эксперимент позволяет однозначно заявить о двухступенчатом процессе плавления кристалла и идентифицировать точки фазового перехода “твердое тело — гексатическая фаза” и “гексатическая фаза — жидкость. Продолжительное время проведения эксперимента, достаточное для установления стационарного состояния системы, в сочетании с точными методами управления температурой частиц позволило плавно изменять параметры системы и пронаблюдать гексатическую фазу».

Несмотря на то, что теории Березинского — Костерлица — Таулесса, которая предсказывает двухступенчатое плавление от кристалла к жидкой фазе с образованием промежуточной гексатической фазы, уже более 40 лет, до сих пор не получалось изучить эти процессы в лабораторных плазменных системах. Двумерные переходы уже наблюдались в полимерных коллоидах, магнитных пузырьках в тонких пленках, жидких кристаллах и суперпроводниках, однако экспериментальных подтверждений двухстадийного плавления в пылевой плазме долгое время не было.

Исследование физических свойств двумерных систем имеет огромное прикладное значение. Такие исследования сейчас бурно развиваются, обещая в перспективе новые материалы с заданными свойствами и устройства на их основе в сфере микроэлектроники, медицины для секвенирования ДНК и т. д.

Представленные в статье результаты были получены при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта «Активное броуновское движение кулоновских макрочастиц в плазме и сверхтекучем гелии».

Редакция журнала ОСЭ обратилась к Елене Васильевой с просьбой подробнее прокомментировать прикладные аспекты проведенных исследований. Ниже приведены ответы на наши вопросы:

Каково прикладное значение "двумерных" состояний вещества в сфере новых энергетических технологий? Какие материалы с заданными свойствами позволят создать эти технологии?

Двумерные материалы обладают новыми физическими свойствами и особенностями, которые могут быть востребованы и найти свое применение в различных технологических процессах. К примеру, мы еще со школы знаем, что когда кристалл плавится, то получается жидкость. Но в двумерных системах все по-другому: после кристалла может быть еще одна фаза – гексатика, и только потом жидкость. Вот в нашей работе как раз удалось экспериментально исследовать этот двустадийный фазовый переход.

Двумерный материал – который у всех на слуху – графен. Его уникальные физические свойства открывают различные технологические возможности: здесь и сверхпроводимость, и полупроводники, и огромная теплопроводность. Изучение графена, в свою очередь, зародило интерес к исследованиям свойств и прикладных возможностей других двумерных материалов.

Двумерные материалы выглядят многообещающими и для различных электрофизических и энергетических приложений: для изготовления электродов, аккумуляторов высокой емкости, для технологий преобразования световой энергии в электрическую, созданию защитных экранов и др.

Насколько сложный был процесс экспериментальной работы и есть ли аналогичные работы у иностранных коллег?

Данная работа оказалась успешной благодаря большому числу факторов, которые успешно сложились воедино. Это и уникальный объект исследований – коллоидная плазма, и методика воздействия на систему и подходы к дизайну эксперимента. Исследование коллоидной (пылевой) плазмы ведется в нашей лаборатории уже более 25 лет. Коллоидная плазма – уникальный объект, позволяющий исследовать различные процессы, в том числе неравновесные фазовые переходы, на кинетическом уровне (т.е. отслеживая и анализируя поведения каждого элемента системы) и здесь у нашей группы огромный опыт. Кроме того, в качестве методики воздействия на пылевую структуру было предложено использовать лазер и частицы с металлическим покрытием, способные поглощать лазерное излучение. Таким образом, прецизионно меняя мощность лазерного излучения – мы изменили энергию «закачиваемую» в систему и ее фазовое состояние без изменений параметров окружающей плазмы. Наши коллеги за рубежом, тоже пытались пронаблюдать двустадийный переход в подобной системе, но их подход не позволил сделать этого. Состояние системы они пытались изменять, путем изменения параметров плазмы и действительно пронаблюдали два состояния кристалл и жидкость, но «проскочили» гексатику. Дело в том, что изменяя параметры плазмы, они кардинально меняли всё в этой сложносогласованной системе: концентрацию электронов и ионов, плотность нейтралов и диссипацию, заряд на частицах, их взаимодействие и т.д. Отсюда и результат.

Какие дальнейшие перспективы исследований?

Конечно мы продолжаем исследования в этой области. Применённый подход позволит исследовать еще многие процессы как в двумерных так и в трехмерных системах активных броуновских частиц. Мы ведем эксперименты с Янус частицами, где нашими коллегами из лаборатории уже получены многообещающие результаты. Ведутся эксперименты с активными броуновскими частицами и при криогенных температурах ниже лямбда точки – уже готовятся публикации по данной теме.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-12-00372).

Литература

1. Ученые впервые экспериментально получили промежуточное состояние вещества между кристаллом и жидкостью [Электронный ресурс]. . 2021 URL:

https://mipt.ru/news/uchenye_vpervye_eksperimentalno_poluchili_promezhutochnoe_sostoyanie_veshchestva_mezhdu_kristallom_i.

2. Vasilieva E. V., Petrov O.F., Vasiliev M.M. Laser-induced melting of two-dimensional dusty plasma system in RF discharge // Scientific Reports. 2021. № 1(11). С. 523. DOI:10.1038/s41598-020-80082-x.

References

1. Scientists for the first time experimentally obtained an intermediate state of matter between a crystal and a liquid [Electronic resource]. ... 2021 URL: https://mipt.ru/news/uchenye_vpervye_eksperimentalno_poluchili_promezhutochnoe_sostoyanie_veshchestva_mezhdu_kristallom_i.
2. Vasilieva E. V., Petrov O.F., Vasiliev M.M. Laser-induced melting of two-dimensional dusty plasma system in RF discharge // Scientific Reports. 2021. No. 1 (11). S. 523. DOI: 10.1038 / s41598-020-80082-x.

On the Existence of an Intermediate Phase between the Crystalline and Liquid States in a Flat Plasma-Dust System

Elena Vasilyeva

Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: elen_vasilieva@mail.ru

Annotation. The article presents an interview with Ph. D., a research associate of the Laboratory of Dust Plasma Diagnostics of the Russian Academy of Sciences and the Laboratory of Physics of Active Media and Systems of the MIPT about the experimental research conducted in the field of studying the intermediate phase between the crystalline and liquid states in a flat plasma-dust system. The existence of this phase is experimentally confirmed for the first time in two-dimensional structures in plasma. The study of the physical properties of two-dimensional systems is of great practical importance. Such research is now rapidly developing, promising in the future new materials with specified properties and devices based on them in the field of microelectronics, medicine for DNA sequencing and in other fields of science and technology.

Keywords: plasma-dust systems, laboratory experiment, state of matter, two-dimensional systems, plasma

О проблемах водородной экономики

Дегтярев Кирилл Станиславович ^[0000-0002-1738-6320]^{1,2},
Березкин Михаил Юрьевич ^[0000-0002-6945-2131]^{1,3}

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

²E-mail: kir1111@rambler.ru

³E-mail: mberezkin@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматриваются планы развития водородной экономики в мире. Выявляются технологические, экологические и экономические барьеры на пути реализации амбициозных сценариев роста производства и потребления водорода и проводится оценка реалистичности данных сценариев. Оспаривается распространённое утверждение о водороде как агенте декарбонизации и состоятельность экологической аргументации водородной экономики. Рассматривается ряд возможных реальных причин продвижения идей и планов водородной экономики.

Ключевые слова: водород, водородная экономика, энергетика, проблемы водородной экономики

1 Введение. Новый интерес к водороду и преимущества водорода в качестве энергетического ресурса

Водород производится и используется уже давно, но с 2018-2020 гг. обозначилось резкое повышение интереса к нему как к потенциальному энергетическому ресурсу, получил распространение термин «водородная экономика» (hydrogen economy), и в ряде стран были продекларированы планы многократного увеличения производства водорода.

Появилось множество публикаций на водородную тематику разного формата, включая книги, статьи, материалы многочисленных форумов и конференций. Можно сказать, что интерес к водороду как потенциальному источнику энергии принял взрывной характер.

В первую очередь, водород позиционируется как экологически чистый вид топлива, не оставляющий «углеродного следа при сжигании», и рост его производства и использования рассматривается в контексте «декарбонизации» (decarbonization) и снижения потребления ресурсов [1].

В пересчёте на массу водород обладает высокой теплотворной способностью. Для сравнения – если у природного газа (метана CH_4) она примерно 40-50 МДж (12-15 кВтч) на 1 кг, то у водорода - 120-140 МДж(35-40кВтч), или в 3 раза выше. Водород может использоваться разными способами - как для выработки тепловой и электрической энергии – в том числе, как аккумулятор энергии, так и в качестве транспортного топлива.

Ряд стран сейчас принимает или разрабатывает программы развития водородной экономики. Рассматриваются также перспективы создания мирового рынка водорода с превращением водорода в биржевой товар [2] с большими объёмами торгов.

2 Текущая ситуация с производством водорода и программы его увеличения

В 2017-2019 гг. общий годовой объём производства водорода в мире составлял 55-65 млн. тонн [3], при этом среднегодовые темпы роста на протяжении первых двух десятилетий XXI века не превышали 2%.

Его основные потребители – химическая и нефтеперерабатывающая промышленность, а основной способ получения – почти 70% всего водорода – конверсия метана, при этом, на электролиз приходится всего 5%.

Энергетическое использование водорода – в частности, в качестве транспортного топлива, до последнего времени носило, скорее, экспериментальный характер, представленный отдельными проектами – в частности, проект «водородного шоссе» НуНог в Норвегии [4] и сходные проекты в других странах Европы, США, Японии.

С 2017-2020 гг. ряд стран принимает масштабные водородные программы, предполагающие кратное увеличение производства водорода с перспективами его использования уже в энергетических целях – для получения тепла и электроэнергии, а также в качестве транспортного топлива.

В частности, ЕС опубликовал Дорожную карту развития водородной экономики [5]. Согласно европейской дорожной карте, по состоянию на 2015 год суммарный конечный спрос на энергию в ЕС составлял величину порядка 14 000 ТВтч, из которых на водород приходится 2%, или 325 ТВтч (что эквивалентно около 8 млн. тонн водорода). Далее рассматривается два сценария – инерционный - *businessasusual*, и амбициозный – *ambitious* (табл. 1). Во всех случаях предполагается рост использования водорода во всех секторах хозяйства. При этом, предполагается общее сокращение спроса на энергию – на 35% к 2050 году. При инерционном сценарии годовой объём поставок водорода на рынок ЕС должен составить к 2030 году 12 млн. тонн, к 2050 – более 18 млн. тонн; при амбициозном сценарии – соответственно, более 16 млн. и около 55 млн. тонн.

Таблица 1. Планы роста использования водорода согласно водородной Дорожной карте ЕС

Показатель	2015	2030		2050	
Общий спрос на энергию, ТВтч	14 100	11 500		9 300	
Сценарий	-	Business as usual	Ambitious	Business as usual	Ambitious
Доля водорода, %	2%	4%	6%	8%	24%
Количество водорода, ТВтч,	325	481	665	780	2 251
<i>Эквивалент в тоннах</i>	<i>8 млн.</i>	<i>12 млн.</i>	<i>16 млн.</i>	<i>19 млн.</i>	<i>55 млн.</i>
в том числе по секторам:					
существующие промышленные производства	325	427	427	391	391
новые промышленные производства	-	11	62	1	257
промышленная энергетика	-	11	8	53	237
тепло и электроэнергия для зданий	-	11	33	207	579
транспорт	-	11	70	85	675
генерация электроэнергии, аккумуляция (буферизация)	-	11	65	43	112

В Японии аналогичная Дорожная карта - Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells [6] предполагает рост объёмов использования водорода к 2050 году до 10 млн. тонн в год.

Всего в мире заявлено 228 водородных проектов [7] на всех континентах, при этом основная их часть – в Западной Европе и Восточной Азии.

В России, в свою очередь, программа развития водородной энергетики находится в стадии разработки [8]. Также о стимулировании производства водорода в России, развитии низкоуглеродных технологий для его производства и задачах увеличения экспорта (до 0,2 млн. тонн к 2024 году и до 2 млн. тонн к 2035 году) заявлено в Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года [9]. Пока же из конкретных крупных водородных проектов в России пока можно назвать только проект Сахалинского водородного кластера [10].

Иными словами, в ближайшие десятилетия речь идёт о наращивании рынка водорода на десятки млн. тонн в год. При этом, прогнозы рынка резко различаются.

По сравнительно консервативным оценкам IRENA, Shell, ARENA, годовой объём мирового рынка водорода составит 500-2000 ТВтч к 2050 году [3].

Отметим, что это означает увеличение доли водорода в мировом энергобалансе [11] всего до 0,25%-1,0%. Это означает также рост мирового производства водорода на 12-50 млн. тонн в год, или на 20%-80% относительно нынешнего уровня, что ниже даже отдельно взятого амбициозного европейского сценария. В то же время, более смелые прогнозы по мировому рынку в 5-10 раз выше – до 15 000 ТВтч (400 млн. тонн), или 7%-8% в мировом энергобалансе, и выше.

Более того, по некоторым оценкам, до 24% мирового потребления энергии к 2050 году будет удовлетворяться за счёт водорода [12] (что равносильно производству около 40 000 ТВтч, или 1 млрд. тонн водорода). Однако, в настоящее время отсутствует ответ на вопрос о наличии ресурсов для столь мощного наращивания, тем более, если речь идёт о производстве исключительно «зелёного» водорода за счёт ВИЭ. К этому мы ещё вернёмся.

Большой разброс в оценках неизбежен, исходя из того, что в планах развития водородной экономики пока недостаточно конкретики, представленные цифры носят, в большей степени, декларативный характер.

3 Проблемы использования и наращивания производства водорода

Планы резкого увеличения производства водорода, прежде всего – в Западной Европе и Японии, и их мотивация (декарбонизация экономики) вызывают вопросы.

Основная проблема в том, что водород не является первичным энергоносителем [13], а его производство само по себе является энергозатратным и требует наличия развитой энергетической инфраструктуры и вовлечения больших энергетических ресурсов.

Способ производства водорода, считающийся экологически чистым – электролиз воды, требует примерно 40-50 МВтч электроэнергии на 1 тонну водорода, тогда, как теплотворная способность 1 тонны водорода ниже 40 МВтч (около 36 МВт) даже при 100%-ном КПД. Таким образом, затраты энергии на производство водорода при электролизе выше энергетической ценности получаемого водорода.

При этом, вряд ли водород, даже полученный электролизом, может считаться «зелёным», если электроэнергия для его производства вырабатывается на ископаемом топливе. Экологический смысл его производство имеет только на основе ВИЭ.

Амбициозные планы ЕС предполагают рост годового потребления водорода к 2050 году до 50 млн. тонн. Для производства такого количества водорода посредством электролиза воды потребуются не менее 2000 ТВтч электроэнергии. В 2019 году производство электроэнергии в странах ЕС составило менее 4000 ТВтч [14], из которых на ВИЭ, включая гидроэнергию, пришлось около 1500 ТВтч, или

38%. Таким образом, для производства заявленного объёма водорода потребовалось бы задействовать более 50% всей производимой в настоящее время электроэнергии, а всей выработки электроэнергии за счёт ВИЭ было бы недостаточно.

То же верно и в отношении Японии. Производство способом электролиза 10 млн. тонн водорода требует более 400 ТВтч электроэнергии. В 2019 году в Японии было всего произведено 1040 ТВтч, в том числе за счёт ВИЭ (включая ГЭС) – около 200 ТВтч, или около 20%. Заявленное производство водорода, в таком случае, требует 40% всей производимой в стране электроэнергии и в 2 раза превышает всё производство электроэнергии за счёт ВИЭ.

Таким образом, заявленные амбициозные планы, во-первых, не имеют ресурсной базы; во-вторых, означали бы не декарбонизацию, а обратный процесс – рост выбросов углерода из-за роста производства электроэнергии, необходимой для получения водорода, из невозобновляемых источников.

Если же рассматривать в качестве варианта импорт водорода этими странами, то в этом случае карбонизация просто «сбрасывается» в страны – экспортёры, а ЕС и Япония сохраняют или даже усиливают свою зависимость от импорта энергоносителей.

Другая группа проблем и нерешённых вопросов имеет технологический характер. Она была детально рассмотрена, в частности, в [15; 16].

Технологические проблемы связаны, в значительной степени, с физическими свойствами водорода - при большой теплоотдаче на массу, он обладает низкой плотностью: $0,09 \text{ кг/м}^3$, что в 8 раз ниже, чем у природного газа ($0,75 \text{ кг/м}^3$); таким образом, теплоотдача на объём у водорода в 2,5-3 раза ниже, чем у природного газа. При этом, водород также в высокой степени взрывоопасный газ. Всё это создаёт большие сложности с хранением и транспортировкой водорода.

Существующая газовая инфраструктура не подходит для транспортировки и хранения водорода [15]. Создание же собственно водородной инфраструктуры сопряжено с большими затратами. В частности, только строительство водородной газотранспортной сети в Европе (протяжённостью более 20 тыс. км) оценивается в величину 27 – 64 млрд. евро [17], а 3-4-кратный рост инфраструктуры хранения водорода в мире потребует до 2050 года объёма инвестиций более, чем в \$600 млрд [18].

Общие затраты на производство водорода методом электролиза - 2-6 €/кг [19], или 5-15 евроцентов/кВтч в пересчёте на энергетический эквивалент при КПД, равном 100%. По данным IEA, стоимость производства «зелёного» водорода из возобновляемых источников энергии в 2018 году составляла \$3,0-7,5/кг [20]. Таким образом, затраты на производство 1 млн. тонн водорода при текущих ценах составят более €2 млрд., на 50 млн. тонн – более €200 млрд. в год. При этом не учитывается стоимость хранения и транспортировки водорода.

Кроме того, водородный транспорт в перспективе рассматривается как конкурент электротранспорту. Однако, как показали недавние исследования, проведённые Scania [21], водородные двигатели проигрывают электрическим как с точки зрения стоимости, так и по другим показателям.

Наконец, не вполне решённым остаётся вопрос и об экологических последствиях масштабного использования водорода, в том числе – при неизбежных

утечках некоторого количества. В частности, высказываются опасения, не исключённые на данный момент, по поводу возможного негативного воздействия водорода на стратосферу [22].

Исходя из этого, представления о масштабном увеличении производства водорода для целей декарбонизации экономики выглядят необоснованными.

4 Возможные реальные причины роста интереса к водороду

Возможно, что рост интереса к водороду связан не с экологическими, а какими-либо другими, хотя и реже называемыми, причинами.

Прежде всего, водород может рассматриваться как аккумулятор энергии. Рост доли ВИЭ в энергопотреблении увеличивает нестабильность энергосистемы и повышенную потребность в аккумуляции. Водород может рассматриваться в качестве способа решения данной проблемы. Иными словами, развитие водородной экономики должно идти в одной связке с возобновляемой и, возможно, атомной энергетикой.

Кроме того, в данный момент в западных странах – в США, Японии и Западной Европе идёт снижение энергопотребления. Так, по данным [14], в странах ЕС (включая Великобританию), пик потребления энергии пришёлся на 2006 год – 21,9 тыс. ТВтч, после чего оно постепенно снижается – до 20,5 тыс. ТВтч в 2019 году; потребление электроэнергии – соответственно, с 3,7 тыс. ТВтч в 2008 году до 3,5 тыс. ТВтч в 2019. В Японии общее потребление энергии снизилось с 6,2 тыс. ТВтч в 2005 году до 5,2 тыс. ТВтч в 2019; электроэнергии – с 1,2 тыс. ТВтч в 2008 до 1,04 тыс. ТВтч в 2019. В США годовое потребление энергии с 2000 года варьируется в диапазоне 25-27 тыс. ТВтч с пиком в 2007 году – 26,9 тыс. ТВтч; электроэнергии – с 2007 года колеблется вокруг уровня около 4,4 тыс. ТВтч. Вероятно дальнейшее уменьшение производства и потребления энергии в западных странах.

Это можно связать как с успехами в энергосбережении, так и с изменениями экономической структуры – смещением энергоёмких производств в другие регионы, и общими экономическими проблемами. Следствием этого может стать образование избытка генерирующих мощностей, требующих загрузки. Кроме того, создание новой зоны роста – производства водорода, может рассматриваться как стимул экономического развития и средство преодоления экономической стагнации, возможно, в связке с какими-либо другими направлениями технологического развития.

Наконец, водород в перспективе рассматривается как биржевой товар, что означает использование его в качестве нового глобального финансового инструмента.

В то же время, данный ряд причин вряд ли может в полной мере объяснить амбициозные планы и максимальные прогнозы увеличения производства водорода. Также в переходе к «водородной экономике» не просматривается явного положительного экономического и экологического эффекта для общества в целом, что рождает дополнительные вопросы.

Исходя из этого, наиболее реалистичными представляются умеренные, консервативные прогнозы роста производства водорода в мире, представленные выше.

5 Выводы

Водород в качестве потенциального энергоносителя обладает определёнными физическими и экологическими преимуществами, а продвижение идей и планов развития «водородной экономики» чаще всего объясняют экологическими соображениями – необходимостью декарбонизации экономики. В настоящее время в ряде регионов, прежде всего, в Западной Европе и Японии, продекларированы масштабные планы увеличения производства водорода, при реализации амбициозных сценариев – на порядок, а доля водорода в энергобалансе должна к середине текущего столетия вырасти до 20% и более.

В то же время, водород не является первичным энергоносителем, а, напротив, требует высоких затрат энергии при производстве, превосходящих энергетическую ценность получаемого водорода, что само по себе означает не декарбонизацию, а обратный процесс – рост выбросов в окружающую среду. Более того, для производства водорода в заявленных объёмах в Западной Европе и Японии недостаточно энергетических мощностей.

Помимо этого, высоких затрат потребует создание инфраструктуры хранения, транспортировки и использования водорода, а функционирование этой системы может быть сопряжено с пока не просчитанными негативными экологическими эффектами.

Исходя из этого, можно предположить, что реальные причины продвижения водорода отличаются от чаще всего декларируемых и связаны, прежде всего, с необходимостью аккумулирования энергии, в более широком плане – оживления экономики западных стран и, возможно, другими мотивами, пока не до конца понятными и требующими дальнейших исследований. На данный момент наиболее адекватными представляются консервативные прогнозы увеличения производства водорода в мире к середине XXI века – в пределах 20%-80% относительно нынешнего уровня.

Литература

1. Hydrogen Decarbonization Pathways // Hydrogen Council. URL: <https://clck.ru/TyGQE>, дата обращения 26.03.2021.

2. Invest in the Green Economy: Hydrogen Stocks to Watch. URL: <https://capital.com/hydrogen-stocks> , дата обращения – 26.03.2021.
3. Митрова Т., Мельников Ю., Чугунов Д. Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию // Центр энергетики Московской школы управления Сколково, 2019.
4. Andersen, Otto. Unintended Consequences of Renewable Energy. Problems to be Solved // Springer Science & Business Media, 2013.
5. Hydrogen Roadmap Europe. Report. 2019. URL: <https://clck.ru/TyGSC> , дата обращения – 26.03.2021.
6. Hydrogen Law and Regulation in Japan URL: <https://clck.ru/TyGU6> , дата обращения – 26.03.2021.
7. Hydrogen Insights.McKinsey&Company. February 2021.
8. План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года» // Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 года №2634-р.
9. Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года // Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года № 1523-р.
10. Водородный кластер планируют создать на Сахалине URL: <https://clck.ru/TyGwg>, дата обращения – 26.03.2021.
11. Дегтярев К.С. Динамика мирового энергопотребления в XX–XXI вв. и прогноз до 2100 года // Окружающая среда и энергосбережение, №2/2020, стр. 35-48.
12. Водородная энергетика России и Европы: перспективы рынка на \$700 млрд. URL: <https://clck.ru/TyGZw>, дата обращения – 26.03.2021.
13. Борзенко В.И. Водородная энергетика – состояние и перспективы // Окружающая среда и энергосбережение, №3/2020, с.13-23.
14. BP Statistical Review of World Energy. 2020. URL: <https://clck.ru/TyGb5>, дата обращения 26.03.2021.
15. В. С. Литвиненко, П. С. Цветков, М. В. Двойников, Г. В. Буслаев (2020) Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики. Записки Горного Института. Том 244. С. 428-438. DOI: 10.31897/rmi.2020.4.5.
16. Владимир Литвиненко: Водород не может быть ресурсом глобальной энергетики из-за физических законов окружающего нас мира. URL: <https://clck.ru/TyGcU>, дата обращения 26.03.2021.
17. Газотранспортные компании ЕС представили план водородных сетей протяжённостью 23 тыс. километров // Региональная энергетика и энергосбережение, 20.07.2020. URL: <https://clck.ru/TyGdX> дата обращения 26.03.2021.
18. Bloomberg NEF. Hydrogen Economy Offers Promising Path to Decarbonization URL: <https://clck.ru/TyGez> дата обращения 26.03.2021.
19. Ball, M., . Weeda, M. The hydrogen economy: Vision or reality URL: <https://clck.ru/TyGgA> дата обращения 26.03.2021.
20. The Future of Hydrogen. IEA. Technology report, June-2019 URL: <https://clck.ru/TyGhd>, дата обращения 26.03.2021.
21. Scania Ditches Fuel Cell Trucks To Focus On Full Electric . 30/01/2021 URL: <https://clck.ru/TyGiz/> , дата обращения 26.03.2021.
22. Tracey K. Tromp, *et al.* Potential Environmental Impact of a Hydrogen Economy on the Stratosphere *Science* 300, 1740 (2003); DOI: 10.1126/science.1085169.

References

1. Hydrogen Decarbonization Pathways // Hydrogen Council. URL: <https://clck.ru/TyGQE> , reference date 26.03.2021.
2. Invest in the Green Economy: Hydrogen Stocks to Watch. URL: <https://capital.com/hydrogen-stocks> , reference date – 26.03.2021.
3. Mitrova T., Mel'nikov Yu., Chugunov D. Hydrogen Economy as a Way to Low-Carbon Development // The Energy Centre of Moscow School of Management Skolkovo, 2019.
4. Andersen, Otto. Unintended Consequences of Renewable Energy. Problems to be Solved // Springer Science & Business Media, 2013.
5. Hydrogen Roadmap Europe. Report. 2019. URL: <https://clck.ru/TyGSC> , reference date – 26.03.2021.
6. Hydrogen Law and Regulation in Japan URL: <https://clck.ru/TyGU6> , reference date – 26.03.2021.
7. Hydrogen Insights.McKinsey&Company. February 2021.
8. Activity Plan «Development of Hydrogen Energy Industry in Russia up to 2024» // Edict of the Government of Russian Federation of 12 October 2020 №2634-p.
9. Energy Strategy of Russian Federation up to 2035 // Edict of the Government of Russian Federation of 9 July 2020 № 1523-p.
10. Hydrogen Cluster is to be Created on Sakhalin URL: <https://clck.ru/TyGWG>, reference date – 26.03.2021.
11. Degtyarev K.S. Trends of World Energy Supply in XX–XXI Centuries and Outlook 2100 // Journal of Environmental, Earth, and Energy Study №2/2020, pp. 35-48.
12. Hydrogen Energy Industry of Russia and Europe: Market Prospects of \$700 Billion. URL: <https://clck.ru/TyGZw>, reference date – 26.03.2021.
13. Borzenko V.I. Hydrogen Energy – State and Prospects // Journal of Environmental, Earth, and Energy Study, №3/2020, pp.13-23.
14. BP Statistical Review of World Energy. 2020. URL: <https://clck.ru/TyGb5>, reference date 26.03.2021.
15. V. S. Litvinenko, P. S. Tsvetkov, M. V. Dvoynikov, G. V. Buslaev (2020). Barriers of Realization of Hydrogen Initiatives in the Context of World Energy Industry Sustainable Development. Institute of Mines Papers. Vol. 244. P. 428-438. DOI: 10.31897/pmi.2020.4.5.
16. Vladimir Litvinenko: Hydrogen Can't be a Resource of Global Energy Industry due to the Physical Principles of Our World. URL: <https://clck.ru/TyGcU>, reference date 26.03.2021.
17. Gas-transporting Companies of EU Presented a Plan of Hydrogen Network of 23 Thousand Km Length // Regional Energy and Energy Saving, 20.07.2020. URL: <https://clck.ru/TyGdX> дата обращения 26.03.2021.
18. Bloomberg NEF. Hydrogen Economy Offers Promising Path to Decarbonization URL: <https://clck.ru/TyGez> reference date 26.03.2021.
19. Ball, M., . Weeda, M. The hydrogen economy: Vision or reality URL: <https://clck.ru/TyGgA> reference date 26.03.2021.
20. The Future of Hydrogen. IEA. Technology report, June-2019 URL: <https://clck.ru/TyGhd>, reference date 26.03.2021.
21. Scania Ditches Fuel Cell Trucks To Focus On Full Electric . 30/01/2021 URL: <https://clck.ru/TyGiz> reference date 26.03.2021.
22. Tracey K. Tromp, *et al.* Potential Environmental Impact of a Hydrogen Economy on the Stratosphere *Science* 300, 1740 (2003); DOI: 10.1126/science.1085169.

On the Problems of Hydrogen Economy

Degtyarev Kirill ^{1,2}, Berezkin Mikhail^{1,3}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²E-mail: kir11111@rambler.ru

³E-mail: mberezkin@inbox.ru

Abstract. The article views on the plans of hydrogen economy in the World. There are exposed the technological, environmental, and economic barriers on the way of the ambitious hydrogen scenario and evaluated their feasibility. The work opposes the mainstream representation of hydrogen as an agent of decarbonization, as well as consistency of environmental reasoning for hydrogen economy. There are discussed a number of probable real reasons for advance of hydrogen economy ideas and plans.

Key words: hydrogen, hydrogen economy, energy, problems of hydrogen economy.

УДК 628.811

Современное состояние обеспечения водными ресурсами Республики Кипр

Покрытан Георгий Павлович^[0000-0002-4070-4200]

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

E-mail: bylek@mail.ru

Аннотация. Климатические изменения в мире влияют на растущий дефицит пресной воды. Государствам Средиземноморского региона, которые уже столкнулись с последствиями этих изменений, необходимо учитывать климатический фактор при управлении водными ресурсами. На примере Республики Кипр были изучены и оценены конкретные адаптационные меры на основе их эффективности, устойчивости в условиях неопределенности изменения климата и их устойчивости в экологических, социально-экономических секторах, а также были рассмотрены потенциальные барьеры и риски, связанные с осуществлением адаптации. Представленный обзор показал, что многие из принятых мер, которые рассматриваются для устранения воздействия изменения климата на водные ресурсы, увеличивают адаптивный потенциал водного сектора, однако его общая уязвимость остается высокой, так как спрос на воду все еще не удовлетворен в определенных областях и/или для определенных видов использования во время засухи.

Ключевые слова: обзор, пресная вода, изменение климата, адаптация, управление водными ресурсами, Кипр

1 Введение

Быстрые климатические изменения наблюдаются во многих частях мира, и Средиземноморская субтропическая зона является одной из них. Для нее типичны засухи, однако, их частота и длительность в последние годы увеличивается. Многие страны этого региона, например, Испания, Италия, Греция, Республика Кипр, испытывают растущий дефицит воды, что неблагоприятно для их экономического развития в сельскохозяйственном, лесном и туристическом секторах, а также в коммунальном водоснабжении. Более того, считается, что повышение температуры воды и изменение режима осадков, увеличение интенсивности и частоты экстремальных погодных явлений, в частности, удлинение периодов

засухи, усугубляют многие формы загрязнения воды. Наконец, возможное повышение уровня моря вызовет засоление прибрежных водоносных горизонтов с низким уровнем воды. Это ведет к потенциальной уязвимости не только для водных ресурсов, но и для человеческого общества и экосистем [1].

Управление водными ресурсами сталкивается и с другими существующими и возникающими трудностями, такими как, растущий спрос на воду и вызванное антропогенной деятельностью ухудшение качества воды, которые, как ожидается, только усугубятся с изменением климата. Следовательно, при принятии решений по управлению необходимо также учитывать климатические изменения в рамках стратегии адаптации для повышения устойчивости водных ресурсов к этим изменениям [2-3].

Наибольшая частота засух в Европе за последние 30 лет была зарегистрирована на Кипре [4]. Ожидается, что в 21 веке среднегодовое количество осадков на Кипре будет уменьшаться на 1,73 мм в год, а повышение температуры может достигнуть 4 °C [5]. При таких условиях для сохранения достаточного объема, качества и доступности водных ресурсов очевидна необходимость немедленного применения регулирующих мер. В данном обзоре были изучены и оценены конкретные меры, применяемые в Республике Кипр, на основе их эффективности, устойчивости в условиях неопределенности изменения климата и их устойчивости в экологических, экономических и социальных условиях, а также были рассмотрены потенциальные барьеры и риски, связанные с осуществлением адаптации.

2 Водообеспечение и водопользование

На Кипре отсутствуют постоянные водотоки. Большинство рек, имеющих преимущественно дождевое питание, берут начало на склонах гор Троодос. Летом все реки пересыхают, и русла наполняются водой уже только после зимних дождей. Паводки весенние и зимние. Ежегодно возобновляемые водные ресурсы ограничены и составляют приблизительно 1 км³, водообеспеченность свыше 900 м³/чел. в год. На значительных территориях происходит загрязнение водотоков сточными водами, а также интрузии морских вод в подземные водоносные горизонты.

Согласно данным Департамента развития водных ресурсов Кипра (Water Development Department), основным потребителем воды в Республике является сельскохозяйственная отрасль (64%), затем идет жилой сектор (28,4%), туризм (4,7%) и промышленность (2,9%). Ежегодный общий спрос на воду в районах, находящихся под государственным контролем на 2019 г., оценивается примерно в 266 млн. м³ [6]. Наибольшая доля воды потребляется в районе Никосии (31% от

общего спроса), где находится столица Республики Кипр, тогда как другие районы Лимассола, Ларнаки, Пафоса и Фамагусты составляют 22%, 19%, 16% и 10% от общего потребления воды соответственно.

По данным отчета Европейской федерации национальных ассоциаций водоснабжения (European Federation of National Associations of Water Services) за 2020 г. средний расход воды в Республике составляет 140 литров на душу населения в день. Средняя стоимость воды за 1 м³ составила 1,82 евро [7].

Водные ресурсы Кипра считаются весьма уязвимыми при изменении климата, поскольку они уже ограничены из-за засушливого климата острова. Доступность пресноводных ресурсов почти полностью зависит от длительности засушливых периодов. Кроме того, ограничения в водоснабжении, налагаемые в периоды засухи, часто заставляли частных потребителей воды незаконно забирать воду из скважин (косвенный эффект изменения климата), что привело к дальнейшему ухудшению количественного состояния грунтовых вод [4].

3 Адаптационные меры

Как меры спроса, так и предложения в основном сосредоточены на сельскохозяйственном и жилом секторах, которые являются двумя секторами, зависящими от потребления воды, которые жизненно важны для благосостояния людей и вместе составляют более 85% общего потребления воды в стране. Другие сектора, такие как промышленность и туризм, до сих пор не рассматриваются в государственной политике правительства, за исключением некоторых особенно интенсивных потребителей водных ресурсов (например, орошения полей для гольфа).

3.1 Меры предложения

Меры по увеличению запаса пресной воды на Кипре относятся к проектам в области водохозяйственной инфраструктуры, таким как строительство водохранилищ, переброска воды и сбор дождевой воды. Однако такие меры повлекут за собой изменение физических характеристик водных объектов допускаются только в особых обстоятельствах (например, для обеспечения достаточного снабжения питьевой водой при условии, что соблюдены все необходимые меры для смягчения неблагоприятных экологических последствий).

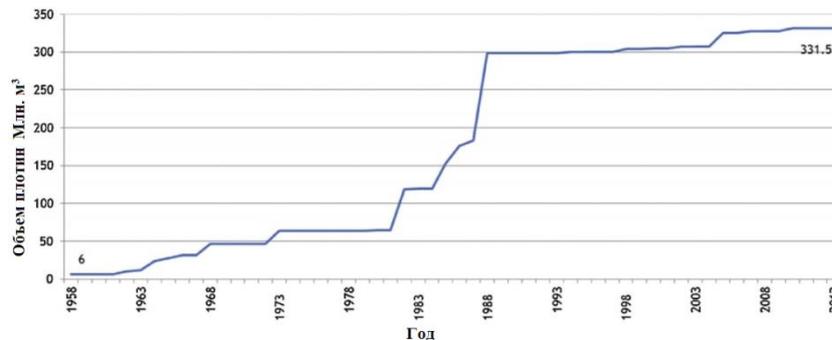


Рис. 1. Изменение объема водохранилищ в период 1958-2013 гг. [6].

Пропускная способность водохранилищ на Кипре начала значительно увеличиваться с 1960 г. с 6 млн. м³ до 332 млн. м³ в 2013 г. и остается на этом уровне по состоянию на 2020 год (рис. 1). Всего было построено 108 водохранилищ, из которых 57 считаются большими по данным Международной комиссии по крупным водохранилищам (ICOLD). Самое большое водохранилище Кипра - Курис. Плотина была открыта 22 апреля 1989 г. и расположена в 15 км от побережья Лимассола. Её объем составляет около 115 млн. м³. По количеству крупных водохранилищ на квадратный километр в европейских странах-членах ICOLD Кипр занимает первое место в Европе. Что касается доступного объема хранения на человека, то Кипр занимает пятое место среди этих стран с 400 м³ емкости для хранения воды на душу населения. Однако, несмотря на развитую инфраструктуру, предназначенную для сбора и хранения поверхностных вод на Кипре, имеющихся ресурсов пресной воды по-прежнему недостаточно для удовлетворения спроса на воду. В частности, индекс водопользования (ИВП) который показывает отношение общего годового объема водозабора к долгосрочному среднегодовому объему возобновляемых ресурсов пресных вод и служит основой для проведения различия между регионами с ненапряженным и напряженным водным режимом, для Кипра составляет 70%. Это намного выше по сравнению с другими странами и превышает верхний порог в 40%, что указывает на острую нехватку воды.

В целом, помимо многочисленных преимуществ, которые водохранилища дают людям и экономике, они оказывают ряд неблагоприятных воздействий на окружающую среду, связанных с затоплением территории при их строительстве, а также с социально-экономическими последствиями, связанными с перемещением общин и утратой их экономической деятельности (например, сельское хозяйство). Наконец, что не менее важно, изменение режимов стока вниз по течению

нию из-за удержания воды и накопление отложений при плотинах связано с несколькими неблагоприятными воздействиями на биоразнообразие и экономическую деятельность в этих районах [8], а также с эрозионными процессами.

Хотя на Кипре было построено большое количество водохранилищ, не все районы были расположены на доступном расстоянии, в то время как их строительство на малых высотах, где расположено большинство основных городских центров Кипра, было невозможным. В результате эти районы полагались исключительно на ресурсы подземных вод для удовлетворения их потребностей в питьевой и оросительной воде, что привело к значительному сокращению запасов подземных вод. Правительство приняло ряд проектов по объединению водных ресурсов рек, водохранилищ и водоносных горизонтов для переброски воды из районов с достаточными запасами в районы с ограниченными запасами воды. Всего было осуществлено 5 проектов переброски воды. Крупнейшим проектом по перераспределению воды, реализуемым на Кипре, является Южно-Конвейерная система (обеспечивает 75% населения Ларнаки, Лимассола, Никосии и Фамагусты питьевой водой), в то время как другие проекты также осуществляются, главным образом, для обеспечения орошения в сельскохозяйственных районах. По оценкам, в среднем 25% культивируемых районов в период 2008-2012 гг были снабжены оросительной водой из этих проектов.

Следующий способ – сбор дождевой воды – процесс сбора и хранения дождевой воды для дальнейшего повторного использования в сельском хозяйстве для орошения и для домашних хозяйств для непищевых применений (например, смыв туалета, прачечная, мойка автомобилей, садовый полив). Дождевая вода собирается с крыш или поверхностей земли и хранится в резервуарах или прудах. На Кипре предоставляются субсидии фермерам в рамках Программы развития сельских районов для реализации внутрихозяйственных методов сбора дождевой воды с устройством небольших водоемов на сельскохозяйственных угодьях. Эта мера направлена на содействие устойчивому использованию водных ресурсов и предотвращению чрезмерной эксплуатации подземных вод.

Однако собранная дождевая вода может содержать различные загрязнители, такие как пылевые частицы, микроорганизмы, тяжелые металлы и органические вещества, в зависимости от качества атмосферы, предшествующего периодам сухой погоды и поверхности водосбора [9-11], а значит, требует очистки перед использованием.

Пополнение водоносного горизонта за счет сбора дождевой воды превосходит запасы воды в водохранилищах с точки зрения потерь и емкости. В частности, пополнение водоносного горизонта не влечет за собой потери воды из-за испарения в отличие от водохранилища, в то время как емкость водоносного горизонта

намного выше, чем у водохранилищ. Кроме того, сбор дождевой воды в городских центрах Кипра не влияет на круговорот воды и образование отложений, как это происходит при хранении в водохранилищах, поскольку они расположены на низменных участках и/или в прибрежных районах. Однако городской дождевой сток может быть загрязнен транспортными средствами, домашними хозяйствами, домашними животными и т. д.

Меры по использованию ресурсов, не связанных традиционными источниками пресной воды.

Существует большой потенциал для использования альтернативных ресурсов, не связанных с пресной водой (таких как морская вода, сточные воды и «серая вода»), для смягчения и так достаточно высокой нагрузки на ресурсы пресной воды. Их основное преимущество перед пресноводными ресурсами связано с их доступностью, которая является непрерывной и не зависящей от осадков, что позволяет и повысить надежность и безопасность водоснабжения.

Кроме того, переработанные *сточные воды и «серая вода»* могут использоваться для непищевого использования с более низкими требованиями к качеству (например, орошение зеленых насаждений и некоторых культур, промышленное применение, подпитка грунтовых вод, отдельные типы использования в рекреации, увеличение объема поверхностных вод), что способствует сохранению высоких качеств пресной воды.

Главной мерой является *опреснение*. Оно имеет двойное преимущество, поскольку помимо увеличения количества питьевой воды пресная вода, замещенная опресненной водой, может использоваться для орошения в сельском хозяйстве, что приводит к увеличению ирригационного водоснабжения. В 1997 г. была введена в эксплуатацию первая опреснительная установка.

После интенсивной засухи 2008 г., когда наблюдался серьезный дефицит воды и для многих домашних хозяйств были введены серьезные сокращения водопотребления, правительство решило полностью отделить зависимость водоснабжения городских и туристических районов от осадков и удовлетворения максимального спроса в летний период с расширением производственных мощностей по опреснению воды.

Производственная мощность опреснительных установок постепенно увеличивалась с 13 млн. м³ в 1997 г. до 69 млн. м³ в 2014 г. Общая минимальная производственная мощность опреснительных установок, работающих в 2013 г. (63,2 млн. м³/год), смогла удовлетворить 81% общего объема питьевой воды из правительственных проектов. Однако было использовано только 14% (10,7 млн. м³/год) опреснительной мощности, так как высокие количества осадков увеличивали запас воды в водохранилищах. В результате правительство решило перевести

опреснительные установки в «режим ожидания» и использовать вместо этого запасы пресной воды. Так было и в 2012 г. [12]. Стоит отметить, что поскольку опреснительные установки служат только основным городским центрам Кипра, другие районы, такие как горные сообщества, по-прежнему зависят от ресурсов пресной воды (главным образом подземных) для удовлетворения своих потребностей в питьевой воде.

Опреснение воды является надежным источником непрерывного снабжения питьевой водой. Тем не менее, опреснение является капиталоемкой и энергоемкой технологией, которая связана с воздействием на окружающую среду, таким как выброс парниковых газов [13-14] и производство остаточного концентрата (рассол). Избытки соли сбрасываются в море, что уже повлияло на снижение видового разнообразия прибрежной морской биоты. Следовательно, опреснение небезопасно экологически и затратно экономически. В этом направлении были предприняты различные попытки устранения негативных последствий, однако их экономическая жизнеспособность еще не доказана.

Повторное использование очищенных сточных вод, производимых на муниципальных очистных сооружениях, обеспечивает дополнительное «засухоустойчивое» водоснабжение, способствует более локальному источнику воды и минимизирует использование высококачественных источников воды там, где это необязательно. Восстановленная вода может использоваться после надлежащей очистки в сельскохозяйственных и ландшафтных ирригационных системах, промышленности, в непитьевых городских применениях, в рекреационных и экологических целях, а также в непрямых питьевых применениях (пополнение водоносных горизонтов, увеличение запасов поверхностных вод).

На Кипре ограниченная доступность пресной воды, увеличение спроса на воду и увеличение объемов очищенных сточных вод в результате расширения инфраструктуры использования сточных вод создают значительный потенциал для вторичного использования стоков, подвергшихся очистке. Мощность новых станций очистки в 2012 г. составила 59 млн. м³/год, в то время как к 2025 г. планируется довести их до 86 млн. м³/год [4]. Обработанные стоки уже используются с 2004 г. для орошения некоторых сельскохозяйственных культур и для искусственного пополнения низкокачественного водоносного горизонта. Когда потребность в оборотной воде низка (например, в зимние месяцы), вода хранится в резервуарах или водохранилищах (для питьевой воды), а если резервуары для хранения заполнены, вода сбрасывается в море. В среднем 72% «восстановленной по качеству» воды в период 2004–2012 гг. использовалось для орошения, 15% для пополнения водоносного горизонта, 3% было переброшено в водохранилища, а оставшиеся 10% были сброшены в море (рис. 2).

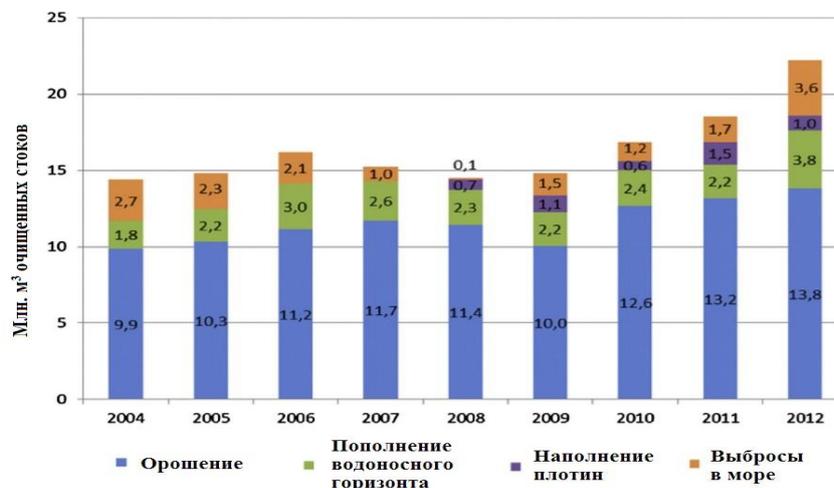


Рис. 2. Использование очищенных сточных вод на Кипре, 2004-2012 [15].

Использование оборотной воды для орошения на Кипре началось в 1998 г. с небольшого количества и достигло 14,6 млн. м³ в 2012 г., удовлетворяя примерно 9% общих потребностей в орошении. Основными культурами, которые в настоящее время орошаются очищенной водой на Кипре в зависимости от качества воды, являются кормовые и технические культуры, citrusовые, овощи и оливки [15]. Общие потребности в воде этих культур в 2014 г. составляли 70–80% от всех культур [16]. По данным Департамента развития водных ресурсов на период с 2010 по 2019 гг. средний объем используемой оборотной воды находится на уровне около 18 млн. м³ в год с постепенным увеличением этих значений до 24 млн. м³ в 2019 г. [6]. Цель состоит в том, чтобы заменить 40% пресной воды, используемой для орошения, очищенными стоками [17]. Стоит отметить, что цены на оборотную воду в три раза ниже, чем на пресную воду, в зависимости от применения.

Избыточные концентрации питательных веществ в оборотной воде могут привести к эвтрофикации водоемов и отрицательно повлиять на физические свойства почв (пористость). Кроме того, тяжелые металлы в сточных водах могут сохраняться в сточных водах, используемых для орошения, что приводит к их накоплению в почвах, где существует риск поглощения сельскохозяйственными культурами [18]. Наиболее важные проблемы связаны со стойкими органическими микрозагрязнителями (циано-соединения, хлорорганические и фосфорорганические пестициды, гербициды, детергенты и т.д.), которые многие из существующих процессов очистки сточных вод не могут полностью удалить. Поскольку микрозагрязнители могут представлять серьезную угрозу для здоровья людей и

животных, остается первоочередной задачей оптимизация очистки сточных вод и организация мониторинга микрозагрязнителей.

Следующей мерой является *повторное использование серых вод*. Серая вода - вода, которая однажды уже была использована для каких-то бытовых потребностей, например, для мытья посуды, принятия душа и т.д., и она строго исключает «черную воду» из туалетов. Она представляет собой потенциально важный источник воды для домашних хозяйств, поскольку она составляет примерно 75% бытовых сточных вод [19], которые производятся на регулярной основе, и может использоваться для низкокачественных бытовых применений, таких как смыв унитаза, садовый полив и мойка автомобилей [10].

Тем не менее, очистка серых вод характеризуется более низким качеством по сравнению с дождевой водой, поскольку она может содержать патогенные микроорганизмы, моющие средства, мыло, биогенные элементы, соли, масла, жиры и частицы волос, продуктов питания и т.д., тогда как высокая температура из-за использования теплой воды способствует микробному росту. Кроме того, повторное использование серых вод может приводить к экологическим рискам, связанным с ухудшением характеристик почвы, уменьшением темпов роста растений и загрязнением поверхностных и грунтовых вод

На Кипре существует программа субсидий для сокращения потребления питьевой воды, которая предусматривает, среди прочего, значительную (до 3000 евро) экономическую поддержку для установки систем очистки серой воды, чтобы использовать обработанную серую воду для промывки унитаза и садоводства в домашних хозяйствах, а также в школах, военных лагерях и других общественных местах, где компетентные органы могут контролировать работу системы и качество сточных вод. Основной проблемой является нежелание общественности использовать серые воды.

3.2 Меры по снижению спроса на воду.

Меры, касающиеся спроса, являются предпочтительными в отношении мер со стороны предложения, поскольку они считаются более устойчивыми в экологическом и экономическом отношении, а также характеризуются большей гибкостью [20-21]. Эффективное использование воды приводит к значительному сокращению потребления, поскольку, по оценкам, примерно 20-40% воды в Европе теряется из-за неэффективного использования.

Одной из таких мер является *замена водораспределительных сетей*. Потери воды в бытовых водораспределительных сетях, в основном в сельской местности, достаточно высоки на Кипре. По оценкам, «неучтенная» вода в основных городских распределительных сетях составляет 15–20% и около 20–30% в сельской

местности. Предпринимаются постоянные меры по замене сетей водоснабжения и обнаружению неисправного оборудования. В частности, Советы по водоснабжению в городских районах вкладывают средства в замену и улучшение своих сетей, а также в современные системы мониторинга, которые способствуют своевременному выявлению утечек и замене неисправных труб. Тем не менее, большая часть городской водопроводной сети насчитывает более 40 лет работы и требует замены. Исследования, проведенные в сетях водоснабжения сельских районов, показали, что более 80% сетей были заменены примерно для 60% муниципалитетов. Это же исследование показало, что значительная доля сетей (16%) старше 25 лет, а некоторым - более 50 лет. Ожидается, что экономия воды при замене сетей будет иметь большое значение по сравнению с другими возможными мерами по экономии воды.

Следующая мера – *управление использованием подземных вод*. В прошлом контроль над незаконным бурением скважин и перекачкой на Кипре был недостаточным. В результате, только 2 из 19 подземных водных объектов, которые находятся под эффективным контролем правительства Кипра, не перегружены что свидетельствует о сильном давлении на них. Согласно положениям Водной рамочной директивы ЕС, которая учитывает тенденции в уровне подземных вод, а также в объеме неконтролируемого забора подземных вод, 11 из 19 подземных водных объектов были охарактеризованы как находящиеся в плохом количественном состоянии. Закон об интегрированном управлении водными ресурсами 79 (I) / 2010 устанавливает новые требования для предоставления разрешений, касающихся бурения и забора вод из скважин. Кроме того, закон предусматривает установку и мониторинг счетчиков воды в скважинах с целью контроля пределов, установленных для забора воды. Ожидается, что установка счетчиков воды позволит устранить нарушения.

Консолидация (объединение) земель представляет собой еще одну меру, которая напрямую связана с уменьшением спроса на воду за счет сокращения фрагментации сельскохозяйственных угодий, возможности для масштабных решений в оросительных работах и достижения значительной экономии воды.

Трудно оценить эффективность перераспределения мелких хозяйств орошаемых земель и его вклада в качестве меры по экономии воды. Однако орошаемые районы, которые были объединены, показали повышенную эффективность орошения, поскольку в этом случае применение улучшенных ирригационных систем является более осуществимым, что приводит к экономии оросительной воды.

Важнейшей мерой спроса является *цена на воду*. Согласно сообщению ЕС о нехватке воды и засухе (2007), политика ценообразования на воду должна быть эффективной, чтобы успешно отражать особенности источника. Следовательно,

гибкие тарифы на воду должны применяться для обеспечения стимулов для эффективного водопользования.

Принцип «пользователь платит» должен применяться повсеместно, независимо от источника воды, при условии, что домашние хозяйства могут позволить себе расходы на поставку питьевой воды. Кроме того, структура тарифов должна предусматривать четкое различие между основным внутренним использованием и другими видами использования (например, туристической отраслью), с тем, чтобы обеспечить адекватный вклад различных видов водопользования в достижение возмещения затрат

На сегодняшний день стоимость услуг водоснабжения на Кипре рассчитывается исключительно на основе возмещения финансовых затрат на поставку воды в то время как затраты на использование природных ресурсов не принимаются во внимание [22].

Последней мерой спроса является *разъяснительная работа среди граждан*, которая необходима для формирования устойчивой и эффективной культуры экономии воды. Кампании по повышению осведомленности граждан на Кипре активизировались в последнее десятилетие, включая лекции в школах, рекламу, распространение информационных листовок и другие инициативы. В целом, сложно оценить их эффективность при реальной экономии воды; тем не менее, тенденция к снижению потребления воды наблюдалась после 2004 г., когда увеличилось количество таких кампаний. Однако, поскольку проблема все еще сохраняется, информационные, образовательные и учебные мероприятия должны стать приоритетом для действий.

3.3 Меры по снижению воздействия засухи.

Мы проводим четкое различие между засухой и нехваткой воды. Согласно ЕС (2008), термин «нехватка воды» используется для описания долгосрочной ситуации, когда доступность воды недостаточна для удовлетворения потребности в воде, тогда как термин «засуха» относится к временному значительному снижению доступности воды и является естественным явлением. Борьба с засухой является важным элементом политики и стратегий в области водных ресурсов в ЕС, особенно в районах, подверженных засухе, таких как Кипр. Недавний эпизод засухи 2008 г. на Кипре показал, что уровень готовности был неадекватным и неэффективным. Борьба с воздействием засухи была довольно ограничена и состояла в основном из чрезвычайных мер, таких как импорт воды и обширные ограничения в водоснабжении.

В настоящее время большинство жителей городских районов Кипра имеют надежный доступ к питьевой воде, поскольку они подключены к надежным системам водоснабжения (например, опреснительным установкам), и, таким образом, они защищены от засухи. С другой стороны, сельское население и фермерские хозяйства по-прежнему чувствительны к засухе. Для этой второй группы проблема засухи решается на протяжении многих лет главным образом с помощью ситуационного подхода (например, бурение скважин, строительство водохранилищ) с ограниченной эффективностью, поскольку запасы пресной воды истощаются во время засухи. Для повышения адаптивной способности и устойчивости запасов водных ресурсов к таким явлениям меры по борьбе с засухой должны осуществляться в рамках долгосрочного плана активной готовности к борьбе с засухой. Кроме того, готовность к засухе может привести к снижению экономических потерь и затрат, связанных с проведением политики реагирования [23].

Для устранения воздействия сильной засухи на наличие питьевой воды на Кипре летом 2008 г. из Греции было экстренно доставлено 3,3 млн. м³ воды, а в следующем году было импортировано 2 млн. м³. Эта мера была жизненно важной для обеспечения Лимасола питьевой водой, который столкнулся с острыми проблемами истощения запасов воды [24].

Водные ограничения представляют собой неизбежное решение, которое применяется, когда другие меры не смогли предотвратить недостаточную доступность воды. Это неэффективное и несправедливое средство для сбалансирования предложения и спроса на воду с социальной, экологической и экономической точек зрения, поскольку вода может быть распределена для использования потребителями с более низкой социальной и экологической ценностью (например, в целях туризма) [14, 25], при этом сокращая доходы от водоснабжения, которые в противном случае можно было бы инвестировать в повышение эффективности водоснабжения и водопользования [26]. С другой стороны, ограничения, если они разумно спроектированы, могут считаться более справедливыми по сравнению с высокими ценами на воду, поскольку так вода распределяется тем, кто в ней больше всего нуждается, а не тем, кто может себе это позволить.

4 Заключение

Средиземноморские государства принимают различные меры для увеличения поставок пресной воды: строительство новых водохранилищ, использование инновационных технологий в орошении, переработка очищенных сточных вод, опреснение морской воды и т.д. Большинство из них являются дорогостоящими

и экологически небезопасными из-за повышенного потребления энергии, механических нарушениях экосистем, токсичных отходов и т.д. Малоотходные процессы и экологически безопасные технологии могут быть использованы в качестве дополнительного варианта снабжения пресной водой, демонстрируя возможности более чистого производства для многих государств этого региона в условиях меняющегося климата.

Что касается Кипра, то представленный обзор показал, что многие из принятых мер уже разрешили проблему ограниченного водообеспечения, так как непрерывное снабжение питьевой водой основных городских районов было в значительной степени обеспечено опреснительными установками. С другой стороны, применяемым мерам еще не удалось полностью удовлетворить потребность в воде для орошения, поскольку пресная вода является основным источником воды в сельском хозяйстве, в то время как оборотная вода удовлетворяет небольшую долю потребности в воде для орошения (приблизительно 10%).

Меры, которые рассматриваются для устранения воздействия изменения климата на водные ресурсы, увеличивают адаптивный потенциал водного сектора, однако его общая уязвимость остается высокой, поскольку спрос на воду все еще не удовлетворен в определенных районах и/или для определенных видов использования во время засухи. Необходим сдвиг в сторону более сбалансированного и комплексного подхода к управлению водными ресурсами, согласно которому несмотря на проведение мероприятий по удовлетворению повышенного спроса, любые негативные воздействия от реализации этих мер сводятся к минимуму. Если доступность воды все еще не обеспечена, можно было бы использовать или дополнительно поощрять такие меры предложения, как эксплуатация сточных вод, серой и дождевой воды. Вклад восстановленной воды в ирригационное водоснабжение может быть еще больше увеличен, в то время как она также может быть использована в городских условиях. Использование серой воды может в дальнейшем поощряться и в домашних хозяйствах, и в крупных зданиях, в то время как дождевая вода также может быть переработана в аналогичных целях, что снижает потребность в опреснении воды.

Литература

1. Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Eds.). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat, Geneva, 2008. - 210 p.
2. Hallegatte, S., 2009. *Strategies to adapt to an uncertain climate change// Global Environmental Change*, - vol. 19, issue 2, 2009. – pp. 240–247.

3. Nelson, D.R., Adger, W.N., Brown, K. Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework// *Annual Review of Environment and Resources*, - vol.32, 2007. – pp. 395–419
4. Papadaskalopoulou C., Katsoub E., Valtaa K., Moustakas K., Malamis D., Dodou M. Review and assessment of the adaptive capacity of the water sector in Cyprus against climate change impacts on water availability// *Resources, Conservation and Recycling*, - vol. 105, Part A, 2015. - pp. 95-112
5. Cleridou N., Benas N., Matsoukas C., Croke B., Vardavas I. Water resources of Cyprus under changing climatic conditions: Modelling approach, validation and limitations// *Environmental Modelling and Software*, - vol. 60, 2014. - pp. 202-218.
6. Water Development Department [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index_en/index_en?OpenDocument , Дата обращения – 23.06.2020
7. EurEau - Water matters, the views of Europe's water sector [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.eureau.org/> , Дата обращения – 14.10.2020
8. Ghassemi F., White I. Inter-Basin Water Transfer, Case Studies from Australia, United States, Canada, China and India // *International Hydrology Series*. - Cambridge University Press, New York, 2007. – 462 p.
9. Helmreich B., Horn H. Opportunities in rainwater harvesting// *Desalination* №248 (1), 2009. – pp. 118–124.
10. Li Z., Boyle F., Reynolds A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland// *Desalination* №260 (1), 2010. – pp. 1–8.
11. Silva C., Sousa V., Carvalho N. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: application to single-family residences// *Resources, Conservation and Recycling* №94, 2015. – pp. 21-34.
12. Kyriakides E. Desalination – The Cyprus Experience. Presentation at the 4th International Conference on Renewable Energy Sources and Energy Efficiency, 7 June 2013, Nicosia. Water Development Department, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Republic of Cyprus, Nicosia, 2013 [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/E98E46A1550BE936C2257B8F0039DDBD/\\$file/4th conf%2007JUN2013.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/E98E46A1550BE936C2257B8F0039DDBD/$file/4th%20conf%2007JUN2013.pdf) , Дата обращения – 15.10.2018
13. Hoang M., Bolto B., Haskard C., Barron O., Gray S., Leslie G. Desalination in Australia. Water for a Healthy Country Flagship Report Series. - CSIRO, Clayton, Victoria, 2009. – 26 p.
14. Sahin O., Siems R., Stewart R., Porter M. Paradigm shift to enhanced water supply planning through augmented grids, scarcity pricing and adaptive factory water: a system dynamics approach// *Environmental Modelling & Software* №75, 2016. – pp. 348-361
15. Larkou Giannakou. Wastewater treatment and reuse in Cyprus. In: Presentation to the Seminar “Municipal wastewater treatment and use”. State General Laboratory, Nicosia, 2013 [Электронный ресурс] Режим

- доступа:
[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/D90D6214D399F93CC2257B8F0038B02C/\\$file/XrisiAnakiklomenou.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/D90D6214D399F93CC2257B8F0038B02C/$file/XrisiAnakiklomenou.pdf) , Дата обращения - 12.12.2018
16. Markou M., Papadavid G., Stilianou A. Production, productivity and trade prospects of agricultural products. Management of Water Resources and Restructuring of Cultivations – Working Document. Ministry of Agriculture, Water Resources and Environment, Republic of Cyprus, Nicosia, 2015.
 17. Hadjigeorgiou P. Reuse of treated effluent in Cyprus. In: Presentation at the WG PoM 2nd Meeting, 25–26 March 2014, Brussels [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.rioc-noticias.org/IMG/pdf/TR1-9_Reuse_of_Treated_Effluent_in_Cyprus_-_Panayota_Hadjigeorgiou.pdf , Дата обращения - 28.04.2018
 18. Toze S. Reuse of effluent water—benefits and risks// *Agricultural Water Management* №80(1), 2006. – pp. 147–159.
 19. Eriksson E., Auffarth K., Henze M., Ledin A. Characteristics of grey wastewater // *Urban Water* №4, 2002. - pp. 85–104.
 20. Anderson T., Hill P. *Water Marketing: The Next Generation*. - Roman and Littlefield, Publishers, Inc., Lanham, MA, USA, 1997. – 216 p.
 21. Young G., Dooge J., Rodda J. *Global Water Resources Issues*. Cambridge University Press, Cambridge, NY, USA, 1994. - 194 pp.
 22. Chatzipanteli A. Water Framework Directive (2000/60/EC) (Cyprus Water Management Plans). In: Presentation made during the public consultation on the water pricing policies of Cyprus on 22-23/3/2010 in Lefcosia and Larnaca. - Water Development Department, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Republic of Cyprus (in Greek), 2010.
 23. Engle N. The role of drought preparedness in building and mobilizing adaptive capacity in states and their community water systems// *Climatic Change*, №118 (2), 2012. - pp. 291–306
 24. Hochstrat R.; Kazner C. Flexibility of Coping with Water Stress and Integration of Different Measures; Case Study Report Cyprus of European Commission Funded Project Technology Enabled Universal Access to Safe Water (TECHNEAU): Brussels, Belgium, 2009.
 25. Valdés-Pineda R., Pizarro R., García-Chevesich P., Valdés J., Olivares C., Vera M., Balocchi F., Pérez F., Vallejos C., Fuentes R., Abarza A., Helwig B. Water governance in Chile: availability, management and climate change// *Journal of Hydrology* №519, 2014. – pp. 2538–2567.
 26. Jenkins M., Lund J., Howitt R. Economic losses for urban water scarcity in California// *J Am Water Works Assoc* №95 (2), 2013 – pp. 58–70

References

1. Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Eds.). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva, 2008. - 210 p.*
2. Hallegatte, S., 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change// *Global Environmental Change*, - vol. 19, issue 2, 2009. – pp. 240–247.
3. Nelson, D.R., Adger, W.N., Brown, K.. *Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework// Annual Review of Environment and Resources*, - vol.32, 2007. – pp. 395–419
4. Papadaskalopoulou C., Katsoub E., Valtaa K., Moustakas K., Malamis D., Dodoua M. Review and assessment of the adaptive capacity of the water sector in Cyprus against climate change impacts on water availability// *Resources, Conservation and Recycling*, - vol. 105, Part A, 2015. - pp. 95-112
5. Cleridou N., Benas N., Matsoukas C., Croke B., Vardavas I. Water resources of Cyprus under changing climatic conditions: Modelling approach, validation and limitations// *Environmental Modelling and Software*, - vol. 60, 2014. - pp. 202-218.
6. Water Development Department. Available at: http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index_en/index_en?OpenDocument Accessed 23.06.2020
7. EurEau - Water matters, the views of Europe's water sector. Available at: <http://www.eureau.org/> Accessed 14.10.2020
8. Ghassemi F., White I. *Inter-Basin Water Transfer, Case Studies from Australia, United States, Canada, China and India // International Hydrology Series. - Cambridge University Press, New York, 2007. – 462 p.*
9. Helmreich B., Horn H. Opportunities in rainwater harvesting// *Desalination* №248 (1), 2009. – pp. 118–124.
10. Li Z., Boyle F., Reynolds A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland// *Desalination* №260 (1), 2010. – pp. 1–8.
11. Silva C., Sousa V., Carvalho N. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: application to single-family residences// *Resources, Conservation and Recycling* №94, 2015. – pp. 21-34.
12. Kyriakides E. Desalination – The Cyprus Experience. Presentation at the 4th International Conference on Renewable Energy Sources and Energy Efficiency, 7 June 2013, Nicosia. Water Development Department, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Republic of Cyprus, Nicosia, 2013. Available at: [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/E98E46A1550BE936C2257B8F0039DDBD/\\$file/4th_conf%2007JUN2013.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/E98E46A1550BE936C2257B8F0039DDBD/$file/4th_conf%2007JUN2013.pdf) Accessed 15.10.2018
13. Hoang M., Bolto B., Haskard C., Barron O., Gray S., Leslie G. *Desalination in Australia. Water for a Healthy Country Flagship Report Series. - CSIRO, Clayton, Victoria, 2009. – 26 p.*

14. Sahin O., Siems R., Stewart R., Porter M. Paradigm shift to enhanced water supply planning through augmented grids, scarcity pricing and adaptive factory water: a system dynamics approach// *Environmental Modelling & Software* №75, 2016. – pp. 348-361
15. Larkou Giannakou. Wastewater treatment and reuse in Cyprus. In: Presentation to the Seminar “Municipal wastewater treatment and use”. State General Laboratory, Nicosia, 2013. Available at: [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/D90D6214D399F93CC2257B8F0038B02C/\\$file/XrisiAnakiklomenou.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/D90D6214D399F93CC2257B8F0038B02C/$file/XrisiAnakiklomenou.pdf) Accessed 12.12.2018
16. Markou M., Papadavid G., Stilianou A. Production, productivity and trade prospects of agricultural products. Management of Water Resources and Restructuring of Cultivations – Working Document. Ministry of Agriculture, Water Resources and Environment, Republic of Cyprus, Nicosia, 2015.
17. Hadjigeorgiou P. Reuse of treated effluent in Cyprus. In: Presentation at the WG PoM 2nd Meeting, 25–26 March 2014, Brussels. Available at: http://www.rioc-noticias.org/IMG/pdf/TR1-9_Reuse_of_Treated_Effluent_in_Cyprus_-_Panayota_Hadjigeorgiou.pdf Accessed 28.04.2018
18. Toze S. Reuse of effluent water—benefits and risks// *Agricultural Water Management* №80(1), 2006. – pp. 147–159.
19. Eriksson E., Auffarth K., Henze M., Ledin A. Characteristics of grey wastewater // *Urban Water* №4, 2002. - pp. 85–104.
20. Anderson T., Hill P. *Water Marketing: The Next Generation*. - Roman and Littlefield, Publishers, Inc., Lanham, MA, USA, 1997. – 216 p.
21. Young G., Dooge J., Rodda J. *Global Water Resources Issues*. Cambridge University Press, Cambridge, NY, USA, 1994. - 194 pp.
22. Chatzipanteli A. Water Framework Directive (2000/60/EC) (Cyprus Water Management Plans). In: Presentation made during the public consultation on the water pricing policies of Cyprus on 22-23/3/2010 in Lefcosia and Larnaca. - Water Development Department, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Republic of Cyprus (in Greek), 2010.
23. Engle N. The role of drought preparedness in building and mobilizing adaptive capacity in states and their community water systems// *Climatic Change*, №118 (2), 2012. - pp. 291–306
24. Hochstrat R.; Kazner C. Flexibility of Coping with Water Stress and Integration of Different Measures; Case Study Report Cyprus of European Commission Funded Project Technology Enabled Universal Access to Safe Water (TECHNEAU): Brussels, Belgium, 2009.
25. Valdés-Pineda R., Pizarro R., García-Chevesich P., Valdés J., Olivares C., Vera M., Balocchi F., Pérez F., Vallejos C., Fuentes R., Abarza A., Helwig B. Water governance in Chile: availability, management and climate change// *Journal of Hydrology* №519, 2014. – pp. 2538–2567.
26. Jenkins M., Lund J., Howitt R. Economic losses for urban water scarcity in California// *J Am Water Works Assoc* №95 (2), 2013 – pp. 58–70

The Current State of Water Supply in the Republic of Cyprus

Pokrytan Georgy

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: bylek@mail.ru

Abstract. Climate change in the world is affecting the growing shortage of fresh water. States in the Mediterranean region that have already experienced the effects of these changes need to take the climate factor into account when managing water resources. Using the example of the Republic of Cyprus, specific adaptation measures were studied and evaluated on the basis of their effectiveness, sustainability in the face of climate change uncertainty and their sustainability in the environmental, socio-economic sectors, as well as potential barriers and risks associated with the implementation of adaptation. The presented review showed that many of the measures taken, which are considered to address the impact of climate change on water resources, increase the adaptive capacity of the water sector, but its overall vulnerability remains high, as water demand is still not met in certain areas and / or for certain uses during a drought.

Key words: review, fresh water, climate change, adaptation, water management, Cyprus.

УДК 621.311

Новые российские разработки в солнечной энергетике

Панченко Владимир Анатольевич (0000-0002-4689-843X)

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

E-mail: pancheska@mail.ru

Аннотация. В статье представлено интервью зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энерговедение» К.С. Дегтярева с Владимиром Анатольевичем Панченко, кандидатом технических наук, доцентом Российского университета транспорта (МИИТ), старшим научным сотрудником Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Темы обсуждения: солнечная энергетика, перспективы и отечественные разработки в этой области возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: солнечная энергетика, теплофотоэлектрические системы, эффективность фотоэлектрических модулей, агрофотовольтаика, кровельные солнечные панели, высоковольтные солнечные панели, солнечные концентраторы.

Владимир Анатольевич, расскажите, чем занимаетесь в вашей научной и преподавательской деятельности?



Рис. 1. В.А. Панченко (фото автора)

В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ (в прошлом Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства) я провожу исследования по проектированию, моделированию, изготовлению и испытаниям солнечных модулей различных конструкций, в Российском университете транспорта (в прошлом Московский институт инженеров транспорта) я занимаюсь созданием энергоснабжающих систем на основе преобразователей возобновляемых видов энергии для тепло- и электроснабжения транспортных систем и инфраструктурных объектов.

Ваша деятельность направлена на создание преобразователей солнечной энергии и энергетических систем на их основе? Расскажите подробнее про преобразователи, разработку которых вы ведёте.

Да, я с коллегами веду разработку в основном преобразователей солнечной энергии – так называемые солнечные модули, задачей которых является выработка электрической и тепловой энергий. Подобного рода солнечные модули являются основой или одной из основных компонентов энергоснабжающих систем, разработку которых я с коллегами также веду.

Какими отличительными характеристиками и достоинствами по сравнению с аналогами обладают разрабатываемые вами солнечные модули?

Прежде всего, мы с коллегами продолжаем разработку солнечных модулей с увеличенным сроком службы [1], основы технологии изготовления которых были заложены несколько лет назад ещё во Всероссийском институте электрификации сельского хозяйства (рис. 2).



Рис. 2. Солнечный модуль с увеличенным сроком службы (фото автора)

Срок номинальной мощности таких фотоэлектрических модулей увеличен по сравнению с солнечными модулями, изготавливаемыми по современной и повсеместно используемой технологии ламинирования этиленвинилацетатными плёнками. Подобного ресурса позволяет добиться использование полисилоксанового компаунда в качестве герметизирующего компонента при изготовлении модулей. Технология имеет ряд достоинств, причём изготовленные с помощью этой технологии солнечные модули (рис.2) могут с успехом использоваться в установках с концентраторами солнечного излучения [2; 3].

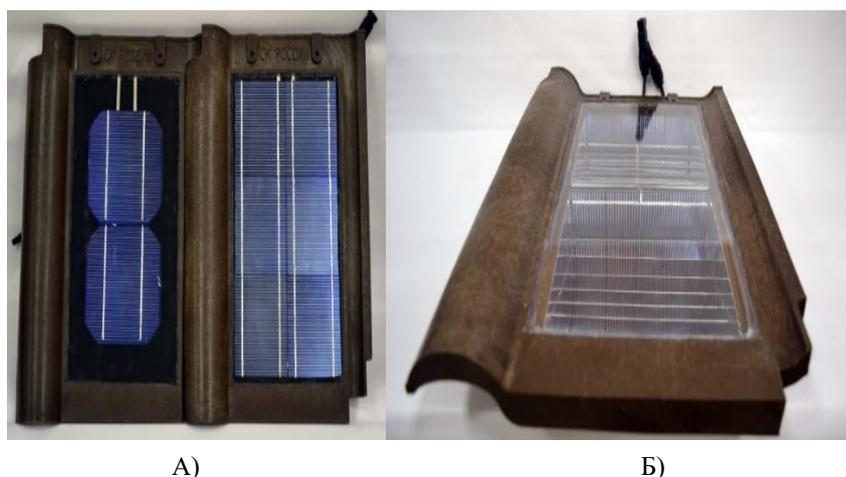


Рис. 3. Кровельные солнечные панели (а) планарной и (б) концентраторной конструкции (фото автора)

В мире широко используются установки с концентраторами солнечного излучения, где происходит нагрев теплоносителя, вы же говорите про использование фотоэлектрических преобразователей в фокусе концентратора солнечного излучения – расскажите подробнее про эту систему.

Наряду с указанными установками большой потенциал имеют так называемые гибридные или теплофотоэлектрические системы (рис.4), где используются фотоэлектрические преобразователи, охлаждаемые теплоносителем, в результате чего подобного рода установки наряду с тепловой энергией позволяют получать и электрическую энергию с помощью фотоэлектрических преобразователей. Эффективность таких установок значительно больше эффективности фотоэлектрических модулей, которая у современных фотоэлектрических модулей составляет около 20%.

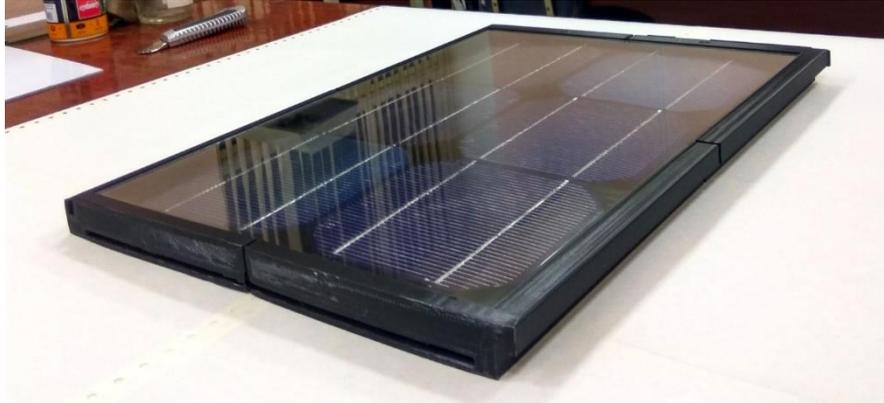


Рис. 4. Теплофотоэлектрическая кровельная панель (фото автора)

А какие фотоэлектрические преобразователи используются в таких теплофотоэлектрических концентраторных (рис.5) установках? Стандартные солнечные элементы могут использоваться в концентрированном солнечном потоке?

В подобного рода теплофотоэлектрических системах целесообразно использовать специальные фотоэлектрические преобразователи – кремниевые с вертикальным р-п переходом или из специально подобранных материалов – арсенид-галиевые, например.



Рис. 5. Концентраторный теплофотоэлектрический солнечный модуль (фото автора)

Могут, конечно, использоваться и планарные фотоэлектрические преобразователи [4; 5], но они также будут отличаться от преобразователей, используемых в стандартных планарных солнечных модулях, и величина концентрации солнечного излучения на поверхности этих преобразователей должна быть небольшой. Более подходящими для работы в концентрированном солнечном потоке являются высоковольтные (рис. 6) многопереходные матричные фотоэлектрические преобразователи, совершенствование технологии изготовления которых ведётся уже несколько десятилетий.

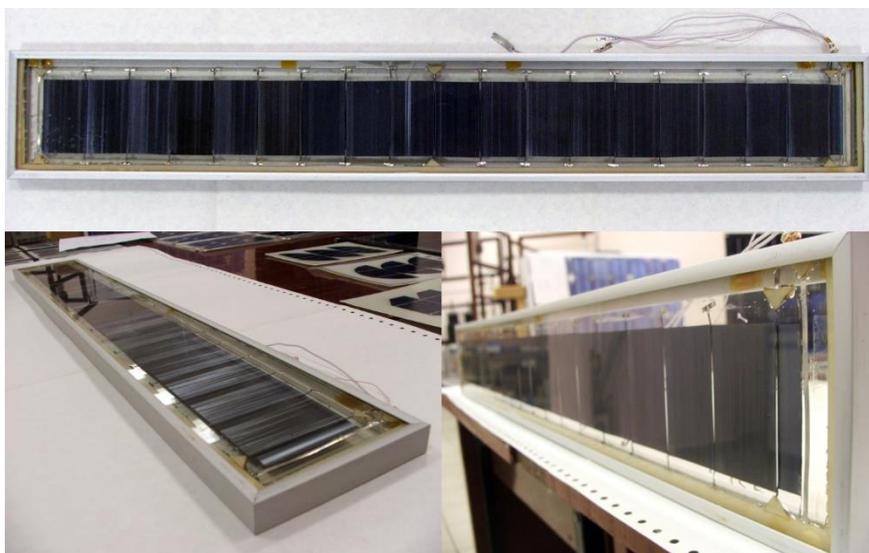


Рис. 6. Высоковольтный матричный двусторонний фотоэлектрический преобразователь (фото автора)

Удалось добиться электрической эффективности в 25% и даже 28% у единичных экземпляров при расположении в потоке высококонцентрированного солнечного излучения. В разработке такого модуля с напряжением 1000 В [6; 7] я лично участвовал и могу сказать, насколько масштабными могут быть проекты с использованием таких высоковольтных модулей. Использование полисилоксанового компаунда позволяет эффективно работать матричным модулям в концентрированном солнечном потоке, а с учётом отводимого тепла общая эффективность системы достигает относительно высоких показателей. Причём, если учесть двустороннюю рабочую поверхность высоковольтных модулей, экономия фотоэлектрических преобразователей очевидна.

Вы говорите про масштабные станции на основе высоковольтных фотоэлектрических преобразователей – а есть ли разработки для автономного энергоснабжения удалённых потребителей, где большие мощности, в общем-то, не нужны?

Конечно, особенно с учётом последних тенденций о возможной продаже электрической энергии от установок на основе преобразователей возобновляемой энергии в сеть, стимулируется интерес к установке солнечных модулей, причём если у потребителя нет поблизости электрических сетей вовсе, то выбор возможного энергоснабжения невелик. Наряду с планарными солнечными модулями с увеличенным сроком службы я также веду исследования по кровельным панелям, которые наряду с защитно-строительной функцией выполняют также функции тепло- и электроснабжения [8; 9; 10; 11; 12].

В зависимости от необходимости потребителя возможна установка различных комбинаций фотоэлектрических, тепловых и теплофотоэлектрических кровельных панелей, которые позволят в нужной пропорции вырабатывать электрическую и тепловую энергии. Также при энергоснабжении коммерческих или высотных зданий целесообразно применение сайдинг-панелей на стенах зданий, которые также как и кровельные панели позволяют производить автономное [13; 14; 15] или параллельное с существующей энергетической сетью энергоснабжение потребителя.

С автономным и параллельным энергоснабжением потребителей понятно, а как быть мобильному человеку, которому не нужны большие и тяжёлые солнечные модули, а заряжать различные гаджеты вдали от электрических сетей необходимо?

Я люблю солнечную энергетику и за то, что она позволяет масштабировать мощности в больших диапазонах. Широко известны большие и очень мощные солнечные станции, которые стремительно вводятся в эксплуатацию во всё мире, однако не стоит забывать, что первые фотоэлектрические преобразователи имели очень маленькую мощность, небольшие размеры и высокую стоимость. Сейчас такие небольшие и дорогие преобразователи тоже есть, но в основном для лабораторных исследований с целью получения рекордной эффективности. Для мало-мощных модулей используются стандартные фотоэлектрические преобразователи не с рекордной эффективностью, а обычной для отрасли 15 – 17%, что несколько десятилетий казалось труднодостижимым, а стоимость удельной мощности посчиталась бы мизерной. Складные и секционные солнечные модули (рис. 7) позволяют заряжать как напрямую гаджеты, так и с помощью буферного аккумулятора, что более предпочтительно для литиевых аккумуляторов, несмотря на то, что в составе модулей имеется специальная электроника, стабилизирующая электрический заряд. Причём в зависимости от необходимых мощностей потребитель сам может добавлять необходимое количество секций модулей.

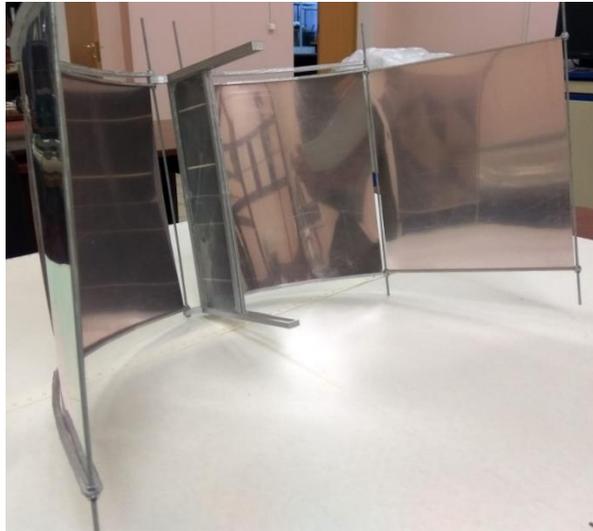


Рис. 7. Складной концентраторный теплофотоэлектрический солнечный модуль с двухсторонним фотоприёмником (фото автора)

Теперь становится понятно, что солнечная энергетика может закрыть потребности как больших масштабов, так и отдельного мобильного человека – остаётся только вопрос аккумулирования. Как вы считаете, какие ближайшие перспективы в развитии и внедрении технологий солнечной энергетики?

Действительно, вопрос аккумулирования энергии на сегодня актуален и всё мировое научное сообщество предлагает различные эффективные варианты для решения этого вопроса. На сегодня вопрос стоимости даже уходит на второй план, так как в некоторых странах с большим приходом солнечной радиации стоимость энергии, получаемой от солнечных станций не дороже, чем от станций, работающих на ископаемом топливе. Глобальная энергетическая сеть солнечных станций может решить вопрос доступности солнечной радиации, автором которой является уважаемый мною Академик РАН и мой научный руководитель – Стребков Дмитрий Семёнович.

Примечание. Подробнее об этом см. следующий материал номера - интервью с Д.С. Стребковым

Также на сегодня большой интерес представляют различные новые материалы и принципы для преобразования солнечной энергии, которые пусть и не столь эффективны на сегодня, но обещают низкую стоимость вырабатываемой электрической энергии. Агрофотовольтаика, автономные экоселения, интеллектуальные энергетические системы, получение «зелёного» водорода, дистилляция и получение воды из воздуха, многофункциональные солнечные модули, новые материалы и принципы преобразования – лишь те немногие, но на мой взгляд перспективные области дальнейшего развития использования солнечной энергии в ближайшие десятилетия, причём уже давно доказана целесообразность использования существующих солнечных станций и продолжения ввода в эксплуатацию новых ещё более эффективных и дешёвых.

Спасибо большое за ваши ответы, Владимир Анатольевич! Значит, будем жить в новом будущем с повсеместным использованием солнечной энергии?

Спасибо вам, уважаемые коллеги, за предоставленную возможность интервью для журнала! Я уверен, что Солнце будет ещё больше нам помогать жить, творить и развиваться – нужно только уметь с ним дружить!

Литература

1. Стребков Д.С., Персиц И.С., Панченко В.А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы // Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал. Инновации в возобновляемой энергетике. № 3(8)/2014, С. 154 – 158.
2. Стребков Д.С., Майоров В.А., Панченко В.А. Солнечный тепло-фотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором // Альтернативная энергетика и экология, 2013, № 1-2 (118), С. 35-39.
3. Патент РФ на изобретение № 2543256. Майоров В.А., Панченко В.А., Стребков Д.С.. Солнечный теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором. Заявка: 2012141690/06, 02.10.2012. Опубликовано: 27.02.2015. Бюл. № 6.
4. Патент РФ на полезную модель № 188073. Панченко В.А. Теплофотоэлектрическая планарная кровельная панель. Заявка: 2018133434, 21.09.18. Опубликовано: 28.03.2019. Бюл. № 10.
5. Патент РФ на изобретение № 2738738 Панченко В.А. Планарная кровельная панель с гофрированным тепловым фотоприёмником. Заявка: 2020127742, 20.08.2020. Опубликовано: 16.12.2020. Бюл. № 35.
6. Панченко В.А., Стребков Д.С., Поляков В.И., Арбузов Ю.Д. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В // Альтернативная энергетика и экология, 2015, № 19 (183), С. 76 – 81.
7. Патент РФ на полезную модель № 193323. Панченко В.А. Складной теплофотоэлектрический концентраторный модуль с двусторонними фотоэлементами. Заявка: 2019123265, 24.07.2019. Опубликовано: 24.10.2019. Бюл. № 30.

8. Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Панченко В.А., Филиппченкова Н.С. Солнечные кровельные панели для программы "Миллион солнечных крыш в России" // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2017. №7 (187). С. 64-67.
9. Панченко В.А. Моделирование теплофотоэлектрической кровельной панели для энергоснабжения объектов // Строительство и техногенная безопасность, №13(65), 2018, с. 143 – 158.
10. Патент РФ на изобретение № 2557272. Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Иродионов А.Е., Панченко В.А., Майоров В.А. Кровельная солнечная панель. Заявка: 2014123409/20, 09.06.2014. Опубликовано: 20.07.2015. Бюл. № 20.
11. Патент РФ на изобретение № 2612725. Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Панченко В.А. Гибридная кровельная солнечная панель. Заявка: 2016111201, 28.03.2016. Опубликовано: 13.03.2017. Бюл. № 8.
12. V. A. Panchenko. Solar Roof Panels for Electric and Thermal Generation // Applied Solar Energy, 2018, Vol. 54, No. 5, pp. 350–353. DOI: 10.3103/S0003701X18050146. ISSN 0003-701X. Allerton Press, Inc., 2018.
13. Valeriy Kharchenko, Vladimir Panchenko, Pavel V. Tikhonov, Pandian Vasant. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development, 2018, pages 86 – 119, DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch004.
14. V Panchenko. Photovoltaic solar modules for autonomous heat and power supply // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 317 (2019) 012002, 9 p. doi:10.1088/1755-1315/317/1/012002.
15. Vladimir Panchenko, Andrey Izmailov, Valeriy Kharchenko, Yakov Lobachevskiy. Photovoltaic Solar Modules of Different Types and Designs for Energy Supply. International Journal of Energy Optimization and Engineering, Volume 9 Issue 2, 2020, pp. 74 – 94, DOI: 10.4018/IJEOE.2020040106.

References

1. Strebkov D.S., Persits I.S., Panchenko V.A. Solar Modules with Enlarged Life Cycle // Innovations in agriculture. Theoretical and science-applied magazine. Innovationa in renewables. № 3(8)/2014, P. 154 – 158.
2. Strebkov D.S., Mayorov V.A., Panchenko V.A. Solar Heat-and-Photovoltaic Module with a Parabolotoric Concentrator // Alternative energy and ecology, 2013, № 1-2 (118), P. 35-39.
3. Patent RF on invention № 2543256. Mayorov V.A., Panchenko V.A., Strebkov D.S. Solar Heat-and-Photovoltaic Module with a Parabolotoric Concentrator. Patent application: 2012141690/06, 02.10.2012. Published: 27.02.2015. Bul. № 6.
4. Patent RF on utility model № 188073. Panchenko V.A. Heat-and-Photovoltaic planar roofing panel. Patent application: 2018133434, 21.09.18. Published: 28.03.2019. Bul. № 10.
5. Patent RF on invention № 2738738 Panchenko V.A. Planar roofing panel with goffered heat photo receiver. Patent application: 2020127742, 20.08.2020. Published: 16.12.2020. Bul. № 35.
6. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Polyakov V.I., Arbutov Yu.D. Hugh-voltage solar module with electric potential 1000 V // Alternative energy and ecology, 2015, № 19 (183), P. 76 – 81.

7. Patent RF on utility model № 193323. Panchenko V.A. Folding heat-and-photovoltaic concentrator module with bilateral photo-cells. Patent application: 2019123265, 24.07.2019. Published: 24.10.2019. Bul. № 30.
8. Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Panchenko V.A., Philippchenkova N.S. Solar roofing panels for the programme "A Million of solar rooves in Russia" // *Journal of Plumbing, Heating, Air Conditioning, and Energy Saving*. 2017. №7 (187). P. 64-67.
9. Panchenko V.A. Modelling of a Heat-and-Photovoltaic Roofing Panel for Energy Supply of a Consumer // *Building and Technical Security*, №13 (65), 2018, p. 143 – 158.
10. Patent RF on invention № 2557272. Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Irodionov A.E., Panchenko V.A., Mayorov V.A. Roofing Solar Panel. Patent application: 2014123409/20, 09.06.2014. Published: 20.07.2015. Bul. № 20.
11. Patent RF on invention № 2612725. Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Panchenko V.A., Hybrid Roofing Solar Panel. Patent application: 2016111201, 28.03.2016. Published: 13.03.2017. Bul. № 8.
12. V. A. Panchenko. Solar Roof Panels for Electric and Thermal Generation // *Applied Solar Energy*, 2018, Vol. 54, No. 5, pp. 350–353. DOI: 10.3103/S0003701X18050146. ISSN 0003-701X. Allerton Press, Inc., 2018.
13. Valeriy Kharchenko, Vladimir Panchenko, Pavel V. Tikhonov, Pandian Vasant. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply // *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development*, 2018, pages 86 – 119, DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch004.
14. V Panchenko. Photovoltaic solar modules for autonomous heat and power supply // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 317 (2019) 012002, 9 p. doi:10.1088/1755-1315/317/1/012002.
15. Vladimir Panchenko, Andrey Izmailov, Valeriy Kharchenko, Yakov Lobachevskiy. Photovoltaic Solar Modules of Different Types and Designs for Energy Supply. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, Volume 9 Issue 2, 2020, pp. 74 – 94, DOI: 10.4018/IJEOE.2020040106.

New Russian Solutions for Solar Energy

Panchenko Vladimir

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

E-mail: pancheska@mail.ru

Abstract. The article presents an interview of the deputy editor-in-chief of *Journal of Environmental, Earth and Energy Study* K. Degtyarev with Vladimir Panchenko, PhD, a senior lecturer of Russian University of Transport (MIIT), a senior researcher of Federal Scientific Agroengineering Center VIM. The topics of discussion are solar energy, prospects and newer Russian solutions in this field of renewable energy.

Keywords: solar energy, heat-and-photovoltaic systems, efficiency of photovoltaic modules, agro-photovoltaic, roofing solar modules, high-voltage solar modules, solar concentrators.

УДК 621.311

Источники и способы передачи энергии – глобальные решения

Стребков Дмитрий Семёнович^[0000-0002-2572-801X]

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

E-mail: nauka-ds@mail.ru

Аннотация. В статье представлено интервью зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энерговедение» К.С. Дегтярева с академиком РАН Дмитрием Семёновичем Стребковым, научным руководителем Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, зав. Международной кафедрой ЮНЕСКО «Возобновляемая энергетика и сельская электрификация».

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечные электростанции, глобальная энергетическая система, передача энергии, технологии Н. Теслы.

1 Новые подходы и глобальные решения в солнечной энергетике

Дмитрий Семёнович, какими Вы видите перспективы мировой энергетики?



Рис. 1. Д.С. Стребков (источник: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Strebkov.jpg>)

Скажу, что возобновляемая энергетика – это самый «раскрученный» тренд в энергетике, это очевидно. Просто делается много ошибок. И поэтому возникают такие казусы, как замёрзший Техас. Но, если делать всё по-умному, то ничего этого не будет.

А как сделать по-умному?

Мы предложили, запатентовали и опубликовали свой проект ещё в 2003 году [1], устранивший очевидные недостатки солнечной энергетики. У нас много публикаций на эту тему. Мы предложили глобальную солнечно-энергетическую систему, которой не нужны аккумуляторы, где солнце светит круглосуточно и круглогодично.

Принцип такой: чтобы не было зимы, мы ставим станции в Северном и Южном полушарии, чтобы не было ночи, мы ставим их через 1200 по широте. Тогда солнце находится одновременно не менее, чем над двумя станциями. Мы выбрали пустыни: Сахара, пустыни в Австралии и Мексике, где, по данным метеонаблюдений за последние 70 лет, самый высокий приход солнечной радиации (рис.2).



Рис. 2. Глобальная солнечная энергетическая система из трёх солнечных станций [2]

После проведения расчётов выяснилось, что нам надо поставить всего 3 станции мощностью по 2,5 тераватт каждая - всего 7,5 ТВт. Каждая станция займёт около 60 тыс. км², или квадрат примерно 200х300 км. Этой мощности хватило бы, чтобы обеспечить всё потребление электроэнергии человечеством, и такую

систему очень легко приспособить к росту энергопотребления, наращивая новые модули по мере необходимости.

Примечание. В 2003 году мировое годовое потребление электроэнергии составило около 17 000 ТВтч [3]. Выработка такого количества электроэнергии комплексом станций общей мощностью 7,5 ТВт возможна при среднем коэффициенте использования установленной мощности (КИУМ), равном 26%. К 2020 году мировое производство и потребление энергии выросло в 1,6 раза и достигло 27 000 ТВтч.

Но как построить и обслуживать эти мощности, и как обеспечить достаточно высокий КИУМ?

Да, понятно, что предложить мало, надо ещё подумать, как это легко осуществить. Мы начали с кремния. Его потребуется много, но его много и в земной коре, состоящей из кремния на 20%. У меня больше 10 патентов дешёвых способов его получения [4]. Это технология, которой пока нет ни у кого в мире.

И как решить проблему «неэкологичности» производства кремния для солнечных модулей? Это очень энергозатратно, это требует хлора...

Да. У нас сейчас бесхлорные технологии [5]. Мы получаем из песка чистый кремний и чистим его тоже без хлора, а с помощью этилового спирта. Так что с экологией всё нормально.

Дальше надо было увеличить долговечность солнечных модулей. Обычный срок службы модулей – около 20 лет, потому что герметизацию между элементами обеспечивает так называемый этиленвинилацетат (ЭВА). Мы придумали замену в виде силиконового резиноподобного герметика - силиконового геля [6]. Срок службы увеличился до 40 лет, хотя мы думаем, что будет 50 лет.

И теперь последнее, что осталось – увеличить КИУМ.

Да, ведь он у солнечных станций обычно больше 20% не бывает...

В Германии он в среднем 12%, в Анапе будет, может, 15%, в Египте – 20%. Но мы придумали станцию, где КИУМ будет 45%, и также запатентовали и опубликовали [6]. Ещё в 1967-70 гг. мы разработали новые солнечные элементы [7] - двусторонние. На тот момент мы были первыми в мире. И моей кандидатской и докторской работой в 1980-е были как раз двусторонние солнечные элементы. Сейчас их уже выпускает Китай, Германия, США, но, почему-то, Россия не выпускает.

Что они дают? Чтобы получить большой КИУМ, нужно, чтобы утром солнечный луч как можно раньше попал на элемент. Все станции ставят ориентацией на юг. А мы ставим на восток – это первое отличие. А, поскольку они двусторонние, то естественно, что, когда солнце будет на западе, станция тоже будет до заката получать энергию.

А дальше, чтобы КИУМ увеличить, можно следить за солнцем, но мы считаем, что для больших станций следить за солнцем – это большой элемент ненадёжности. Поэтому мы поставили солнечные модули вертикально, стационарно, с зазором и поставили между ними зеркала. И, когда мы всё это сделали, измерили и посчитали, КИУМ получился равным 45%. Такого в мире не было никогда, и считалось, что это невозможно.

Но, конечно, для этого лучше низкие широты – Сахара, например, с тропическим солнцем. Или, по крайней мере, таким, как наше летнее. Летом у нас солнца не меньше, чем на юге, главная наша проблема – зима.

Попутно, если говорить о зеркальных отражателях и пустынных территориях в низких широтах – у нас есть и проект нивелирования эффекта глобального потепления с помощью установки систем зеркал в определённых районах Земли [8], и наши расчёты показывают его высокую экономическую эффективность.

Но, насколько я понимаю, в Сахаре могут быть свои проблемы – при высоких температурах ведь продуктивность солнечных батарей снижается.

Она везде будет снижаться. В принципе, все существующие станции рассчитаны на диапазон температур от -30 до +900С. А наши модули с силиконовым гелем рассчитаны на диапазон от -60 до +1150С, т.е. они способны работать и зимой в Якутии, и в Антарктиде, в условиях, когда ЭВА не выдерживает – твердеет и разрывает солнечные элементы.

Итак, возвращаясь к нашему проекту глобальной солнечной энергосистемы – сначала мы думали, что главная проблема – построить эти станции. Но сейчас публикуют прогнозы развития солнечной энергетики, согласно которым общая мощность солнечных станций в мире к 2050 году может достигнуть 19 ТВт.

Примечание. В 2003 году суммарная установленная мощность солнечных фотовольтаических станций в мире составляла всего 2,6 ГВт, к 2020 году она выросла в 230 раз и достигла 600 ГВт, или 0,6 ТВт [9]. Солнечная энергетика в настоящее время и по прогнозам на ближайшие десятилетия является наиболее динамично растущим направлением возобновляемой энергетики.

Это в 3 раза больше, чем нужно по нашим расчётам. При этом, 30% всех мощностей будет на крышах - т.е. только на крышах будет больше 7,5 ТВт, которые не будут занимать площади на земле.

Главная проблема – соединить эти электростанции между собой линиями электропередач. Далее их надо включить в общую энергосистему Земли или, хотя бы, соединить между собой.

Сейчас первая ласточка – план крупнейшей в мире солнечной станции – на 10 ГВт и крупнейшей системы аккумуляции в Австралии с передачей энергии по линии постоянного тока протяжённостью 4 500 км в Сингапур – Линия электропередачи Австралия – АСЕАН, или Australia–ASEAN Power Link (AAPL) [10; 11]. Это будет подводная линия, но дальше по Азии по наземным линиям передавать

энергию будет уже проще. Перспективны также проекты передачи электроэнергии от солнечных станций из Сахары в Европу и из Средней Азии в Сибирь.

У нас сейчас идут переговоры и исследования с Китаем, предложившим нам ставить крупные ветровые станции на Дальнем Востоке (на Чукотке, на Камчатке) для передачи энергии в Китай, также по линии постоянного тока. Они позволяют перебрасывать энергию на большие расстояния, в том числе с Дальнего Востока в Европу, причём для этого можно использовать инфраструктуру электрифицированных железных дорог, если дополнительно проложить кабель.

2 Способы передачи энергии

Но мы можем предложить и нечто другое. Я имею в виду технологии Николы Теслы – однопроводной и беспроводной, резонансной передачи электроэнергии, которыми я занимаюсь уже много десятков лет. У нас также есть ряд патентов [12; 13], публикаций и перспективных разработок по этой теме, уже заинтересовавших ряд крупных энергетических компаний.

Один из ряда примеров - зарядка электромобиля во время движения [14]. Сейчас главная беда электромобиля – это его аккумулятор. Он очень тяжёлый, у электромобиля Tesla – 500 кг, и дорогой - стоит столько же, сколько сам электромобиль. Например, в московском электробусе стоимость аккумулятора 10 млн. рублей. Если можно подзаряжать его в дороге, он будет уже раза в три меньше по размерам, и стоимость будет раза в три меньше. Это будет тоже очень существенный вклад в развитие электротранспорта. А то, что за ним будущее – это 100%.

Но Тесла проводил свои эксперименты более 100 лет назад. Их даже не смогли потом повторить в полной мере и, в целом, электротехника пошла по другому пути. С чем это связано?

Получилось так, что электротехника «ушла» в трёхфазные линии, причём именно Тесла придумал трёхфазные асинхронные двигатели с вращающимся магнитным полем, и дальше всё стало развиваться в этом направлении. А Тесла, почему-то так сложилось, не оставил после себя учеников. Хотя мы этим занимаемся, у меня уже по технологиям Теслы защитились двое аспирантов и один доктор наук, мы выпустили учебник [15], позже неоднократно переиздававшийся. Но, в принципе, это надо преподавать в вузах. Это другая электротехника, с трудом воспринимаемая людьми, которых ещё в школе научили, что ток должен идти по двупроводной линии от плюса к минусу и никак иначе.

Сейчас идеи Теслы лучше воспринимают радисты, у которых любая антенна – это однопроводная линия, есть высокая частота и резонансные контуры, которых нет в традиционной электротехнике. Отмечу, что я преподавал 20 лет на кафедре Основ радиотехники и телевидения, был профессором кафедры и читал свой курс лекций уже с учётом идей Теслы.

Другая проблема, которая также сейчас преодолевается – несовершенство и высокая стоимость материалов и оборудования. Например, когда мы свою

первую однопроводную линию делали в 2003 году, мы даже не могли купить преобразователь частоты. Были тиристорные преобразователи с водяным охлаждением, 20 кВт – 400 кг. А сейчас есть, например, преобразователи частоты IGBT, это совсем другая техника – полевые транзисторы с воздушным охлаждением, и весом не 400, а 20 кг. Мы также не могли найти высоковольтный кабель и использовали кабель от систем зажигания автомобилей – ПВ1, 10 кВ, 1 мм, медная жила. А сейчас в свободном доступе силиконовые кабели диаметром всего в 12 мм и не на 10, а на 150 кВ. Короче говоря, техника быстро совершенствуется, и на её современном уровне появляются более широкие возможности использования технологий Теслы.

Литература

1. Стребков Д.С. (RU), Иродионов А.Е. (RU), Базарова Е.Г. (RU) Солнечная энергетическая система (варианты). Патент RU 2259002 С2. 2003.03.25.
2. Стребков Д.С. Технологии крупномасштабной солнечной энергетики // Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. URL: <https://viesh.ru/pre/renow/sun/str-sunt/>, дата обращения 17.03.2021.
3. BP Statistical Review for World Energy. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, дата обращения – 17.03.2021.
4. Заддэ В.В. (RU), Стребков Д.С. (RU), Стенин В.В. (RU). Способ получения кристаллического кремния высокой чистоты (варианты). Патент RU 2385291.
5. Бесхлорное получение солнечного кремния URL: <https://viesh.ru/chloreless-si-production/>, дата обращения – 17.03.2021.
6. Стребков Д.С., Шогенов Ю.Х., Бобовников Н.Ю. Повышение эффективности солнечных электростанций // Инженерные технологии и системы. – 2020 – т.30, №3 – с. 480 – 497.
7. Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. В 3-х томах. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2009-2010 (монография). – Том 1 - 120 с. (7,5 п.л.); том 2 - 228 с. (14,25 печ.л.); – том 3 - 312 с.
8. Стребков Д.С. Проблемы регулирования климата изменением радиационного баланса Земли // Энергетический вестник, №26/2020, с.20-34.
9. IRENA URL: <https://irena.org/solar>, дата обращения – 17.03.2021.
10. Australia – ASEAN Power Link, URL: <https://infrastructurepipeline.org/project/australia-asean-power-link/>, дата обращения – 18.03.2021.
11. Australia fast-tracks plan to send solar power to Singapore URL: <https://www.strait-times.com/business/economy/australia-fast-tracks-plan-to-send-solar-power-to-singapore>, дата обращения – 18.03.2021.
12. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Верютин В.И., Рошин О.А., Трубников В.З. Способ беспроводной передачи электрической энергии и устройство для его осуществления. Патент № 2411 142 от 10.02.2011 Бюл. № 4.
13. Стребков Д.С., Трубников В.З., Некрасов А.И., Некрасов А.А., Рошин О.А., Юферев Л.Ю. Электрический высокочастотный резонансный трансформатор (варианты). Патент № 2423 746 от 20.03.2011 Бюл. № 8.
14. Беспроводная зарядка электротранспорта URL: <https://viesh.ru/wireless-charge/>, дата обращения – 18.03.2021.

15. Стребков Д.С., Некрасов А.И. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. - 3-е издание, переработанное и дополненное (монография). - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. - 352 с.

References

1. Strebkov D.S. (RU), Irodionov A.E. (RU), Bazarova E.G. (RU). Solar Power System (variants). Patent RU 2259002 C2. 2003.03.25.
2. Strebkov D.S. Technologies of Large-Scale Solar Power Systems // Federal Scientific Agroengineering Center VIM. URL: <https://viesh.ru/pre/renow/sun/str-sunt/>, reference date 17.03.2021.
3. BP Statistical Review for World Energy. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, reference date 17.03.2021.
4. Zadde V.V. (RU), Strebkov D.S. (RU), Stenin V.V. (RU). Recipe of Production of High Purity Crystalline Silicon (variants). Patent RU 2385291.
5. Chlorine-less Production of Solar Silicon. URL: <https://viesh.ru/chloreless-si-production/>, reference date 17.03.2021.
6. Strebkov D.S., Shogenov Yu.Kh., Bobovnikov N.Yu. Improvement of Efficiency of Solar Power Plants // Engineering Technologies and Systems – 2020 – vol.30, №3 – pp. 480 – 497.
7. Strebkov D.S. Matrix Solar Elements. In 3 volumes. – Moscow: GNU VIESH, 2009-2010 (monograph).
8. Strebkov D.S. Problems of Climate Management through the Change of Radiation Balance of the Earth // Energy Bulletin, №26/2020, p.20-34.
9. IRENA URL: <https://irena.org/solar>, reference date 17.03.2021.
10. Australia – ASEAN Power Link, URL: <https://infrastructurepipeline.org/project/australia-asean-power-link/>, reference date 18.03.2021.
11. Australia fast-tracks plan to send solar power to Singapore URL: <https://www.strait-times.com/business/economy/australia-fast-tracks-plan-to-send-solar-power-to-singapore>, reference date 18.03.2021.
12. Strebkov D.S., Yuferev L.Yu., Veryutin V.I., Roshchin O.A., Trubnikov V.Z. Recipe of Wireless Transmission of Electricity and Its Processing Device. Patent № 2411 142 of 10.02.2011 Bul. № 4.
13. Strebkov D.S., Trubnikov V.Z., Nekrasov A.I., Nekrasov A.A., Roshchin O.A., Yuferev L.Yu. Electric High-Frequency Resonance Transformer. Patent № 2423 746 of 20.03.2011 Bul. № 8.
14. Wireless Charge of Electric Transport. URL: <https://viesh.ru/wireless-charge/>, reference date 18.03.2021.
15. Strebkov D.S., Nekrasov A.I. Resonance Methods of Electricity Transmission and Use. – 3rd edition, elaborated and enhanced - Moscow: GNU VIESH, 2008. - 352 p.

Sources and Ways of Energy Transmission – Global Solutions

Strebkov Dmitry

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

E-mail: nauka-ds@mail.ru

Abstract. The article presents an interview of the deputy editor-in-chief of Journal of Environmental, Earth and Energy Study K. Degtyarev with Dmitry Strebkov, a RAS Academician, the Research advisor of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, and the Head of Chair of UNESCO Renewable Energy and Rural Electrification. Topics of discussion: global energy problem solutions through renewables, above all - solar energy, new ways and outlooks in electricity transmission, including N. Tesla technologies.

Key words: solar energy, solar power plants, global energy system, energy transmission, N. Tesla technologies.

УДК 620.9

Исследование эффективности зарубежных и отечественных прикладных программ для расчёта комплексных энергетических систем на основе ВИЭ

Хайретдинов Ильдар Радисович^[0000-0002-8875-6966]^{1,2}, Денисов Константин Сергеевич^[0000-0003-0632-261X]^{1,3}, Велькин Владимир Иванович^[0000-0002-4435-4009]^{1,4}

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²E-mail: ildar-hairetdino@bk.ru

³E-mail: denser93@mail.ru

⁴E-mail: v.i.velkin@urfu.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос об исследовании эффективности зарубежных и отечественных прикладных программ для расчета ВИЭ. Основное внимание уделяется комплексным энергетическим системам на основе возобновляемых источников энергии. Рассмотрены функциональные возможности программ «VizProRES 2019» и «Homer». Приведены описания программных комплексов «VizProRES 2019» «Homer» для подбора оптимального состава основного и вспомогательного оборудования на базе ВИЭ. Выполнен расчет комплексной энергосистемы для потребителя населенного пункта Растущий Свердловской области.

Ключевые слова: программный комплекс, возобновляемые источники энергии, фотоэлектрический преобразователь, ветроэнергетическая установка, комплексная энергетическая система

Актуальность темы данной статьи вызвана необходимостью надёжного и экономически эффективного энергоснабжения автономных потребителей в децентрализованных районах. Одним из путей решения данной проблемы является рост доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергетическом балансе таких объектов. Наиболее популярными источниками являются энергия воды, солнечная и ветряная энергии. К наиболее распространённым технологиям можно отнести фотоэлектрические преобразователи, ветроэнергетические установки, гидроэлектрические станции. Однако проблема в том, что по отдельности данные типы оборудования не способны обеспечить непрерывное энергоснабжение потребителя в течение года, и следует применять комплекс-

ные энергетические системы на основе ВИЭ, включающие различные варианты компоновки оборудования. В связи с этим, необходим расчёт оптимального, отвечающего требованиям потребителя, соотношения мощностей оборудования разных типов. В настоящее время существуют различные зарубежные и отечественные компьютерные программы для расчета комбинированных энергетических систем на базе ВИЭ.

Целью данной работы является исследование эффективности зарубежных и отечественных прикладных программ для расчета комплексных систем на базе ВИЭ. Для анализа были выбраны программы «Homer» [1,2] и «VizProRES» [3,4]. Для расчета оптимального состава оборудования выбраны различные ветроэнергетические установки (ВЭУ), фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) и топливные генераторы (ТГ). В расчете также участвуют вспомогательное оборудование, такие как инвертор и аккумуляторные батареи (АКБ). В качестве примера выбран объект со среднемесячным потреблением 453 кВтч в населенном пункте Растущий Свердловской области [5], где находится «Энергоэффективный дом», ставший испытательным полигоном для студентов и сотрудников кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии. В «Энергоэффективном доме», наряду со штатной системой, имеется комплекс установок на основе возобновляемых источников энергии. В составе комплекса ВИЭ в «Энергоэффективном доме» были последовательно внедрены ветроэнергетические установки, фотоэлектрические панели, солнечные коллекторы, дизельные генераторы (ДГ), биогазовая установка, микро-гидроэлектростанция (микроГЭС), аккумуляторные батареи и т.д. В программе «VizProRES 2019» для расчета применяются реальные климатические данные региона загруженных из базы данных NASA.

Программный комплекс «Homer» разработан американской Национальной Лабораторией ВИЭ (National Renewable Energy Laboratory), который на сегодняшний день является наиболее известным и применяемым для решения задач автономного энергообеспечения. Программа «Homer» предназначена для проектирования энергетических систем и сопоставления нескольких вариантов компоновки системы с различным составом оборудования на основе технико-экономического сравнения [4].

На рисунке 1 представлено окно расчета оптимального состава оборудования в программном обеспечении «HOMER». Из рисунка видно, что рассчитанная оптимальная система включает в себя ФЭП, ВЭУ, АКБ, ДГ и инвертор. Суммарные затраты составляют 2 296 960 руб., а себестоимость 1 кВтч электроэнергии - 14,07 руб.

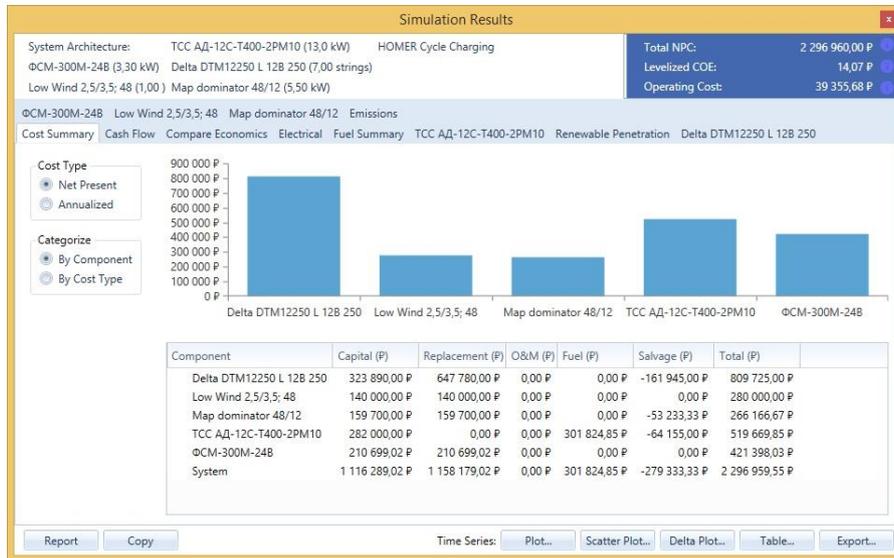


Рис. 1. Окно результата моделирования в программном обеспечении «HOMER»

На рисунке 2 видно, что в летнее время нагрузка покрывается за счет ФЭП и ВЭУ, в зимнее время в основном за счет ВЭУ и ДГ.

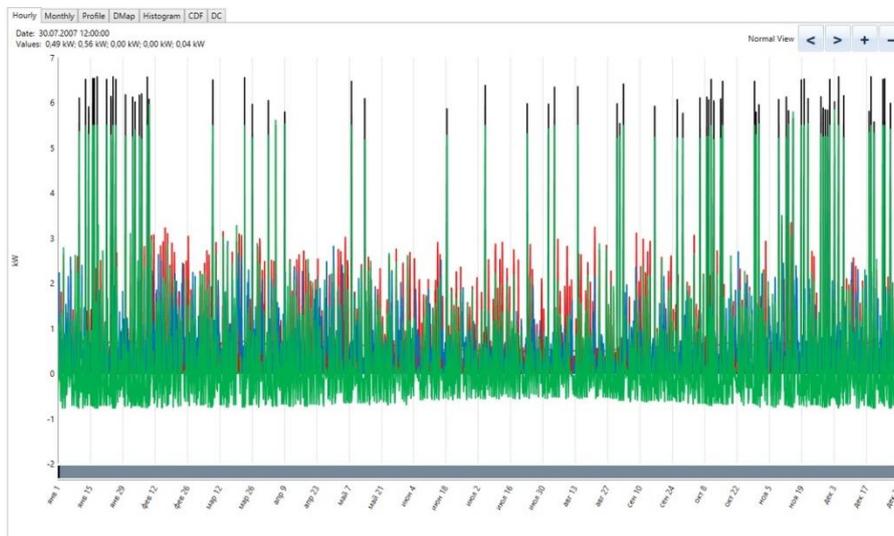


Рис. 2. Окно анализа выработки электроэнергии в программном обеспечении «HOMER». Черная – топливные генераторы, красная – фотоэлектрические панели, синяя – ветроэнергетические установки, зеленая – аккумуляторные батареи, бордовая – электрическая нагрузка потребителя

Программа «VizProRES 2019» предназначена для определения оптимального состава основного и вспомогательного оборудования, работающего на основе возобновляемых источников энергии с учетом технических и экономических параметров оборудования на основе реальных природно-климатических данных выбранного региона. Программа была разработана на кафедре атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского федерального университета. К основным функциональным возможностям программы можно отнести:

1. поиск оптимального состава оборудования на основе ВИЭ, учитывая график потребления электроэнергии для заданного географического района;
2. выполнение графического анализа рассчитанного оптимального состава оборудования комплексной системы;
3. возможность выполнения графического анализа различных вариантов компоновки системы, в том числе существующих комплексных систем;
4. моделирование поведения системы за весь расчетный период с учетом суточных колебаний выработки энергии;
5. возможность включения в расчет фотоэлектрических панелей, ветроэнергетических установок, напорных МГЭС, свободнопоточных МГЭС, топливных генераторов, АКБ, инверторов и централизованной электрической сети.

В программном комплексе для поиска оптимального состава оборудования целевой функцией является минимум общих затрат за период эксплуатации [4]:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7, x_8, Z_{\Sigma}, E_{\Sigma}) = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + a_5 \cdot x_5 + a_6 \cdot n_{инв} + a_7 \cdot x_7 + a_8 \cdot x_8 + Z_{\Sigma} \cdot r + E_{\Sigma} \cdot p \rightarrow \text{Уmin} \quad (1)$$

где y – общие затраты за период эксплуатации, руб.;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_8 – Количество единиц оборудования ФЭП, ВЭУ, АКБ, ТГ, свободных МГЭС, соответственно; ед. (эндогенная переменная);

x_5, x_7 – Наличие электросети ЭС, Напорной МГЭС соответственно; (эндогенная переменная);

$n_{инв}$ – Количество единиц оборудования - инверторов; ед. (экзогенная переменная);

a_1 ($C_{фэп}$), a_2 ($C_{вэу}$), a_3 ($C_{акб}$), a_4 ($C_{тг}$), a_5 ($C_{эс}$), a_6 ($C_{инв}$),

a_7 ($C_{напор.мгэс}$), a_8 ($C_{свобод.мгэс}$) – приведенные затраты за период эксплуатации одной установкой ФЭП, АКБ, ТГ, ЭС, Инвертора, Напорной МГЭС, Свободнопоточной МГЭС руб. (экзогенная переменная);

Z_{Σ} – общая выработка энергии кВт·ч за весь период эксплуатации от ТГ (эндогенная переменная);

r ($C_{ТГ}$) – стоимость выработки 1 кВт·ч от ТГ, руб./кВт·ч (экзогенная переменная);

E_{Σ} – общая выработка энергии кВт·ч за весь период эксплуатации от ЭС (эндогенная переменная);

p ($C_{ЭС}$) – стоимость выработки 1 кВт·ч от ЭС, руб./кВт·ч (экзогенная переменная).

Стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч находится как:

$$C = \frac{y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7, x_8, Z_{\Sigma}, E_{\Sigma})}{En_{\Sigma}} \quad (2)$$

где En_{Σ} – суммарная электроэнергия, выработанная комплексной системой, кВт·ч.

На рисунке 3 приведен график производства электроэнергии оборудованием оптимального состава комплексной энергосистемы на базе ВИЭ в программе «VizProRES». Оптимальный состав энергосистемы включает в себя ФЭП, ВЭУ, АКБ, ДГ и инвертор. Суммарные затраты за расчетный период для данной системы составили 3 711 603 руб., а себестоимость электроэнергии за кВтч равна 22,71 руб. Из графика видно, что в летнее время нагрузка покрывается за счет ФЭП и ВЭУ, ДГ вырабатывает малую часть энергии. В зимнее время электроснабжение обеспечивается за счет ВЭУ и ДГ, ФЭП вырабатывает мало.

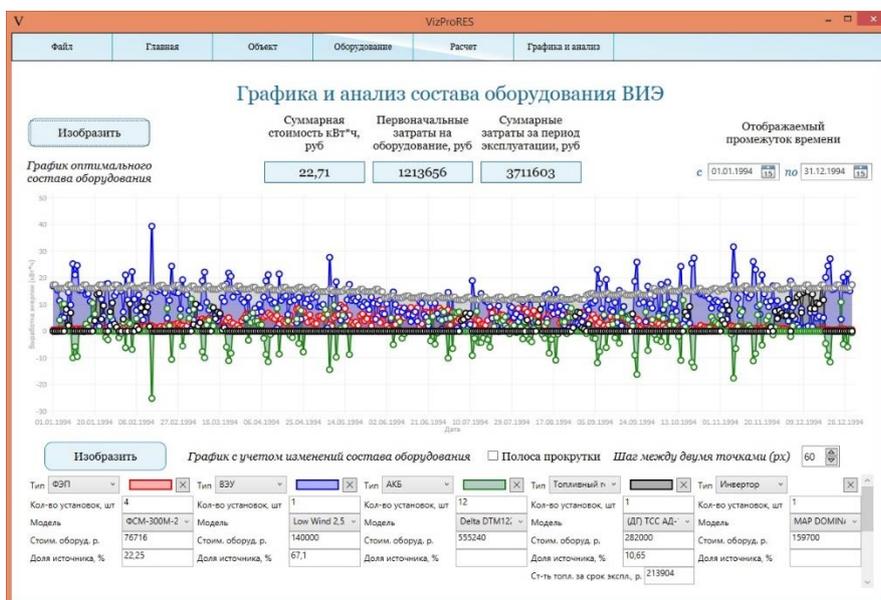


Рис. 3. Окно страницы «Графика и анализ состава оборудования ВИЭ» в программе «VizProRES»

При анализе работы программы и сравнения её с зарубежными и существующими аналогами можно выделить следующие преимущества и недостатки программы:

Преимущества

- удобный и простой интерфейс, язык интерфейса – русский;
- используются общероссийские единицы измерения;
- учитываются недельные и годовые изменения потребления электроэнергии;
- возможность сравнения с вариантом присоединения потребителя к централизованной электрической сети;
- учитываются расходы на вспомогательное оборудование комплексной системы на базе ВИЭ.

Недостатки:

- нет возможности расчета тепловой части;
- не учтено изменение расхода топлива ТГ в зависимости от изменения суточного графика нагрузки и продолжительности работы.

Выводы

На основе проведенных расчетов можно сделать выводы, что комплексная система, включающая в себя ФЭП, ВЭУ, дизельный генератор, инвертор и аккумуляторные батареи, является оптимальной для энергоснабжения населенного пункта Растущий. Стоимость 1 кВтч электроэнергии от комплексной энергосистемы, рассчитанной в компьютерной программе «VizProRES» составляет 22,71 руб/кВт·ч, что сопоставимо со стоимостью электроэнергии от энергосистемы, рассчитанной в «Homer» – 14,07 руб/кВт·ч. В результате проведенных расчетов в программных комплексах «VizProRES» и «HOMER» можно сделать заключение, что комплексные энергосистемы целесообразно использовать для энергоснабжения автономных потребителей. При этом использование программных комплексов отечественного и зарубежного производства, таких как «VizProRES» и «HOMER» позволяет определить наиболее эффективный состав таких систем, а также провести экономический и энергетический анализ эксплуатации выбранной системы.

Литература

1. Lambert, T., Gilman, P. & Lilienthal, P., Micropower system modeling with HOMER, in Integration of Alternative Sources of Energy, FA Farret and MG Simoes. 2006, Wiley-IEEE Press. p. 379-418.
2. HOMER Energy [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.homerenergy.com/> (accessed: 8.09.2019).
3. Свидетельство о Гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019618978, Программа расчета комплексной энергетической системы на основе возобновляемых источни-

ков энергии «VizProRES 2019», Денисов К.С., Велькин В.И., Тырсин А.Н. Зарегистрировано 08.07.2019 г.

4. Денисов, К.С. Решение задачи комплексного энергоснабжения автономного потребителя с целью уменьшения экономических затрат / К.С. Денисов, В.И. Велькин, А.Н. Тырсин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2019. Т. 19, № 3. С. 84–92.
5. Энергоснабжение удаленного объекта на основе оптимизации кластера ВИЭ: монография / В. И. Велькин. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 100 с.

References

1. Lambert, T., Gilman, P. & Lilienthal, P., Micropower system modeling with HOMER, in Integration of Alternative Sources of Energy, FA Farret and MG Simoes. 2006, Wiley-IEEE Press. p. 379-418.
2. HOMER Energy [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.homerenergy.com/> (accessed: 8.09.2019).
3. Certificate of State registration of the computer program No. 2019618978, Program for calculating the integrated energy system based on renewable energy sources "VizProRES 2019", Denisov K. S., Velkin V. I., Tyrsin A. N. Registered on 08.07.2019.
4. Denisov, K. S. The solution of the problem of complex energy supply of an autonomous consumer with the purpose of reducing economic costs / K. S. Denisov, V. I. Velkin, A. N. Tyrsin // Vestnik SUSU. Series "Power Engineering". 2019. Vol. 19, no. 3. pp. 84-92.
5. Power supply of a remote object on the basis of optimization of the RES cluster: monograph / V. I. Velkin. - Yekaterinburg: UrFU, 2013. - 100 p. ISBN 978-5-321-02309-9

Research on the Efficiency of Foreign and Domestic Applications for Calculating Energy Systems Based on Renewable Sources

Khairtdinov Ildar^{1,2}, Denisov Konstantin^{1,3}, Velkin Vladimir^{1,4}

¹Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

²E-mail: ildar-hairetdino@bk.ru

³E-mail: denser93@mail.ru

⁴E-mail: v.i.velkin@urfu.ru

Abstract. The article discusses the question of the study of the effectiveness of foreign and domestic applications for calculating renewable energy sources. The focus is on integrated energy systems based on renewable energy sources. The functional capabilities of the VizProRES 2019 and Homer programs are considered. Descriptions of the VizProRES 2019 Homer software packages are provided for selecting the optimal composition of the main and auxiliary equipment based on renewable energy sources. The calculation of the integrated energy system for the consumer of the village of Rastushchiy of Sverdlovsk region.

Key words: software package, renewable energy sources, photovoltaic Converter, wind power plant, integrated energy system.