



2022  
№3(15)

# Окружающая среда и энергостудение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703  
(Online)

# Окружающая среда и энерговедение

---

**Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)**

**2022 №3(15)**

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

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

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

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

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

---

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



## Главный редактор

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

## Зам. главного редактора

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

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

## Ответственный секретарь

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

## Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Адрес редакции:

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

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

## Окружающая

### среда и энерговедение. 2022 №3(15)

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 01.10.2022.

## 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](mailto: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

Бутузов В.А.	
Украинская возобновляемая энергетика .....	4
Зайнутдинова Л.Х., Ильичев В.Г., Джамбеков Р.Г.	
Оценка эффективности водяного охлаждения фотоэлектрического модуля в климатических условиях Астраханской области.....	11
Лукашов А.А.	
Перспективные геотермальные зоны на территории России.	25
Показеев К.В.	
Обзор доклада «Преодолевая пределы» .....	39
Фёдоров В.М., Фролов Д.М., Фёдорова Е.В.	
Инсоляционная контрастность и тенденции изменения глобальной температуры .....	56
Чекарев К.В., Залиханов А.М.	
Парусная энергетическая установка наземного базирования: определение величины сил, действующих на платформу .....	67

## Content

V.A. Butuzov	
Ukrainian Renewable Energy .....	4
L.H. Zaynutdinova, V.G. Ilyichev, R.G. Dzhambekov	
Evaluation of water cooling efficiency of photoelectric module in climatic conditions of Astrakhan region .....	11
A.A. Lukashov	
Promising Geothermal Zones in the Territory of Russia .....	25
K.V. Pokazeev	
The summary for a report "Overcome of the limits" .....	39
V.M. Fedorov, D.M. Frolov, E.V. Fedorova	
Insolation contrast and global temperature trends .....	56
K.V. Chekarev, A.M. Zalikhanov	
Land-based Sailing Power Plant: Determination of the Magnitude of the Forces, Acting on the Platform .....	67

## Украинская возобновляемая энергетика

Бутузов Виталий Анатольевич<sup>[0000-0003-2347-9715]1,2</sup>,

<sup>1</sup>ФГБОУ Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина

<sup>2</sup>E-mail:ets@nextmail.ru

**Аннотация.** Возобновляемая энергетика Украины на 01.07.2021 г. имела установленную мощность 9225 МВт. Наибольшая мощность у солнечных электростанций – 7284 МВт (79%), в том числе сетевых – 6351 МВт и домохозяйств – 933 МВт. На втором месте ветроэлектростанции – 1593 МВт. Электростанции на биотопливе имели мощность 230 МВт, в том числе на биомассе – 119 МВт, на биогазе 111 МВт. Малая гидроэнергетика располагала мощностью 118 МВт. Солнечное и геотермальное теплоснабжение не получили распространения. Описаны деятельность Института возобновляемой энергетики НАНУ, результаты госрегулирования рынка возобновляемой энергетики, состояние дел с производством оборудования для солнечных и ветровых электростанций.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика на Украине, солнечная, ветровая энергетика, биоэнергетика, малая гидроэнергетика, солнечное и геотермальное теплоснабжение, «зеленые» тарифы, госрегулирование, научные исследования.

### 1 Введение

Украина из всех постсоветских стран имеет наибольшие успехи в развитии возобновляемой энергетики (ВЭ). Суммарная установленная мощность ВЭ этой страны в 2021 г. составила 9225 МВт (рис.1), или 11,6% в общем энергобалансе, а России - 5290 МВт. Лидерами возобновляемой энергетики Украины являлись Днепропетровская – 1164 МВт, Херсонская – 1083 МВт и Николаевская – 1074 МВт области ([www.uwea.com.ua](http://www.uwea.com.ua)). В основном это результат концентрации исследований в Институте возобновляемой энергетики (ИВЭ) НАНУ [1], успешной адаптации германского законодательного и организационного опыта. «Зеленые» тарифы Украины являются одними из самых больших в Европе, а

гарантированная реализация электроэнергии ВЭ создала привлекательный для инвесторов рынок. С 2021 г. для снижения стоимости сооружаемых объектов введены дополнительно аукционы инвесторов [2].

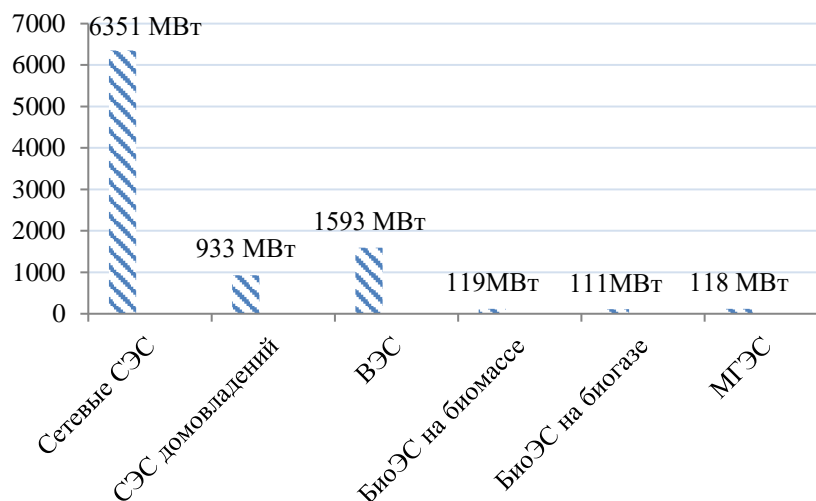


Рис. 1. Установленные мощности электростанций на ВИЭ Украины на 01.07.2021 г.

## 2 Солнечная энергетика

Лидером ВЭ Украины является солнечная энергетика. Суммарная установленная мощность СЭС составляла в 2021 г – 7284 МВт. Их доля в энергобалансе ВЭ составляла 79%. Большая часть солнечной генерации была представлена сетевыми СЭС мощностью до 240 МВт. Их суммарная установленная мощность составляла в 2021 г. 6351 МВт – 87% всех мощностей СЭС. Значительным сегментом рынка ВЭ стали СЭС частных домовладений единичной установленной мощностью до 50 кВт – 933 МВт, или 13% всех мощностей СЭС. Крупнейшим инвестором является Донецкая топливно-энергетическая компания (ДТЭК ВИЭ Украины), которая построила 30 СЭС, суммарной установленной мощностью 1000 МВт, в том числе три мощностью по 200 МВт (Ботиговская, Приморская, Никольская). Этот и другие украинские инвесторы применяют в основном фотоэлектрические модули (ФЭМ) китайского производства. Локализация их производства в Украине отсутствует. Вторым по объемам строительства СЭС является инвестфонд «VB Capital Group» (США): 26 СЭС общей мощностью 536 МВт. Компания «Виндкрафт» (Швеция) построила 6 СЭС общей мощностью 301 МВт, а компания Андрея Григоренко – 20 СЭС общей мощностью 290 МВт. В первом полугодии 2021 г.

объем ввода в эксплуатацию СЭС составил 254 МВт, что втрое меньше, чем было в 2020 г.

Во второй половине XX века Украина была лидером СССР по солнечному теплоснабжению. Научные исследования, разработку и производство солнечных коллекторов, проектирование гелиоустановок выполнял Институт «КиевЗНИИЭП» [3]. По его проекту в Крыму была построена самая большая в СССР гелиоустановка пансионата «Кастрополь» площадью 1600 м<sup>2</sup>. В Запорожье было крупнейшее в СССР производство ФЭМ.

В настоящее время в Украине солнечное теплоснабжение не получило распространения. Программа льготного кредитования «Теплый кредит» с 2014 г. не дала результатов. В г. Ровно построена гелиоустановка с 18 солнечными коллекторами для 54-квартирного жилого дома [4], а самая большая гелиоустановка площадью 474 м<sup>2</sup> с 252 солнечными коллекторами фирмы ООО «ПКК Синтэк» (г. Запорожье) была сооружена в г. Мариуполе.

Научными исследованиями по солнечной энергетике в Украине занимались в основном ИВЭ НАНУ (д.т.н. В.А. Резцов) и Херсонский технический университет. В Атласе энергетического потенциала [5] представлены значения солнечной радиации всех регионов Украины, в статье [4] результаты оценки потенциала солнечной радиации. В статье [6] представлена методика обоснования эффективности солнечного теплоснабжения, а в статье [7] описана методика выбора площадок СЭС. В работах [8, 9] приводятся результаты оптимизации компоновки ФЭМ и потери их мощности при затенении.

### 3 Ветроэнергетика

Суммарная установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) Украины 01.07.2021 составляла 1593 МВт, их доля в энергобалансе возобновляемой энергетики страны - 17,3%. Региональным лидером ветроэнергетики являлась Запорожская область – 596 МВт, включая самую мощную Ботиевскую ВЭС на 200 МВт. Основной инвестор ветроэнергетики, как и солнечной – ГК «ДТЭК ВИЭ». Для получения льготного «зеленого» тарифа с 2021 г. право на сооружение сетевых ВЭС мощностью свыше 5 МВт приобретает на специальных аукционах. При строительстве ВЭС применяется, в основном, зарубежное оборудование: датской фирмы «Vestas» мощностью до 3,8 МВт (V-126), американской «General Electric» мощностью до 3,8 МВт (GE-3.8-130). В Краматорске Донецкой области было организовано сборочное производство ВЭУ типа WTU германской фирмы «Fuhrkander AG» мощностью до 4,5 МВт с изготовлением гондол и башен. Украинская ассоциация ветроэнергетики УВЕА имеет весьма содержательный сайт [www.uwea.com.ua](http://www.uwea.com.ua).

#### **4 Малая гидроэнергетика, биоэнергетика и геотермальное теплоснабжение**

К середине 2021 года в Украине были построены 154 малых гидроэлектростанции (МГЭС) общей мощностью около 120 МВт. По установленной мощности МГЭС в стране лидирует Винницкая область – 25 МВт. Исследования по МГЭС выполняет, в основном, Институт возобновляемой энергетики [10,11].

Биоэнергетика имеет суммарную установленную мощность 230 МВт, в т.ч. БиоЭС на биомассе – 119 МВт, БиоЭС на биогазе – 111 МВт.

Геотермальное теплоснабжение курортных объектов осуществляется в Закарпатской области в селах Кусонь и Береговое. Перспективы развития геотермии представлены в статьях [12,13], теоретические проблемы в книге [14], поверхностной геотермии с тепловыми насосами в статье [15].

#### **5 Выводы**

1. Успехи в развитии ВЭ в Украине объясняются, в основном, тремя факторами: научными разработками Института возобновляемой энергетики НАНУ, высокими тарифами на электроэнергию ВИЭ, привлечением зарубежных инвестиций.

2. Лидером ВЭ Украины является солнечная энергетика – 7284 МВт. В отличие от других постсоветских государств, в Украине помимо сетевых СЭС существенную долю занимают СЭС частных владений единичной установленной мощностью до 50 кВт – 933 МВт (13% всех мощностей СЭС).

3. Ветроэнергетика в Украине представлена сетевыми ВЭС мощностью до 200 МВт с ВЭУ европейских и американских производителей единичной мощностью до 4,5 МВт.

4. Малая гидроэнергетика Украины с общей мощностью 120 МВт продолжает развиваться с советских времен. Биоэнергетика имеет суммарную установленную мощность 230 МВт.

5. Геотермальное и солнечное теплоснабжение в современной Украине не получили развития.

#### **Литература**

1. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Історія становлення, сучасністів та перспективи. За ред. С.О. Кудря. Київ. ІВЕ 2020. 108с.
2. Хілько В.А. Заходи підтримки відновлюваної енергетики в Україні // Відновлювана енергетика. 2021. № 3. С. 6÷ 17.
3. Бутузов В.А. Солнечное теплоснабжение. Опыт столетнего развития // Промышленная энергетика. 2020. № 4. С. 52-62

4. Матях С.В., Суржик Т.В., Резцов В.Д. Напрями та перспективи розвитку сонячної теплоенергетики // Відновлювана енергетика 2021. № 3. С. 33-44
5. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України./ За ред. С.О. Кудря Київ. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с. [https / www. ive.org. ue / wp – content/uploads/atlas.pdf](https://www.ive.org.ue/wp-content/uploads/atlas.pdf)
6. Матях С.В., Суржик Т.В., Резцов В.Д. Визначення ефективності застосування систем гарячого сонячного водопостачання // Відновлювана енергетика. 2020. № 1 С. 17-22
7. Кирнос Л.А., Гундєв В.О., Резцов В.Д., Суржик Т.В., Шевчук В.І, Шейко І.О. Особливості визначення раціональних площадок для розміщення фотоелектричних станцій в Україні Відновлювана енергетика. 2019. № 2 С. 13-21
8. Андропова О.В. Курак В.В. Оптимізація розміщення приймачів сонячної енергії для кліматичних умов півдня України // Відновлювана енергетика. 2020. № 2 С. 45-53
9. Демин Д.А., Гаевская А.Н., Гаевский А.Ю. Фактор потери мощности фотоэлектрических модулей при их взаимном затенении и оптимизация углов наклона между рядами модулей // Відновлювана енергетика. 2019. № 4 С. 37-48
10. Васько П.Ф., Мороз А.В., Бриль А.О. Сучасний стан будівництва малих гідроелектростанцій в Україні та оцінка технічного потенціалу їх подальшого розвитку // Відновлювана енергетика. 2018. № 4 С. 73-83
11. Перминов Ю.Н., Монахов Е.А. Малые и эффективные гидроагрегаты для этих электростанций // Возобновляемая энергетика. 2018. № 4. С. 64-72
12. Барило А.А. Аналіз гідрогеологічних та геотермічних характеристик геотермальних об'єктів України // Відновлювана енергетика. 2020. № 2 С. 45-53
13. Морозов Ю.П., Чалаєв Д.М., Николаєска Н.В., Добровольський М.П. Оцінка ефективності використання теплового потенціалу доквілля та верхніх шарів землі України // Відновлювана енергетика. 2020. № 4 С. 80-88
14. Морозов Ю.П. Добыча геотермальных ресурсов и аккумулярование теплоты в подземных горизонтах. Киев: Наукова Думка. 2017. 197с.
15. Морозов Ю.П., Чалаєв Д.М., Николаєва Н.В., Добровольський М.П. Енергетична ефективність використання перших від поверхні водоносних горизонтів для теплогазопостачання // Відновлювана енергетика. 2019. № 2 С. 70-78

## References

1. Institut vidnovlyuvanoї energetiki NAN Ukraїni. Istoriya stanovlennya, suchasnistiv ta perspektivi. Za red. S.O. Kudrya. Kiїv. IBE 2020. 108s.
2. Hil'ko V.A. Zahodi pidtrimki vidnovlyuvanoї energetiki v Ukraїni // Vidnovlyuvana energetika. 2021. № 3. S. 6÷ 17.
3. Butuzov V.A. Solnechnoe teplosnabzhenie. Opyt stoletnego razvitiya // Promyshlennaya energetika. 2020. № 4. S. 52-62
4. Matyah S.V., Surzhik T.V., Rezcov V.D. Napryami ta perspektivi rozvitku sonyachnoї teploenergetiki // Vidnovlyuvana energetika 2021. № 3. S. 33-44
5. Atlas energetichnogo potencialu vidnovlyuvanih dzhenerekh energii Ukraїni./ Za red. S.O. Kudrya Kiїv. Institut vidnovlyuvanoї energetiki NAN Ukraїni. 2020. 82 s. [https / www. ive.org. ue / wp – content/uploads/atlas.pdf](https://www.ive.org.ue/wp-content/uploads/atlas.pdf)
6. Matyah S.V., Surzhik T.V., Rezcov V.D. Vznachennya effektivnosti zastosuvannya sistem garyachogo sonyachnogo vodopostachannya // Vidnovlyuvana energetika. 2020. № 1 S. 17-22



7. Kirnos L.A., Gundev V.O., Rezcov V.D., Surzhik T.V., Shevchuk V.I., SHEjko I.O. Osoblivosti viznachennya racional'nih ploshchadok dlya rozmishchennya fotoelektrichnih stancij v Ukraïni Vidnovlyuvana energetika. 2019. № 2 S. 13-21
8. Andronova O.V. Kurak V.V. Optimizaciya rozmishchennya priymachiv sonyachnoï energii hzlfvb dlya klimatichnih umov pïvdnya Ukraïni // Vidnovlyuvana energetika. 2020. № 2 S. 45-53
9. Demin D.A., Gaevskaya A.N., Gaevskij A.YU. Faktor poteri moshchnosti fotoelektricheskikh modulej pri ih vzaimnom zatenenii i optimizaciya uglov naklona mezhdru ryadami modulej // Vidnovlyuvana energetika. 2019. № 4 S. 37-48
10. Vas'ko P.F., Moroz A.V., Bril' A.O. Suchasnij stan budivnicva malih gidroelektrostancij v Ukraïni ta ocinka tekhnichnogo potencialu ih podal'shogo rozvitku // Vidnovlyuvana energetika. 2018. № 4 S. 73-83
11. Perminov YU.N., Monahov E.A. Malye i effektivnye gidroagregaty dlya etih elektrostancij // Vozobnovlyaemaya energetika. 2018. № 4. S. 64-72
12. Barilo A.A. Analiz gidrogeologichnih ta geotermichnih karakteristik geotermal'nih ob'ektiv Ukraïni // Vidnovlyuvana energetika. 2020. № 2 S. 45-53
13. Morozov YU.P., CHalaev D.M., Nikolaeska N.V., Dobrovol'skij M.P. Ocinka effektivnosti vikoristannya teplovogo potencialu dovkillya ta verhnih shariv zemli Ukraïni // Vidnovlyuvana energetika. 2020. № 4 S. 80-88
14. Morozov YU.P. Dobycha geotermal'nyh resursov i akumulirovanie teploty v podzemnyh gorizontah. Kiev: Naukova Dumka. 2017. 197s.
15. Morozov YU.P., CHalaev D.M., Nikolaeva N.V., Dobrovol'skij M.P. Energetichna effektivnist' vikoristannya pershih vid poverhni vodonosnih gorizontiv dlya teplo- ta hladopostachannya // Vidnovlyuvana energetika. 2019. № 2 S. 70-78

## Ukrainian Renewable Energy

Vitaly Butuzov<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>FGBOU Kuban' State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup>E-mail:ets@nextmail.ru,

**Abstract.** The renewable energy capacities in Ukraine on 01.07.2021 were at 9225 MW. The solar power plants were topping with 7284 MW or 79% of total, including 6351 MW of network and 933 MW of household capacities. Wind farms followed it with 1593 MW. Bioenergy plants had 230 MW of the total

capacities including 119 MW on biomass and 111 MW on biogas. The small-scale hydro plants had 118 MW. Solar and geothermal heating were not widespread. The article describes the activities of the Ukrainian National Academy of Sciences' (NANU) Institute for Energy, results of state regulations of the renewable energy market, the state of affairs with equipment production for solar and wind plants.

**Keywords:** renewable energy in Ukraine, solar energy, wind energy, bioenergy, small-scale hydro energy, solar heating, geothermal heating, green tariffs, state regulations of renewable energy, scientific research on renewable energy.

УДК 620.92

## Оценка эффективности водяного охлаждения фотоэлектрического модуля в климатических условиях Астраханской области

Зайнутдинова Лариса Хасановна <sup>[0000-0002-7013-9716]</sup><sup>1</sup>, Ильичев Владимир Геннадьевич <sup>[0000-0002-2579-0403]</sup><sup>2</sup>, Джамбеков Равиль Гариполаевич <sup>[0000-0003-0880-2086]</sup><sup>3</sup>

Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева,  
Астрахань, 414056 Россия

E-mail: <sup>1</sup> Lzain@mail.ru, <sup>2</sup> vova201428@yandex.ru, <sup>3</sup> ravil-200@mail.ru

**Аннотация.** Разработана система водяного охлаждения фотоэлектрического модуля. Проведено экспериментальное исследование эффективности водяного охлаждения для реальных условий эксплуатации в регионе с высокими температурами окружающей среды. Эксперимент показал, что в климатических условиях Астраханской области водяное охлаждение фотоэлектрического модуля обеспечивает существенное возрастание его выходной мощности и коэффициента полезного действия.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, водяное охлаждение, коэффициент полезного действия

### 1 Введение

В настоящей работе ставится задача изучения эффективности охлаждения фотоэлектрических модулей в реальных условиях эксплуатации в регионах с высокими температурами окружающей среды. Настоящее исследование проводится на базе Астраханского государственного университета с применением информационно-измерительной системы долгосрочного мониторинга характеристик фотоэлектрических модулей [1], [2]. Система укомплектована измерительным оборудованием (датчиками) для измерения солнечной радиации (кремниевый фотоприемник, SP Lite 2), температуры тыльной стороны модуля и окружающей среды (датчики температуры, DS18B20). Согласно экспериментам, проведенным с применением упомянутой фотоэлектрической системы, в летнее время в полдень температура солнечных модулей в условиях Астрахани на солнце достигает высоких значений, более 70 градусов Цельсия [3].

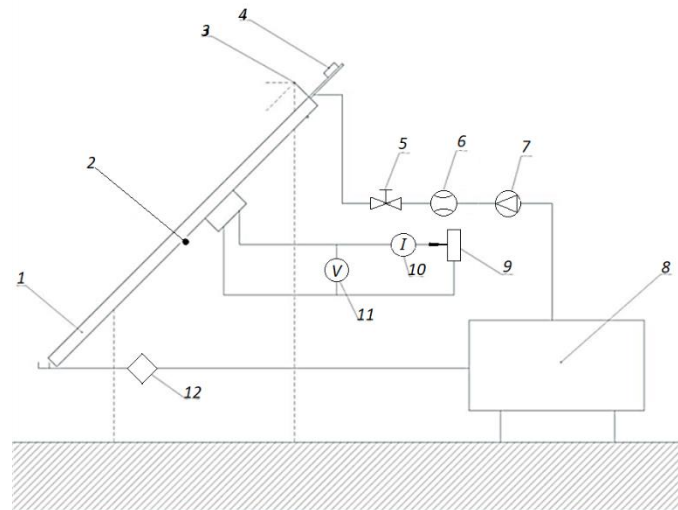
Как известно, недостатком солнечных фотоэлектрических систем является большая зависимость выработки электроэнергии от погодных факторов и снижение КПД с ростом температуры [4, 5, 6]. Поэтому пристальное внимание разработчиков фотоэлектрических систем обращено к проблемам охлаждения фотоэлектрических модулей. Так, например, сотрудниками электромеханического факультета технологического университета Багдада была создана система испарительного охлаждения в сочетании с радиатором [7]. В работе ученых Индии была реализована фотоэлектрическая система с температурным контролем на основе термоэлектрического эффекта [8]. Учеными из Малайзии рассматривалось охлаждение фотоэлектрического модуля посредством пропускания воды по медным трубкам, установленным с тыльной стороны модуля [9]. Общим недостатком решений [7,8,9] является усложнение конструкции.

В большинстве известных работ испытание систем охлаждения производится в лабораторных условиях, где инсоляция и нагрев модуля имитируются искусственно.

В настоящей работе была поставлена цель оценки эффективности водяного охлаждения фотоэлектрических модулей в реальных условиях эксплуатации в регионе с жарким климатом.

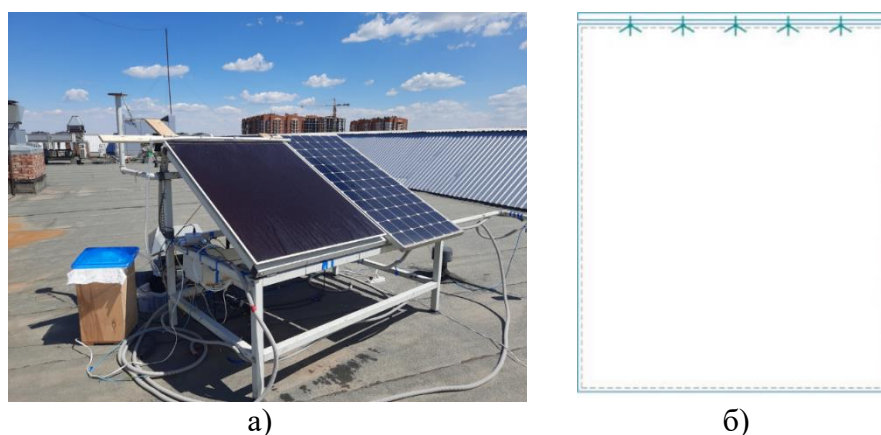
## 2 Система охлаждения

Авторами статьи разработана система охлаждения, представленная на рисунке 1.



**Рис. 1.** Система охлаждения фотоэлектрического модуля (1 – Фотоэлектрический модуль Pramac 125, 2 – Датчик температуры тыльной стороны ФЭМ, 3 – Сопла (5 шт), 4 – Кремниевый фотоприемник, 5 – Клапан регулирования расхода воды, 6 – Расходомер, 7 – Насос, 8 – Емкость для воды, 9 – Реостат, 10 – Амперметр, 11 – Вольтметр, 12 – Фильтр).

Охлаждение фотоэлектрического модуля осуществляется активным способом путем распыления воды по поверхности фотоэлектрического модуля. Общий вид установки с фотоэлектрическим модулем и системой охлаждения представлен на рисунке 2.



**Рис.2** – Проведение эксперимента с охлаждением фотоэлектрического модуля (а- общий вид установки, б- расположение форсунок)

Установка оборудована системой форсунок, находящихся на верхней стороне модуля и обеспечивающих равномерное распределение брызг охлаждающей жидкости по всей поверхности (рис. 2). Модуль зафиксирован под углом, обеспечивающим наибольшую выработку электрической энергии, в соответствии с географическими координатами местности.

При проведении эксперимента в качестве нагрузки фотоэлектрического модуля использован реостат ползунковый РПШ-5 с роликовыми контактами на 5 А с диапазоном изменения сопротивления (0-30) Ом

Помимо измерителей электрических параметров система укомплектована измерительным оборудованием (датчиками) для измерения солнечной радиации (кремниевый фотоприемник, SP Lite 2), температуры тыльной стороны модуля и окружающей среды (датчики температуры, DS18B20), массового расхода охлаждающей жидкости (расходомер).

Распыление воды осуществляется через 5 форсунок, установленных равноудаленно друг от друга на верхней стороне модуля. Подача воды реализована насосом из накопительного бака. Вода, распыляясь по поверхности модуля накапливается в нижней его части и, протекая по водосточному желобу,

подается в обратном направлении в накопительный бак. Ранее на основании проведенного исследования, был выявлен оптимальный угол распыления сопла (150 град).

В системе подачи воды установлен клапан регулирования расхода воды и расходомер для определения массового расхода разбрызгиваемой воды.

Система охлаждения фотоэлектрического модуля сконструирована и изготовлена таким образом, чтобы ее прочность и жесткость обеспечивали защиту от воздействий неблагоприятных условий окружающей среды (попадание воды, пыли и песка в воздухе и т.д.). Конструкция системы охлаждения надежно установлена относительно поверхности, на которой располагается фотоэлектрический модуль, в целях защиты от ветряных порывов. Установка в систему фильтра-грязевика предотвращает загрязнение сопел разбрызгивания охлаждающей жидкости, клапана регулирования давления, расходомера.

Клапан регулирования давления и расходомер также защищены от воздействия внешних условий окружающей среды (пыль, прямое попадание солнечных лучей).

### **3 Методика проведения эксперимента и результаты измерений**

В настоящей статье рассматривается организация эксперимента по оценке эффективности водяного охлаждения фотоэлектрического модуля в натурных условиях г. Астрахани. В эксперименте использован фотоэлектрический модуль Pramac-125. Эксперимент проводился 2-го сентября 2022 г.

Были использованы следующие электроизмерительные приборы: мультиметр «RIGOL DM3061» в качестве амперметра и мультиметр Mastech MY61 в качестве вольтметра. В качестве электрической нагрузки использовался реостат ползунковый РППШ-5 с роликовыми контактами на 5 А с диапазоном изменения сопротивления (0-30) Ом.

Номинальные электрические параметры модуля Pramac-125, определенные при стандартных условиях испытаний (температура модуля  $t = 25$  °С, инсоляция  $I_p = 1000$  Вт/м<sup>2</sup>), приведены в паспорте [10]. Поскольку реальные условия, как правило, отличаются от стандартных в начале эксперимента была снята фактическая вольтамперная характеристика модуля Pramac -125. При инсоляции 854 Вт/м<sup>2</sup> и температуре тыльной стороны модуля, равной +54,45 °С напряжение холостого хода составило 60,5 В, в точке максимальной мощности напряжение было равно 46 В, а сила тока – 1,8489 А. Сопротивление нагрузочного реостата в точке максимальной мощности составило 24, 88 Ом. В дальнейшем нагрузка не регулировалась.

Далее эксперимент выполнялся с применением разработанной авторами системы охлаждения в период с 11 часов 20 минут до 12 часов 23 минут (2-го сентября 2022г). Результаты измерений фиксировались ежеминутно, они приведены в таблице 1. Приняты следующие обозначения:

U – напряжение на выходе фотоэлектрического модуля (на нагрузке) (В),

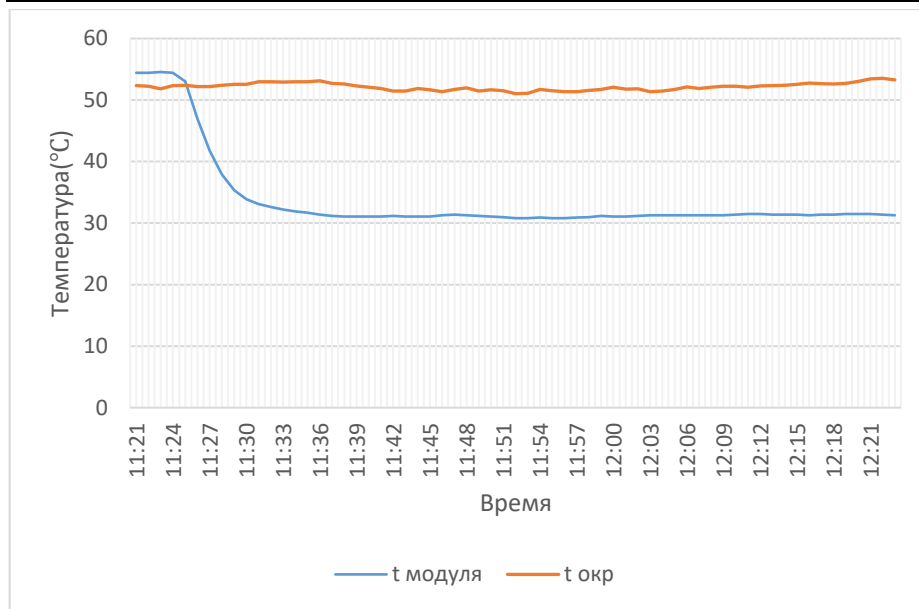
I - ток нагрузки, (A),  
 In – инсоляция (Вт/м2),  
 t - температура тыльной стороны фотоэлектрического модуля (°C),  
 t окр - температура окружающей среды (°C)

Таблица 1. Результаты измерений.

Время час:мин	U(B)	I(A)	In(Вт/м2)	Температура t модуля(°C)	Температура окружающей среды t окр (°C)
11:21	46	1,8672	854,625	54,45	52,34
11:22	46,7	1,91	855,5	54,45	52,23
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
12:21	49,5563	2,044672	899,25	31,5	53,42
12:22	49,5587	2,045051	901,625	31,4	53,54
12:23	49,5611	2,044	899,25	31,29	53,27

#### 4 Анализ результатов измерений

На рисунке 3 приведены зависимости температуры окружающей среды и температуры модуля.

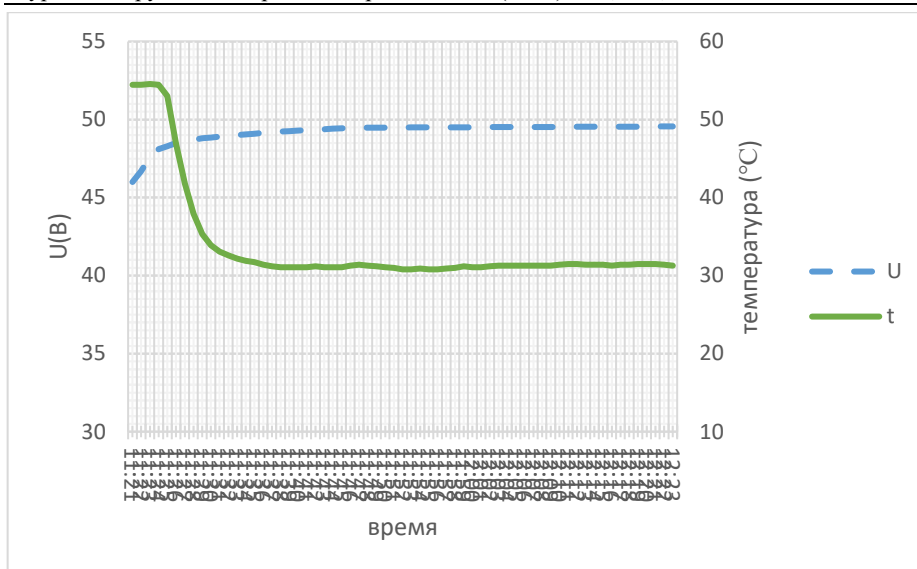


**Рис. 3.** Охлаждение фотоэлектрического модуля Pramac -125. Температура модуля, температура окружающей среды, 2022-09-02.

Согласно рис.3 и таблице 1 после включения системы водяного охлаждения наблюдается плавное снижение температуры модуля от 54°C до 31°C. Удалось понизить температуру модуля на 22 °C.

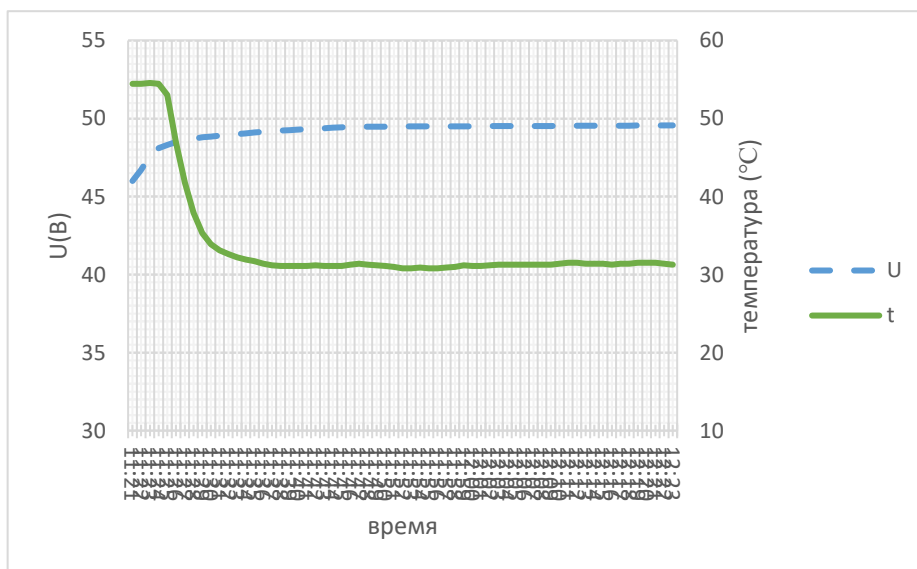
На следующих рисунках показано, что осуществленное в настоящем эксперименте водяное охлаждение позволяет добиться повышения выходного напряжения, силы тока и вырабатываемой мощности (рис.4, рис.5, рис.6).





**Рис.4 .** Охлаждение фотоэлектрического модуля Pramac -125. Температура модуля(°C), Выходное напряжение модуля (В), 2022-09-02.

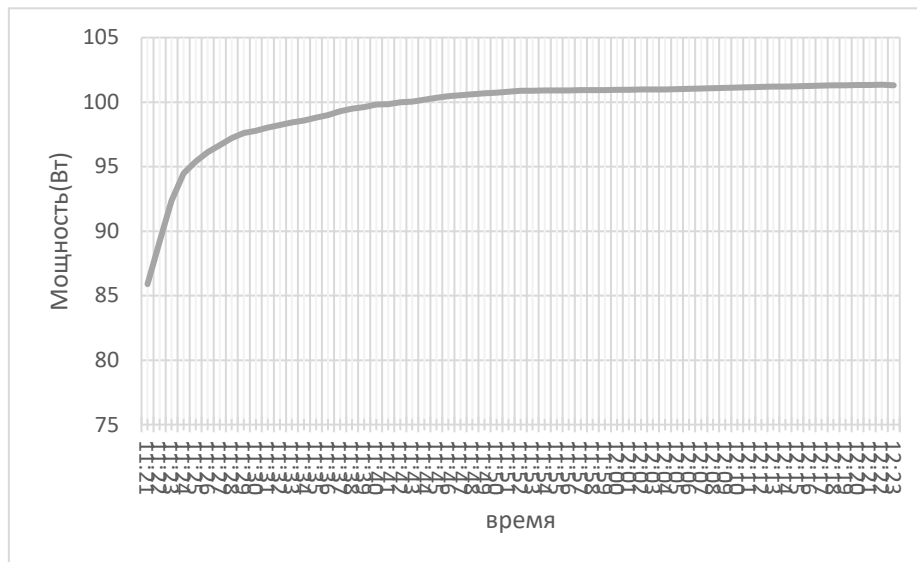
Таким образом, охлаждение позволило повысить напряжение на выходе модуля с 46 В до 49,5 В.



**Рис.5 .** Охлаждение фотоэлектрического модуля Pramac -125. Сила тока. 2022-09-02.

Охлаждение позволило повысить силу тока на выходе модуля с 1,8672 А до 2,044 А.

Соответственно, возрастает выходная мощность



**Рис.6 .** Охлаждение фотоэлектрического модуля Pramac -125. Выходная мощность, 2022-09-02.

Благодаря охлаждению выходная мощность возросла с 85,89 Вт до 101,3 Вт, то есть на 18%. Это существенный результат. Для солнечных электростанций средней и большой мощности в случае использования водяного охлаждения можно добиться существенного приращения абсолютных значений выработки электроэнергии.

При этом следует подчеркнуть в процессе эксперимента инсоляция изменялась незначительно (рисунок 7). Поэтому наблюдавшееся возрастание силы тока, напряжения и мощности с полной уверенностью можно объяснить влиянием водяного охлаждения

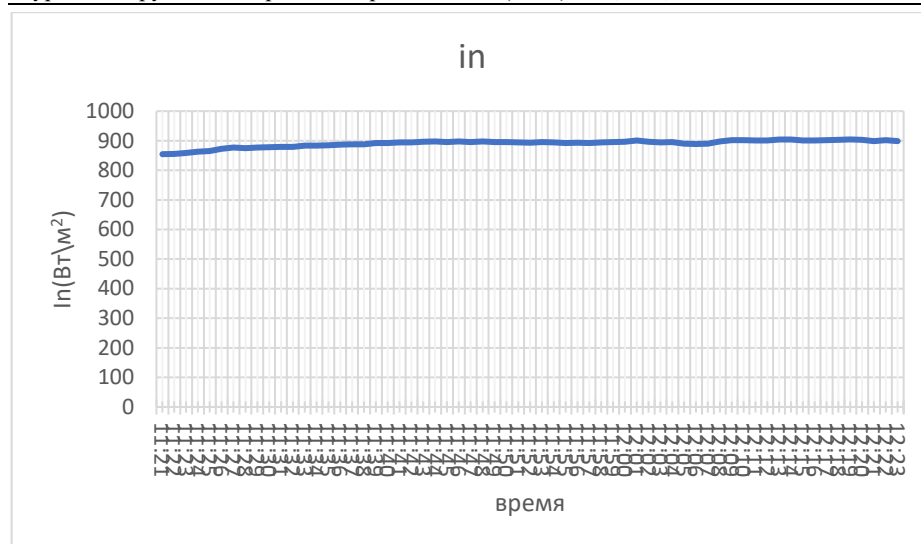


Рис.7 . 2022-09-02 Инсоляция.

## 5 Коэффициент полезного действия

Конечно же, основным показателем эффективности любого технического устройства является коэффициент полезного действия КПД:

$$\eta = P_2 / P_1 \quad (1)$$

где

$P_2 = U \cdot I$  - мощность, отдаваемая фотоэлектрическим модулем в нагрузку, (Вт),

$P_1$  - мощность солнечного излучения падающего на поверхность фотоэлектрического модуля (Вт),

$$P_1 = S \cdot I_n \text{ (Вт)}$$

здесь  $S$  – площадь поверхности фотоэлектрического модуля,  $m^2$ ,

Для исследованного модуля Pramac -125 площадь поверхности  $S = 1,43 m^2$ ,

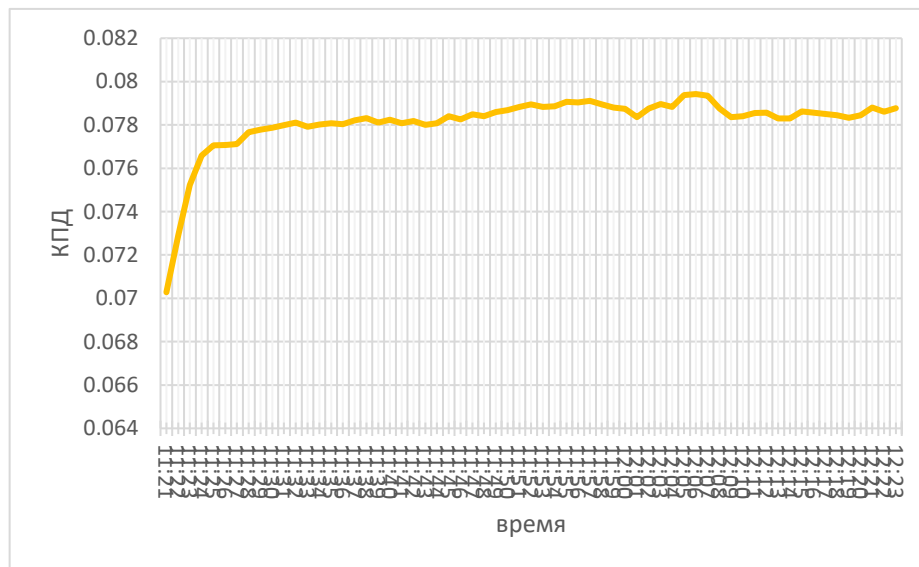
Значения мощностей и КПД, рассчитанные на основе полученных экспериментальных данных, приведены в Таблице2

Таблица 2. Мощности и КПД.

Время час:мин	P2(Вт)	In(Вт/м2)	P1(Вт)	КПД
11:21	85,8912	854,625	1222,114	0,070281
11:22	89,197	855,5	1223,365	0,072911
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

12:21	101,3264	899,25	1285,928	0,078796
12:22	101,3501	901,625	1289,324	0,078607
12:23	101,3029	899,25	1285,928	0,078778

График изменения КПД в ходе эксперимента приведен на рисунке 8.



**Рис.8** . Охлаждение фотоэлектрического модуля Pramac -125. Коэффициент полезного действия (КПД), 2022-09-02.

При отсутствии охлаждения КПД был равен 7%, в результате действия охлаждения КПД возрастал до 7,94%. Такое приращение можно считать существенным.

## 6 Заключение

1.Разработана система водяного охлаждения фотоэлектрического модуля. Распыление воды осуществляется через 5 форсунок, установленных равноудаленно друг от друга на верхней части модуля. Подача воды реализована насосом из накопительного бака. Вода, распыляясь по поверхности модуля, накапливается в нижней его части и, протекая по водосточному желобу, подается обратно в накопительный бак. В системе подачи воды установлен клапан регулирования расхода воды и расходомер для определения массового расхода разбрызгиваемой воды.

2. Предложена методика эксперимента по оценке эффективности водяного охлаждения фотоэлектрического модуля в природных условиях г. Астрахани. В начале эксперимента производится поиск точки максимальной мощности, в дальнейшем найденное значение сопротивления нагрузки не регулируется. Нагрузка, амперметр и вольтметр подключались непосредственно к выходу модуля. С целью большей чистоты эксперимента был исключен традиционный способ подключения нагрузки через МРРТ контроллер.

3. В условиях природного эксперимента сложно обеспечить постоянство внешних факторов. В нашем эксперименте удалось выбрать такой временной интервал измерений, в течение которого инсоляция и температура окружающей среды изменялись незначительно, а влияние охлаждения уже могло проявиться в должной степени. Так значения инсоляции менялись в сравнительно небольшом диапазоне от 854,625 Вт/м<sup>2</sup> до 904,375 Вт/м<sup>2</sup>, а температура окружающей среды всего лишь в диапазоне от 51,84 °С до 53,54 °С.

4. Анализ результатов измерений показал достаточную эффективность предложенной системы водяного охлаждения. Было обеспечено снижение температуры модуля от 54°С до 31°С. Охлаждение позволило повысить напряжение на выходе модуля с 46 В до 49,5 В.

повысить силу тока с 1,8672 А до 2,044А. Соответственно, выходная мощность возросла с 85,89 Вт до 101,3 Вт, то есть на 18%. Это существенный результат.

5. На основании результатов измерений произведен расчет коэффициента полезного действия фотоэлектрического модуля как отношения мощности отдаваемой нагрузке к мощности падающего на поверхность модуля солнечного излучения. Полученные значения КПД соответствуют паспортным данным испытанного фотоэлектрического модуля Pramac -125. Охлаждение позволило повысить КПД от 7%, до 7,94%. Такое приращение можно считать существенным.

6. На основании проведенного экспериментального исследования можно сделать заключение о том, что для солнечных электростанций средней и большой мощности, эксплуатирующихся в регионах с жарким климатом, использование водяного охлаждения может дать существенное приращение абсолютных значений выработки электроэнергии.

## Литература

1. Братышев С.Н., Зайнутдинова Л.Х., Ильичев В.Г., Титов А.С. Информационно-измерительная система долгосрочного мониторинга характеристик фотоэлектрических модулей // Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации: материалы II Международной научно-технической конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : РИК УГАТУ, 2019. С.281-286

2. Larisa Zaynutdinova, Rustem Zaynutdinov, Vladimir Pilychev, Ilya Shurshev. EXPERIMENTAL STUDY INTO DEGRADATION OF A SINGLE-CRYSTAL SILICON PHOTOVOLTAIC MODULE IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF ASTRAKHAN REGION // Proceedings ICOECS 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. IEEE Catalog Number: CFP20S88-USB, ISBN: 978-1-7281-9115-7, 2020, - P. 111-114
3. Теруков Е.И., Андроников Д. А., Малевский Д. А., Зайнутдинов Р.А., Ключарев А. Ю., Братышев С. Н., Ильичев В. Г. Экспериментальное исследование влияния метеорологических факторов на выработку электроэнергии солнечными модулями в климатических условиях астраханской области // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. № 2(46), 2019г., С.180-193
4. Троицкий А. О., Серадская О. В., Кирпичникова И. М. Основные факторы снижения КПД солнечных установок и способы поддержания номинального КПД // Энерго-и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2015. – Т. 3. – №. 1. – С. 222-225.
5. Дубинин Д. В., Лаевский В. Е. Энергетическая эффективность работы солнечных батарей в реальных режимах эксплуатации // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – №. 3.-С. 58-62.
6. Джумаев А. Я. Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической солнечной станции // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. 46-й междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: Сибак, 2015 № 5 (42). С. 33–40.
7. Malagouda Patil, Dr. Alur Sidramappa, Rajashekhargoud Angadi Experimental Investigation of Enhancing the Energy Conversion Efficiency of Solar PV Cell by Water Cooling Mechanism / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 376 (2018)
8. R. Rajaram\*, D.B. Sivakumar EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOLAR PANEL COOLING BY THE USE OF PHASE CHANGE MATERIAL / International Conference on Energy Efficient Technologies For Automobiles (EETA' 15) Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences // Department of Mechanical Engineering, University College of Engineering, BIT Campus, Tiruchirappalli, India. 2015. 238-239
9. A.R. Amelia\* , Y.M. Irwan\* , M. Irwanto\* ,W.Z. Leow\* , N. Gomesh\* , I. Safwati\*\*, M.A.M. Anuar\*\*\* Cooling on Photovoltaic Panel Using Forced Air Convection Induced by DC Fan / International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 6, No. 2, April 2016, pp. 526~534
10. Фотоэлектрические модули Pramac 125Вт ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ // <http://clever-energy.ru/wp-content/uploads/2016/06/Hevel-Pramac-125.pdf>, [электронный ресурс] (Дата обращения 08.07.2022)

## Reference

1. Bratyshev S. N., Zaynutdinova L. Kh., Ilyichev V. G., Titov A. S. Information and measuring system for long-term monitoring of the characteristics of photovoltaic modules // Problems of obtaining, processing and transmitting measuring information: materials of the II International Scientific and Technical Conference / Ufa State University. aviac. tech. uni. – Ufa : RIK UGATU, 2019. Pp.281-286.

2. Larisa Zaynutdinova, Rustem Zaynutdinov, Vladimir Ilyichev, Ilya Shurshev. Experimental study into degradation of a single-crystal silicon photovoltaic module in the climatic conditions of Astrakhan Oblast // Proceedings of ICOECS 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. IEEE Catalog Number: CFP20S88-USB, ISBN: 978-1-7281-9115-7, 2020, - P. 111-114
3. Terukov E.I., Andronikov D. A., Malevsky D. A., Zaynutdinov R.A., Klyucharev A. Yu., Bratyshev S. N., Ilyichev V. G. Experimental study of the influence of meteorological factors on the generation of electricity by solar modules in the climatic conditions of the Astrakhan region // Caspian Journal: Management and High technologies. No. 2(46), 2019, pp.180-193.
4. Troitsky A. O., Seradskaya O. V., Kirpichnikova I. M. The key factors of reducing the efficiency of solar installations and ways to maintain nominal efficiency // Energy and resource conservation in thermal power engineering and social sphere: materials of the international scientific and technical conference of students, postgraduates, scientists. – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education South Ural State University (National Research University), 2015. - Vol. 3. – No. 1. – pp. 222-225.
5. Dubinin D. V., Laevsky V. E. Energy efficiency of solar panels in real operating conditions // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. - 2015. – Vol. 326. – No. 3.-pp. 58-62.
6. Dzhumaev A. Ya. Analysis of the influence of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station // Technical sciences – from theory to practice: collection of articles on the 46th International Scientific and Practical Conference. Novosibirsk: Sibak, 2015 No. 5 (42). pp. 33-40.
7. Malagouda Patil, Dr. Alur Sidramappa, Rajashekhargoud Angadi Experimental Investigation of Enhancing the Energy Conversion Efficiency of Solar PV Cell by Water Cooling Mechanism / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 376 (2018)
8. R. Rajaram\*, D.B. Sivakumar EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOLAR PANEL COOLING BY THE USE OF PHASE CHANGE MATERIAL / International Conference on Energy Efficient Technologies For Automobiles (EETA' 15) Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences // Department of Mechanical Engineering, University College of Engineering, BIT Campus, Tiruchirappalli, India. 2015. 238-239
9. A.R. Amelia\* , Y.M. Irwan\* , M. Irwanto\* ,W.Z. Leow\* , N. Gimesh\* , I. Safwati\*\*, M.A.M. Anuar\*\*\* Cooling on Photovoltaic Panel Using Forced Air Convection Induced by DC Fan / International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 6, No. 2, April 2016, pp. 526~534
10. Pramac 125W Photovoltaic modules MAIN PARAMETERS AND CHARACTERISTICS // <http://clever-energy.ru/wp-content/uploads/2016/06/Hevel-Pramac-125.pdf> , [electronic resource] (Accessed 08.07.2022)

## **Evaluation of water cooling efficiency of photoelectric module in climatic conditions of Astrakhan region**

Larisa Zaynutdinova<sup>1</sup>,  
Vladimir Ilyichev<sup>2</sup>,  
Ravil Dzhambekov<sup>3</sup>

Science and educational center  
“Alternative energetics”  
Astrakhan State University  
Astrakhan, Russian Federation

<sup>1</sup>E-mail: lzain@mail.ru

<sup>2</sup>E-mail: vova201428@yandex.ru

<sup>3</sup>E-mail: ravil-200@mail.ru

**Abstract.** A water cooling system of the photovoltaic module has been developed. An experimental study of the efficiency of water cooling for real operating conditions in a region with high ambient temperatures has been carried out. The experiment showed that in the climatic conditions of the Astrakhan region, water cooling of a photovoltaic module provides a significant increase in its output power and efficiency.

**Keywords:** photovoltaic module, water cooling, efficiency



## Перспективные геотермальные зоны на территории России

Лукашов Андрей Александрович<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

<sup>1</sup>E-mail: smoluk@yandex.ru

**Аннотация.** Статья представляет собой интервью зам. главного редактора журнала К.С. Дегтярева с А.А. Лукашовым – доктором географических наук, профессором кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, заслуженным профессором МГУ. Тема интервью – потенциально интересные, с точки зрения перспектив освоения геотермальной энергии, регионы России. Помимо достаточно хорошо известных Кавказа и Камчатки, А.А. Лукашов обращает внимание на несколько зон с повышенным тепловым потоком, в частности, в Северо-Восточной Сибири, Байкальском рифте, на юге Западной Сибири, на Полярном Урале и в Ленинградской области, отмечая, что во многих случаях на названных территориях возможно комбинированное использование геотермальных и других местных источников энергии. Также затрагивается вопрос взаимосвязи потока геотермальной энергии с месторождениями углеводородного сырья.

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, источники энергии, тектоника, Момский грабен, Магаданская область, Байкальский рифт, Западная Сибирь, Полярный Урал, Ленинградская область.

*Андрей Александрович, какие территории России, на Ваш взгляд геоморфолога, исследующего эндогенные факторы рельефообразования, интересны для геотермальной энергетики?*

Сахалин, Курильские острова и особенно Камчатка хорошо известны с геотермальной точки зрения (рис. 2, 3, 4).



**Рис. 1.** А.А. Лукашов



**Рис. 2.** Мутновская геотермальная станция (Южная Камчатка). Фото А. Мазуренко



Рис. 3. Дальневосточные геотермальные станции России



Рис. 4. Геотермальная станция на острове Кунашир (Южные Курилы)

Но на территории России есть и другие области, где фиксируется мощный геотермальный поток; хотя, отметим, не всегда у них есть чёткая геоморфологическая привязка [1]. Сравнительно-географический анализ регионального потенциала возобновляемых источников энергии определил перспективы развития определённых технологий производства энергии на ВИЭ для отдельных регионов России. На развитие подобной энергетики существенно влияют потребности в экологически безопасном производстве - при сохранении благоприятной экологической обстановки в регионе. Освоение геотермальной

энергии, в частности, перспективно не только для Камчатки, но также и для Забайкалья, Северного Кавказа и для Северо-запада Европейской территории России [2].

В отношении Северного Кавказа с его «набором» особо охраняемых природных территорий в первую очередь представляет интерес Пятигорье с многочисленными проявлениями термальных вод (от станции Суворовской на Куме до Горячеводска и Тамбуканского озера). Непосредственно в Пятигорске находится общеизвестное гидротермокарстовое образование Провал (рис. 5).



**Рис. 5.** Карстопоявление Провал в Пятигорске с термальным озером (фото А.Лукашова)

Температура в его озере колеблется (по сезонам) от 25 до 40°C. Примечательно, что по всей периферии г. Машук, в том числе - непосредственно в городе – распространены травертины, поступающие из недр вместе с термальными водами (рис. 6).

Многочисленны выходы на поверхность термальных вод и в Приморском Дагестане, иногда сопровождающиеся отложением травертина.



**Рис. 6.** Современные травертины, плащеобразно перекрывающие коренные известняки, в Пятигорске, откладывающиеся поступающими из глубины термальными водами. Фото А. Лукашова

Травертины, вторичные карбонаты – это уже признак термогидрокарстовых процессов, сходных с теми, что наблюдаются в Альпах, Апеннингах, Крыму и, вероятно, в Абхазии.

Известны выходы термальных вод и в непосредственной близости к Эльбрусу с его всё ещё не до конца остывшим вулканическим ядром – промежуточной магматической камерой, генерировавшей в голоцене излияния дацитовых лав. Наиболее известны низкотермальные нарзаны в урочище Джилы-су - в истоках Малки, Балкария (рис. 7).



**Рис. 7.** Термальный источник Джилы-су в истоках р. Малки (Балкария). Фото А. Лукашова

Многочисленны выходы на поверхность термальных вод и в Приморском Дагестане, иногда сопровождающиеся отложением травертина. Особой территорией в рассматриваемом отношении является Керченско-Таманская область с её грязевыми вулканами, извергающими тёплую сопочную брекчию с глубин до 8-10 км. Обломки пород в составе брекчии порою носят следы обжига [3]. Крымское продолжение (в западном направлении) потенциальной геотермальной зоны Северного Кавказа находит подтверждение не только в явлениях грязевого вулканизма, но также и широком развитии проявлений термогидрокарста – вплоть до Гераклеийского плато (рис. 8).



**Рис. 8.** Наложение вторичного кристаллического кальцита на сарматские известняки близ мыса Фиолент (Севастополь). Фото В. Лысенко

Подчеркнём, в связи с этим, что Крым - тоже перспективная территория с мощным тепловым потоком и массовым развитием вторичного кальцита в районе от мыса Фиолент до Чатыр-дага.

Ещё один, чрезвычайно интересный район – разумеется, Байкальский рифт, значительная часть площади Прибайкалья и Забайкалья. Рифтовые структуры вообще весьма перспективны. На сегодняшний день первенствует (среди геотермальных) работающая с 2014 года станция Олкария IV в Кенийской ветви Восточно-Африканской рифтовой зоны (мощность 1517 МВт – 25% всех мощностей мировой теплоэнергетики). В зоне Байкало-Амурской магистрали мы видим уже используемые в лечебных целях термальные воды в Дзилинде в Верхнеангарской впадине у северного окончания Байкала, близ Северобайкальска (курорт Солнечный) на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта. Действуют полу-стихийные курорты в Баргузинской котловине - у западного подножия Икатского хребта, а также в Тункинской котловине между Байкалом и озером Хубсугул (рис. 9, 10).



**Рис. 9.** Курорт Дзелинда на выходах термальных вод на правом берегу Верхней Ангары в северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны. Фото А. Лукашова

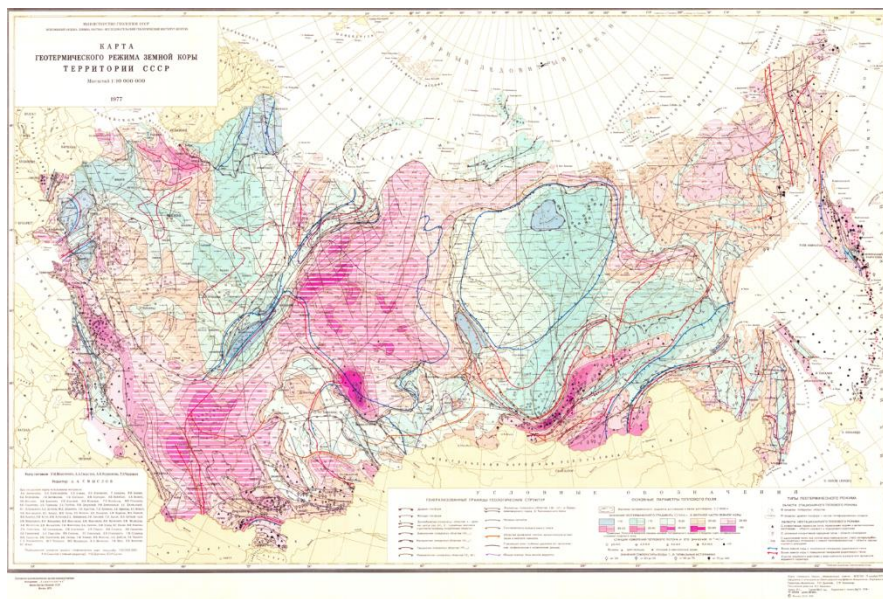


**Рис. 10.** Курорт Жемчужина на правом берегу р. Иркут в Тункинской котловине юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны. Фото А. Лукашова

Здесь мы наблюдаем не только раскалённые породы, но и сравнительно недавно потухшие вулканы, например, на Удокане в Забайкалье, и также в Тункинской котловине, где шлаковые конусы имеют голоценовый возраст, что указывает на высокую температуру недр. Здесь же, в Северном Забайкалье, обращает на себя внимание Верхне-Чарская впадина с подвижными песками и термальными источниками. К востоку от Новой Чары в районе Ункурского месторождения меди на поверхность тоже выходит горячая вода, а при проходке Северо-Муйского тоннеля при строительстве БАМа из его стенок «хлестал» кипяток, причём на глубинах менее 1 км (отметим, то же самое мы наблюдали в Армении

в гидротоннеле Арпа - Севан под Вардениским хребтом). Горячие источники фиксируются и на дне Байкала.

Во внерифтовых областях Забайкалья выделяется Даурский свод с высоким тепловым фоном и выходами термальных вод (рис. 11). Интересен в отношении геотермии район, прилегающий с востока Забайкалью – Приамурье, включая Амурскую область и Хабаровский край, где также налицо очень высокие аномалии, хотя это уже не рифтовая структура. В качестве иллюстраций можно назвать Анненские воды на правом берегу Амура в его самом нижнем течении или Даурский свод с высоким тепловым фоном и выходами термальных вод, в частности, курорт Былыра.



#### ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ

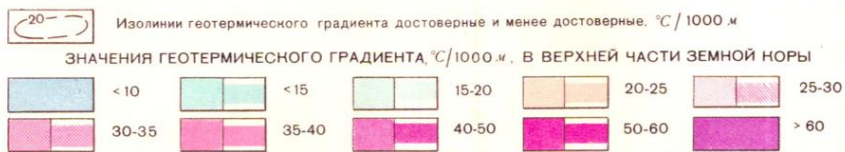


Рис. 11. Карта геотермического режима территории СССР (©Мингео СССР, 1978)

Так что, регион, прилегающий к Байкалу и Амуру, потенциально очень интересен для использования геотермальной энергии, тем более, что здесь есть крупные потребители – города, мощная транспортная и промышленная инфраструктура.



Относительно Северо-Запада Европейской России нельзя не обратить внимания на окрестности Санкт-Петербурга, где проходит термальная зона широтной ориентировки (рис. 12). Температура в недрах на глубине 5 км к юго-востоку от города приближается к 150°C. Наиболее интересна зона к востоку от Финского залива. Естественно, надо проводить дополнительные исследования, но перспектива налицо, тем более, что здесь располагается и огромный потенциальный потребитель энергии.

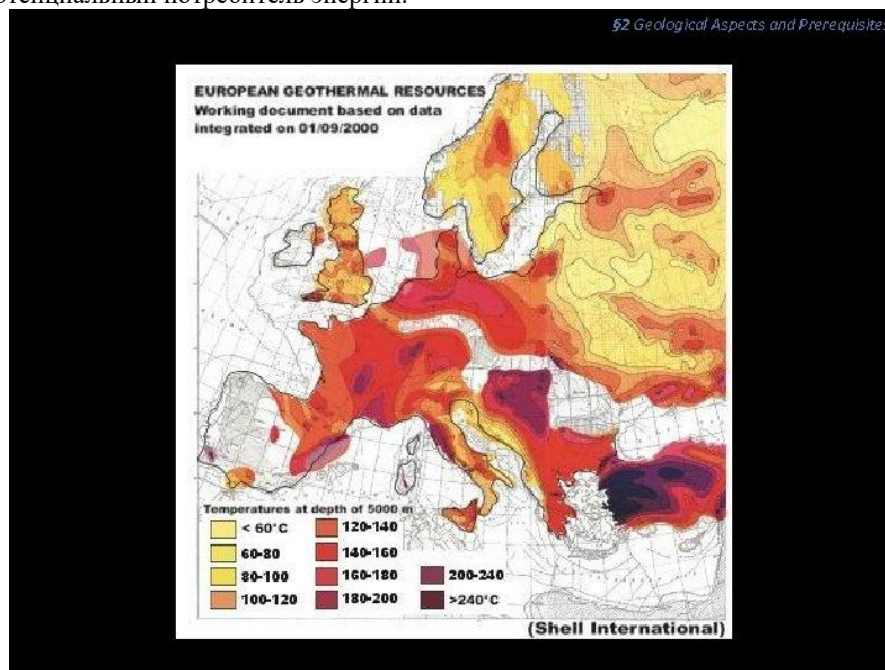


Рис. 12. Карта «Геотермальные ресурсы Европы». Изд. “Shell International”

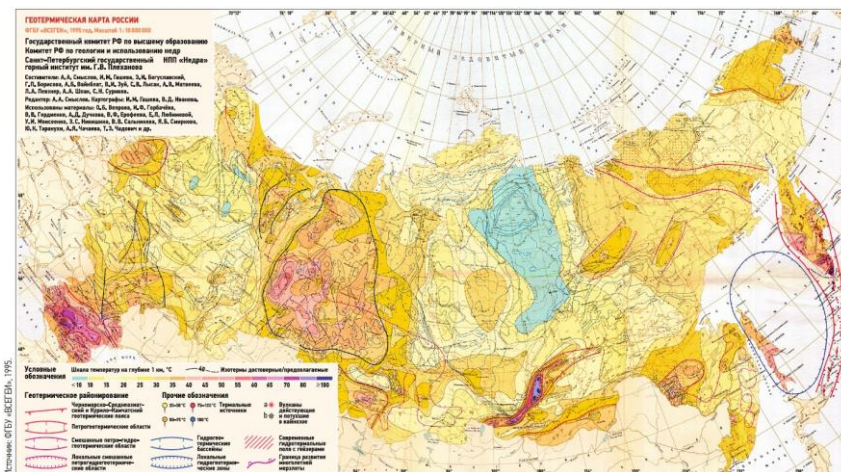
*Там есть Марциальные воды, но они уже в Карелии, а непосредственно в Петербурге и области термальные воды есть?*

Нет, но есть большой тепловой поток с геотермическим градиентом до 50-60°C/1000 м. И, что ещё интересно, отмечаются уже упоминавшиеся литолого-геоморфологические признаки активности недр. Например, Ижорское плато к юго-западу от Санкт-Петербурга обладающее мощными травертиновыми отложениями близ Гатчины, Гостилиц и в бассейне реки Шингарки, запитывающей своими водами Петергофские фонтаны [4] (рис. 13).



**Рис. 13.** Травертинонакопление в верховьях р. Шингарки (бассейн р. Стрельны, Ижорское плато, Ленинградская обл.), свидетельствующее об активности недр.

Нельзя не упомянуть и ещё одну территорию с определённым геотермическим потенциалом. Таково континентальное продолжение хребта Гаккеля (в Северном Ледовитом океане) на юго-восток вдоль правого борта долины Индигирки, Момского грабена и далее по реке Туманы с выходом в залив Шелихова. Там фиксируется высокий геотермический градиент – до  $40-50^\circ$  на 1000 метров глубины (рис. 14).

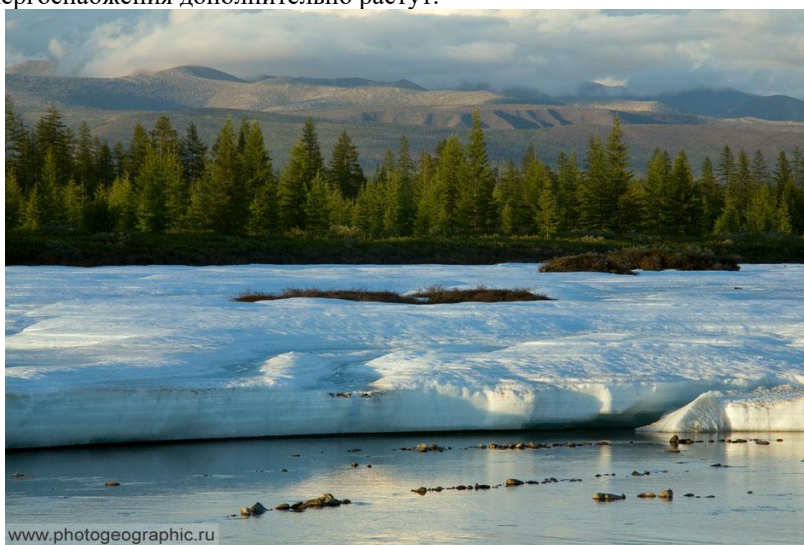


**Рис. 1.** Карта геотермических ресурсов Российской Федерации

**Рис. 14.** Карта геотермических ресурсов Российской Федерации. Чётко прорисована перспективная геотермальная зона от шельфа Моря Лаптевых до залива Шелихова. ©ВСЕГЕИ, 1995

Там же, в этой зоне – мощные талики - в 500-метровой толще вечной мерзлоты и, как следствие, отмечается повышенный тепловой поток. На это, вероятно, указывают самые большие в Мире, Момские наледы (рис. 15). И, что также очень

важно - на выходе к Охотскому морю срабатывает то, о чём вы пишете в своей статье [5] – комбинация разных возобновляемых источников энергии, поскольку в Пенжинской губе данного залива – самые высокие в России приливы – до 13 м. Так что, западное побережье залива Шелихова - очень интересный район для освоения и использования возобновляемых источников энергии. Тем более, что в отличие от побережья Северного Ледовитого океана, там есть довольно крупный потребитель энергии – Магадан и Магаданская область; эта энергия может передаваться и на север Камчатки, и на Чукотку. Сравнительно неподалёку - Билибинская АЭС, так, что возможности комбинированного энергоснабжения дополнительно растут.



**Рис. 15.** Гигантская наледь Улахан тарын на притоке Индигирки реке Маме в период таяния. [www. Photogeographic.ru](http://www.Photogeographic.ru)

Далее представляет интерес южная часть Западной Сибири, отличающаяся не только запасами нефти, но и потоком геотермальной энергии, когда геотермический градиент достигает  $50-60^{\circ}\text{C}/1000$  м и более (рис. 14). Там тоже есть термальные источники, используемые в курортных целях. Не только в южной части региона, но и на севере, на Ямале, постоянные прорывы водорода из глубины тоже могут быть связаны с поступлением геотермальной энергии.

*Запасы углеводородов и поток геотермальной энергии могут быть как-то связаны?*

Скорее всего, да. Должен сказать, что я не сторонник концепции исключительно биогенного (из планктона) происхождения нефти, в частности, потому, что запасы углеводородов обнаружены и на других планетах Солнечной системы – на спутниках планет-гигантов (Юпитера и Сатурна), например.

Эндогенное происхождение нефти весьма вероятно, например, в вулканических районах. Так на острове Сицилия при отсутствии комплексов дельтовых осадков, обычно сосредоточивавшие коллекторы нефти, нельзя не обратить внимания на «соседство» гигантского активного вулкана Этна и известного месторождения нефти Джела к юго-западу от него.

Можно отметить и район с высокими геотермическими аномалиями, привязанный к Полярному Уралу – Воркута, Печорское море и проливы Карские ворота и Югорский шар. К ним приурочены, как хорошо известно, угольные месторождения. Согласно господствующим представлениям, уголь образуется из древесины и торфа, что невозможно без участия метана, а с повышенным потоком геотермальной энергии выходы метана и водорода обычно связаны. В районе Воркуты уже в 70-х годах прошлого столетия появились первые ветроэлектростанции. И здесь есть смысл подумать о комплексном использовании источников энергии.

В заключение отметим, что, во-первых, не всегда высокие значения теплового потока и малая геотермическая ступень с быстрым нарастанием разогрева недр как-то связаны с рельефом. В случае с Камчаткой, Байкальским рифтом, Кавказом или Крымом – это, очевидно, так. А в районе Петербурга уже далеко не так однозначно – конечно, есть какая-то связь со структурой – Финский залив, глинт и Нева, наверно, сопрягаются с какой-то тектонической структурой, но связь с рельефом весьма средняя. Примерно то же можно сказать о повышенном тепловом потоке в районах реки Туманы и залива Шелехова, а также Полярного Урала. Что касается Западной Сибири, то здесь просто никакой связи повышенного теплового потока с рельефом не ощущается.

Во-вторых, есть определённая связь между повышенным тепловым потоком, месторождениями углеводородов и дегазацией глубинного водорода, хотя и она не всегда прослеживается.

И, наконец, что касается практических аспектов. Хорошо известная Мутновская геотермальная станция на Камчатке (рис. 2, 3) использует тепло с очень небольших глубин (300 м), но, если бурить скважины до 3-4 км, то можно получать мощный поток геотермальной энергии и в менее тектонически активных районах. При использовании геотермальной энергии следует делать ставку на бурение 3-4-километровых скважин (при бурении на большие глубины усиливаются технологические проблемы) – на этих глубинах мы получаем вполне приемлемые температуры в 160-200°C.

*Имеется в виду тепло горных пород или термальные воды?*

И то, и другое. Но, если породы сухие, в них можно закачивать жидкость, как на некоторых геотермальных электростанциях. Собственно, сухие горячие породы – это 99% ресурсов подземной тепловой энергии. Но технологически легче пока иметь дело с термальными водами.

## Литература

1. Дегтярев К.С. Тепло Земли// Наука и жизнь. 2013. №9-10.
2. Гоголев Г.А. Оценка потенциала территории Российской Федерации для использования возобновляемых источников энергии. Известия РАН, сер. геогр., №1, 2009. С. 83-94.
3. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Атлас. Под ред. Е.Ф. Шнюкова. Изд. «Наукова думка». Киев, 1986. 152 с.
4. Никитин М.Ю. О генетической приуроченности месторождений голоценовых пресноводных карбонатов к особенностям структурного плана Ижорского плато // Известия Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена. Серия Общественные и гуманитарные науки. – СПб, 2011. – С. 100 – 110.
5. Дегтярев К.С. Географические основы возобновляемой энергетики // Окружающая среда и энергосодержание. – 2021. - №3. с.25-42.

## References

1. Degtyarev K.S. Teplo Zemli// Nauka i zhizn'. 2013. №9-10.
2. Gogolev G.A. Ocenka potenciala territorii Rossijskoj Federacii dlya ispol'zova-niya vozobnovlyaemyh istochnikov energii. Izvestiya RAN, ser. geogr., №1, 2009. S. 83-94.
3. Gryazevye vulkany Kerchensko-Tamanskoj oblasti. Atlas. Pod red. E.F. SHnyukova. Izd. «Naukova dumka». Kiev, 1986. 152 s.
4. Nikitin M.YU. O geneticheskoy priurochennosti mestorozhdenij golocenovyh presno-vodnyh karbonatov k osobennostyam strukturnogo plana Izhorskogo plato // Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A.I. Gercena. Seriya Obshchestvennye i humanitarnye nauki. – SPb, 2011. – S. 100 – 110.
5. Degtyarev K.S. Geographical Fundamentals of Renewable Energy // Journal of Environmental Earth and Energy Study – 2021. - №3. p.25-42.

**Promising Geothermal Zones in the Territory of Russia**Lukashov Andrey<sup>1</sup>,<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Russia Moscow<sup>1</sup>E-mail: smoluk@yandex.ru

**Abstract.** The article is an interview of Kirill Degtyarev, the deputy chief editor of the journal, with Andrey A. Lukashov, a chair professor of Department of Geomorphology and Paleogeography in Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University, professor emeritus of Lomonosov MSU, Dr. habil. of geographical sciences. The point is potentially interesting regions of Russia referring to exploitation of geothermal resources. Besides the well known Caucasus and Kamchatka, A.A. Lukashov focuses on the several zones with higher geothermal heat flow, including North-East of Siberia, Baykal Rift, South of Western Siberia, Polar Urals, and Leningrad region, noting also, that combined use of the geothermal and other local energy sources on these areas is possible in a number of situations. He also touches the issue of interconnection between geothermal flows and hydrocarbon fields.

**Keywords:** geothermal energy, energy sources, tectonics, Mom graben, Magadan region, Baykal Rift, Western Siberia, Polar Urals, Leningrad region.

УДК 316.42

**ОБЗОР ДОКЛАДА «ПРЕОДОЛЕВАЯ ПРЕДЕЛЫ»**Показеев Константин Васильевич<sup>[0000-0001-8062-2771]</sup>

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

E-mail: sea@phys.msu.ru

**Аннотация.** В статье обсуждаются отдельные аспекты доклада «Преодолевая пределы», в котором представлен российский взгляд на пути решения глобальных проблем с позиций современной ситуации первой четверти XXI века. Доклад был представлен в МГУ имени М.В. Ломоносова в конце марта 2022 года. Рассматриваются особенности подходов авторов доклада к рассмотрению глобальных проблем человечества и предложений по их решению. Отмечены некоторые, недостаточно отраженные в докладе вопросы. Обсуждается возможность реализации предложенных авторами планов по решению глобальных проблем человечества.

**Ключевые слова:** Римский клуб, пределы роста, концепция полного мира, глобальное потепление, низкоуглеродная энергетика

**1 Введение**

В МГУ имени М.В. Ломоносова представлен доклад Римскому клубу «Преодолевая пределы» [1], подготовленный группой ученых под руководством академиков, ректора МГУ В.А. Садовниченко и А.А. Акаева. Доклад приурочен к 50-летию опубликования работы «Пределы роста» [2] и обобщает многолетний научный труд коллектива по исследованию динамики мировой системы. В ходе исследований построены модели актуальных глобальных процессов человечества, на основе которых были сделаны прогнозы по ряду направлений развития современного общества, уже подтвердившиеся на практике. Представленная работа, развивая подходы отечественных ученых В.И. Вернадского, П.И. Преображенского, Н.Д. Кондратьева, П.А. Сорокина, И.Р. Пригожина, Н.Н. Моисеева, продолжает и развивает традиционный «русский» подход. Работа авторов доклада «Преодолевая пределы» отличается новизной математического подхода к моделированию глобальных проблем, широтой охватываемых проблем, связывает в единый комплекс климатические,

энергетические, экономические, экологические, демографические, социальные и другие процессы.

Окончательно работа над докладом «Преодолевая пределы» будет завершена к концу 2022 года. Как следует из представления доклада, авторы работы готовы к широкому обсуждению проделанной работы. Изложению некоторых вопросов и замечаний, возникших при ознакомлении с докладом и препринтом [3] авторов работы «Преодолевая пределы» посвящена статья. Отмечается недостаточная проработанность блока социальных отношений, политического и природного блоков модели авторов доклада «Преодолевая пределы». Обращается внимание на недостаточность критики предложений Римского клуба по решению глобальных проблем, полученных исходя из концепции «полного мира», и изложенных в докладе Римского клуба «Сомеон» 2018 года [2]. Анализируются пути реализации предложенных авторами решений глобальных проблем человечества, отмечается их новизна, актуальность, а с другой стороны, недостаточная проработанность некоторых из них. Возможно, статья послужит совершенствованию представления окончательных итогов работы авторов доклада «Преодолевая пределы».

## **2 Содержание и базовые положения доклада «Преодолевая пределы»**

Цель доклада «Преодолевая пределы» предполагает обозначить пути решения основных глобальных проблем, стоящих перед человечеством в настоящее время и грозящих катастрофой всему человечеству. При этом уже в названии «Преодолевая пределы» подчеркивается нереальность решения этих проблем на основе предложений по решению глобальных проблем человечества, разработанных ранее зарубежными исследователями, прежде всего Римским клубом. В названии доклада подчеркивается отличие результатов и выводов представленной работы от выводов предшественников -первого доклада клуба «Пределы роста». Эти выводы, прежде всего, оптимистичны: пределы можно преодолеть, катастрофы можно избежать, но для этого однако требуется совместная слаженная работа всего человечества. Само название работы указывает и на возможность выхода из катастрофической ситуации, грозящей человечеству.

Следует отметить, что работа, выполненная в МГУ, значительно отличается от работ и выводов Римского клуба по целому ряду параметров: по широте рассмотренных проблем; по комплексности подхода; по методике исследований, которая значительно более сложна, более обоснованна математически, а анализ глобальных изменений основан на выявлении закономерностей мировой динамики на протяжении исторического периода в несколько тысяч лет; по объему тестирования модельных расчетов; по временным интервалам, на которых рассматривается и прогнозируется состояние планеты Земля и человечества. То есть моделирование динамики человечества выполнено более



обстоятельно и на более высоком уровне. Как следствие всего этого работа авторов «Преодолеваем пределы» отличается от работ предшественников, в том числе Римского клуба, по прогнозам и предлагаемым подходам к решению глобальных проблем.

Катастрофичность положения, возникшего в современном мире, следует из невозможности западной капиталистической системы стабилизировать глобальную экономическую, экологическую ситуацию, поскольку необходимые меры стабилизации возможны только с использованием значительных социальных изменений. Следует отметить, что на невозможность решения глобальных проблем, угрожающих существованию человечества, на основе капиталистической системы указывалось неоднократно, например, в докладе Римскому клубу «Comeon» [2].

О необходимости смены парадигмы развития человечества, ставшего на западноевропейский и американский путь развития, на путь роста потребления материальных благ в ущерб развитию духовному, также указывалось неоднократно. Можно напомнить широко известное выражение Льюиса Мамфорда (Lewis Mamford): *«Век роста уступает место веку равновесия. Достижение этого равновесия - дело нескольких последующих столетий. Лейтмотивом нового периода будет не оружие и человек, не машина и человек, его лейтмотивом будет возрождение жизни, замещение механического органическим и восстановление личности как конечной цели всех человеческих усилий. Развитие, гуманизация, сотрудничество, симбиоз – вот ключевые слова новой нарождающейся мировой культуры»* [4].

Можно упомянуть в этой связи и выступление [5] президента РФ В.В.Путина на заседании клуба «Валдай» в 2020 году, в котором содержится вывод об ограниченности возможностей капиталистической системы и необходимости солидарного решения глобальных проблем человечества.

Если исчерпаемость возможностей капиталистической системы неоднократно доказывалась, то о возможностях традиционного социализма и исчерпаемости его перспектив, кажется, говорить преждевременно, если не ставить знак равенства между этими системами. Более короткий период существования, ограниченность территорий, возникновение и развитие в экстремальных условиях - все это отличает период существования социалистических систем от предшествующих социальных структур. Однако авторами доклада практически ставится знак равенства между возможностями капиталистической системы и системой традиционного социализма. Этот вывод представляется недостаточно обоснованным.

Результаты авторов доклада «Преодолеваем пределы» можно трактовать как конкретизацию, развитие идеи перехода человечества к ноосферному этапу эволюции человечества, основанному на последних исследованиях в целом ряде областей науки, прежде всего кибернетики, биологии, геофизики. Именно такая модель эволюции человечества позволяет дать конкретные решения глобальных проблем человечества, что авторы и делают. Выводы доклада, и предложения, на них основанные по сравнению с выводами работ Римского клуба, отличаются

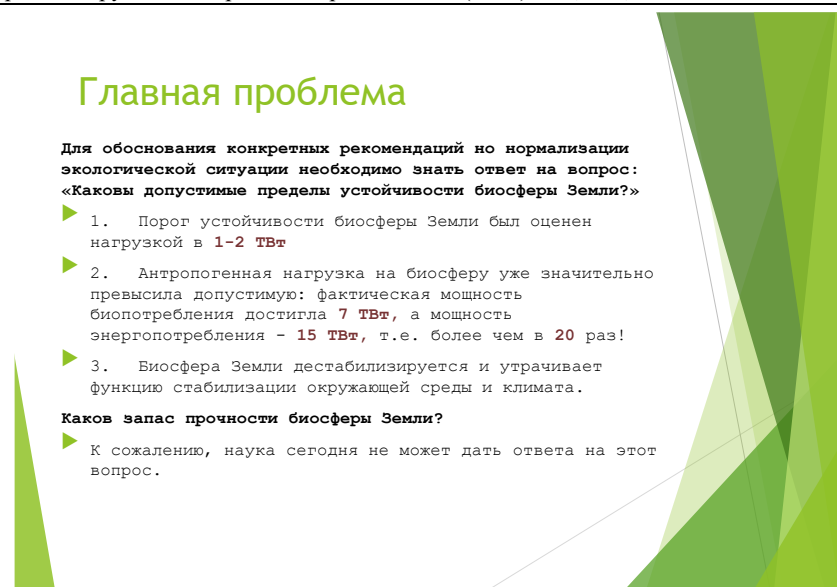
оптимизмом, подспудно в предлагаемых решениях глобальных проблем планеты ощущается вера в торжество человеческого разума.

Авторы доклада пришли к выводу, что человечество в настоящее время оказалось на переломе своей истории. Но в отличие от западных идей авторов Римского клуба в докладе отмечено, что возникшие глобальные проблемы – это не пределы роста, а вызовы, которые можно и нужно постараться преодолеть.

Авторами доклада и ранее, например, в докладе [6] на международном форуме «Университеты, общество и будущее человечества», относились глобальные проблемы, стоящие перед человечеством, к глобальным вызовам. В этой связи следует отметить, что в МГУ успешно проводятся работы по моделированию динамики мирового развития и о прогнозах, которые указывают на возможность преодоления негативных тенденций в мировой экономике.

Какая разница между вызовом и пределом? На вызов можно и нужно ответить, а вот преодолев предел можно прийти к гибели системы (биосферы, человечества) из-за потери ее устойчивости и последующего разрушения. Поэтому и ищутся пути эволюции системы, которые не приведут к достижениям того или иного разрушительного предела, а приведут к развитию системы, позволяющему избежать достижения предела. Поэтому уже упомянутый Льюис Мамфорд говорил о необходимости новой мировой культуры, в основе которой лежит гуманизация, сотрудничество, симбиоз. По мнению авторов доклада «Преодолевая пределы» перед человечеством стоят вызовы, ответы на которые необходимо превратить в переход к ноосфере, к новому гуманистическому обществу.

С мнением авторов о пределах и вызовах можно согласиться только частично: с одной стороны реально существуют принципиально непреодолимые пределы, например, величина потребляемой человечеством энергии или величины потоков химических элементов в биосфере. И человечество упорно движется к этим принципиально непреодолимым пределам (рис.1).



**Рис. 1.** Пределы и вызовы: постановка главной проблемы «О пределах устойчивости биосферы Земли». Источник: материалы презентации к докладу «Преодолеваем пределы», [1].

Но, главный вопрос состоит в том, нужно ли человечеству для дальнейшего развития достигать и преодолевать эти пределы, можно ли выбрать другой альтернативный путь развития. С другой стороны, существуют пределы, которые вполне преодолимы, но только в условиях совместных действий всего человечества.

В работе «Преодолеваем пределы» критикуются, прежде всего, модели Римского клуба ресурсного типа, отмечается их ограниченность. В отличие от авторов Римского клуба, которые сосредоточились в основном на физических и биологических пределах планеты (исчерпаемых природных ресурсах, граничащих со способностью земли поглощать промышленные и сельхоз загрязнения) в российском исследовании делается попытка рассматривать современные процессы в более широком макроэкономическом контексте с учетом особенностей долговременного технологического развития (таблица 1).

**Таблица 1.** Различие подходов: «Пределы роста» и «Преодолеваем пределы». Источник: материалы презентации к докладу «Преодолеваем пределы», [1].

«Пределы роста» и другие доклады Римскому клубу (1972)	Доклад «Преодолеваем пределы» (2022)
Авторы исследований сосредоточились в основном на физических и биологических пределах планеты: 1) исчерпаемых природных ресурсах:	Современные процессы рассматриваются в широком макроисторическом контексте с учетом особенностей долговременного технологического развития.

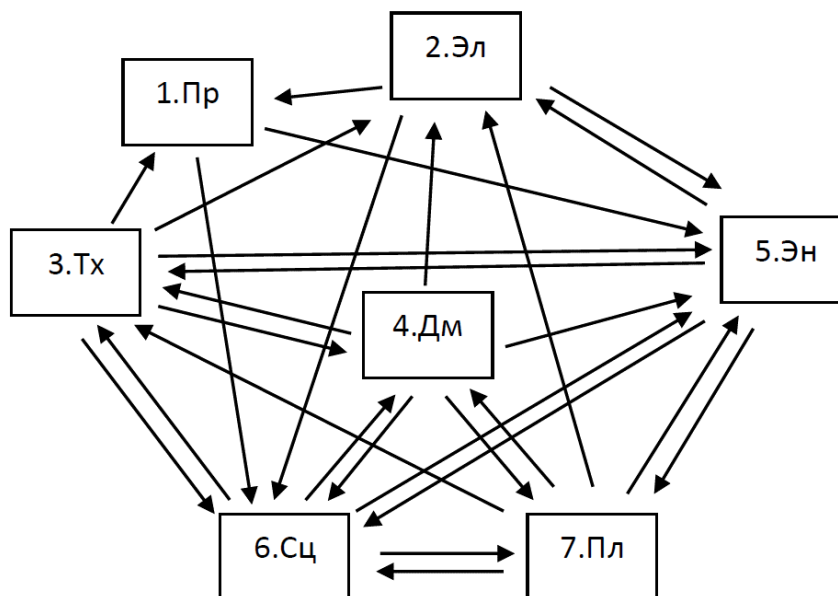
<p>2) ограниченной способности Земли поглощать промышленные и с/х загрязнения.</p> <p>При этом в прогнозных расчетах социальная организация общества считалась неизменной, слабо учитывались возможности технологических инноваций.</p> <p><b>Вывод исследований:</b> <i>необходим переход к нулевым темпам экономического роста и к принудительной стабилизации численности населения.</i></p>	<p>Показано, что в условиях происходящего в настоящее время второго демографического перехода (глобального снижения рождаемости) и с учетом развития современных технологий значительное количество проблем может быть решено.</p> <p>Наиболее сложной задачей, стоящей перед человечеством, является стабилизация климата Земли. Предложены пути решения этой задачи.</p> <p><b>Вывод исследований:</b> <i>основная проблема лежит в социально-политической сфере, а важнейшей предпосылкой решения общих гуманитарных задач является переход от конкуренции между странами мира к совместным кооперативным действиям. В этом случае большинство проблем становятся не пределами роста, а вызовами, которые можно преодолеть совместными усилиями и целенаправленными технологиями.</i></p>
---	--

В расчетах по модели «Мир-3» Римского клуба отсутствует социальный блок, а неучет социальных процессов искажает динамику глобальных процессов. В модели авторов «Преодолевая пределы» социальный блок включен и играет существенную роль, однако он вызывает некоторые вопросы, которые будут рассмотрены далее. В последних докладах Римского клуба отмечается, что капитализм себя исчерпал, предлагаются пути выхода из глобальных кризисов - экономического и экологического. Правда эти предложения носят рекомендательный характер, и так как они следуют не из модельных расчетов, они не так убедительны, как выводы, основанные на ресурсных моделях. Эти предложения Римского клуба, изложенные в докладе «Сомеон» 2018 года [2] и основанные на концепции «полного мира», следует критиковать наряду с прогнозами Римского клуба, основанными на ресурсных моделях. Концепция «полного мира», на наш взгляд, тоже не убедительна. До полноты мира человечеству еще следует освоить ресурсы некоторых обширных регионов Южной Америки и Азии, всего Мирового океана, которые не только далеки до исчерпания, но еще далеко не исследованы. Поэтому и все прогнозы, построенные на концепции «полного мира», требуют корректировки или даже отрицания.

### 3 Система моделирования исторической динамики и полученные результаты

Используя исторический подход, авторы доклада «Преодолевая пределы» считают, что важнейшим фактором в человеческом обществе является технологическое развитие, определяющее все сферы деятельности общества, причем это развитие происходит на фоне определенного природного фона, который тесно взаимодействует с обществом. Все основные параметры глобальной системы, взаимодействуя между собой, изменяются в историческом плане.

Важной отличительной чертой представленного доклада является значительно больший временной интервал прогнозируемых расчетов, чем в модельных расчетах предшественников. В основе моделей для разных исторических эпох лежит единая когнитивная схема. Модели развития систем тестируются на больших временных предшествующих периодах, исчисляемых веками и тысячелетиями. В этом разительное отличие от работ Римского клуба, в работах которого прогнозирование основано на пролонгации выявленных тенденций изменений в обществе в настоящее время на относительно близкое будущее. Однако неясно, насколько справедливым является применение авторами доклада «Преодолевая пределы» одних и тех же моделей, построенных на общих принципах, к разным общественным формациям, хотя этому уделяется специальное внимание. Насколько правильны эти общие принципы?



**Рис. 2.** Когнитивная схема моделирования исторической динамики. Источник: [3].

В системе моделирования исторической динамики выделялось 7 сфер, в которых производились расчеты: климат (загрязнение атмосферы), экология (загрязнение окружающей среды), экономика, демография, технологии, социальная сфера, политика.

Схема взаимодействия различных сфер деятельности, которая положена в основу системы моделирования исторической динамики, приведена на рис.2 НУМЕРАЦИЯ РИСУНКОВ!. Схема представляет собой ориентированный граф, где вершины графа – отдельные сферы, а стрелки – влияние одной сферы на другую. На схеме приняты следующие обозначения для сфер: Пр – климат, природная среда, Эл – экология, Тх – технологии, Дм – демография, Эн – экономика (производство, экономические отношения), Сц – социосфера (социальные взаимодействия), Пл – политика (государственное управление, политические взаимодействия) [3].

Схема взаимодействий в глобальной системе природа- человекство включает семь сфер (блоков по терминологии авторов) деятельности человечества: климат, природная среда; экология; технологии; демография экономика (производство, экономические отношения); социосфера (социальные взаимодействия); политика (государственное управление, политические взаимодействия). Для каждого блока были предложены базовые уравнения, характеризующие эти взаимодействия. Но специфика развития общества такова, что практически на любом этапе его развития существуют в различных регионах планеты различные социальные формации. Как это многообразие социальных структур, существующих одновременно, учитывается при моделировании? Схема взаимодействий сфер (блоков) деятельности человечества демонстрирует существенное усложнение по сравнению с моделью, используемой в модели «Мир». С другой стороны каждая сфера деятельности (блоков) описывается довольно простыми уравнениями: авторы, ради наглядности и для упрощения анализа, выделили основные процессы. Насколько обоснован этот выбор не всегда ясно, поскольку отсутствует критерий выборки.

Например, в блоке «демография» авторы не включают миграцию и утверждают, что это можно сделать достаточно просто. Это утверждение вызывает сомнение: при учете миграционных процессов надо учитывать обязательно влияние всех остальных блоков, причем процессы в них еще далеко не исследованы и взаимодействуют нелинейно между собой. Характер взаимодействия при этом будет испытывать сильную историческую изменчивость.

Базовые уравнения блока «политика» отражают, по мнению авторов, главные черты соответствующих общественных формаций. Этот раздел не может не отражать идеологических взглядов авторов, поэтому он кажется наиболее искусственным из всех блоков когнитивной системы. Главным критерием прогнозирования является критерий устойчивости системы, при этом учитывается не только взаимодействие с окружающей средой как в моделях Римского клуба, но и внутренние процессы в системе. Насколько правильно при

этом учитываются экономические, экологические и социальные взаимодействия судить очень трудно, хотя бы только потому, что в каждый момент времени на планете одновременно существуют различные социальные системы (метод эволюции отдельных систем описан достаточно подробно), взаимодействующие между собой, что значительно усложняет прогнозы. Неучтенным в блоке «политика» остается и влияние религии, что кажется неправильным.

Блок «социосфера» является, наверное, самым трудно описываемым уравнением блоком. Главными факторами, определяющими состояние системы, авторы считают условия, обеспечивающие устойчивость функционирования социальной сферы. Почему-то в этом блоке не рассматривается религия, играющая огромную роль и в современном обществе. Хотя в дальнейшем отмечается важная роль религии или идеологических установок, особенно в периоды реформирования экономических устоев общества.

В блоке «Экология» учитывается антропогенное изменение  $CO_2$ , но не учитываются изменения, обусловленные климатической изменчивостью, которые могут оказать определяющее влияние на судьбу человечества, прежде всего в периоды перехода от одного устойчивого состояния климатической системы к другому.

Важное место в докладе уделяется проблеме изменчивости климата. Блок «природа» включает уравнения, описывающие климатические изменения и ресурсную обеспеченность. Этапы климатического прогноза описаны достаточно подробно и включают учет энергопотребления и его структуру, в том числе при переходе на низкоуглеродную энергетику, динамику народонаселения. В природе существуют долгопериодные временные факторы, определяющие изменение климата и температуры, которые не учитываются в модели «природа». Климатическая изменчивость описывается только антропогенным изменением температуры, что вызывает вопросы. А как учитывается природная изменчивость? В истории хорошо известна роль природных факторов в развитии человечества. Естественная климатическая изменчивость содержит длительные составляющие, включающие сотни тысяч лет [7, 8]. Как они учитываются в блоке? Использование ресурсов характеризуется сильной географической изменчивостью, на использование ресурсов влияют практически все остальные блоки схемы. Это, к сожалению, не отражено в модели. Подобные вопросы и замечания можно высказать практически по всем блокам модели.

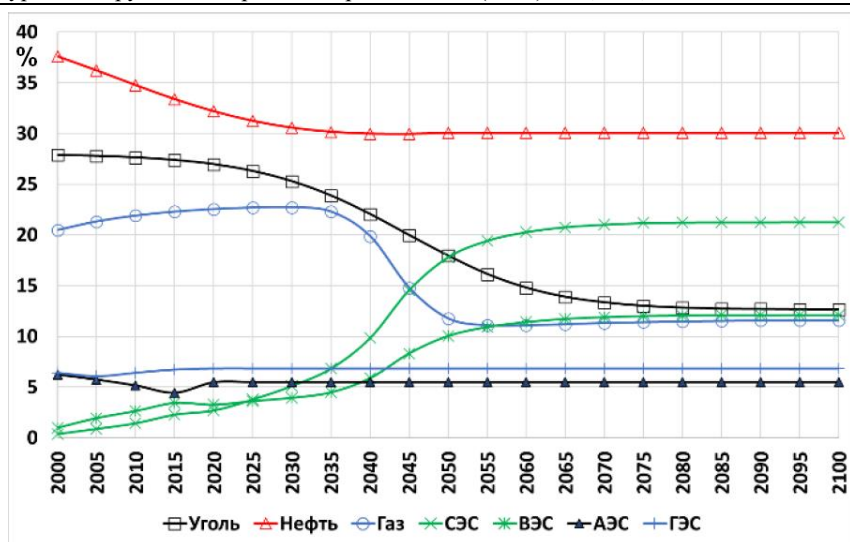
Природный блок связан с энергетическими проблемами, в частности, с переходом на низкоуглеродную энергетику. Такое построение природного блока кажется слишком упрощенным, в том числе и в историческом плане. В современном мире, наряду с проблемами энергетики, остро стоит проблема пресной воды [9, 10], которая будет в ближайшее время только усугубляться, поэтому проблема пресной воды должна быть одной из важнейших в природном блоке. Доступность воды определяет уровень и продолжительность жизни, численность населения, оказывает влияние на сельское хозяйство и энергетику, миграцию и т.п. Предел потребления пресной воды как раз относится к тем

пределам, которые можно и нужно преодолеть путем коллективного действия ряда стран или всего мирового сообщества. К сожалению, проблема пресной воды в докладе не упомянута.

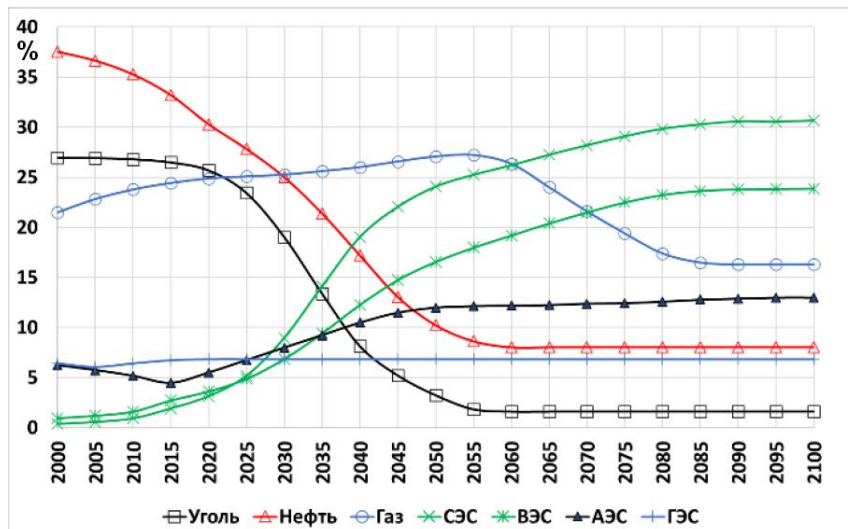
Реализация предложений авторов по решению климатических и энергетических проблем рассчитана на длительный период и фактически предусматривает слаженное, солидарное взаимодействие всех государств планеты. Авторы считают, что выходом из критической ситуации может быть переход к совместным действиям всех стран мира, а лидерами перехода человечества к более справедливому обществу могут стать Китай и Россия. В настоящее время сложно предположить беспроблемную возможность реализации такого процесса. По прогнозам авторов население РФ вместе со странами СНГ к концу 21 века будет составлять менее 3-5 % населения планеты. Трудно представить, что страна с такой численностью населения способна дать не только теоретический, но и практический пример решения глобальных проблем. Подобная роль была под силу России только в начале прошлого века.

На основе обработки статистических данных за период 1960-2021 годов и наблюдаемых в последние годы трендов в сфере энергопотребления, а также, принимая во внимание внедряемые энергоэффективные технологии, авторами были отобраны и рассчитаны три сценария роста средней глобальной температуры приземной атмосферы в XXI веке: консервативный сценарий, амбициозный сценарий и сценарий «нулевых выбросов». Консервативный сценарий предполагает, что государственная политика, технологии и социальные предпочтения продолжают развиваться так же, как и в недавнем прошлом. Амбициозный сценарий предусматривает введение мер, приводящих к существенному снижению выбросов углерода в результате использования энергии, что в свою очередь дает возможность ограничить рост глобальной температуры в XXI веке. Сценарий «нулевых выбросов» предполагает, что меры, предложенные в амбициозном сценарии, дополняются и подкрепляются существенными изменениями в поведении и предпочтениях общества. Динамика изменения структуры мирового топливно-энергетического баланса на XXI век при реализации консервативного сценария, амбициозного сценария и сценария «нулевых выбросов» представлена на рис. 3, а-в.





(a)



(б)

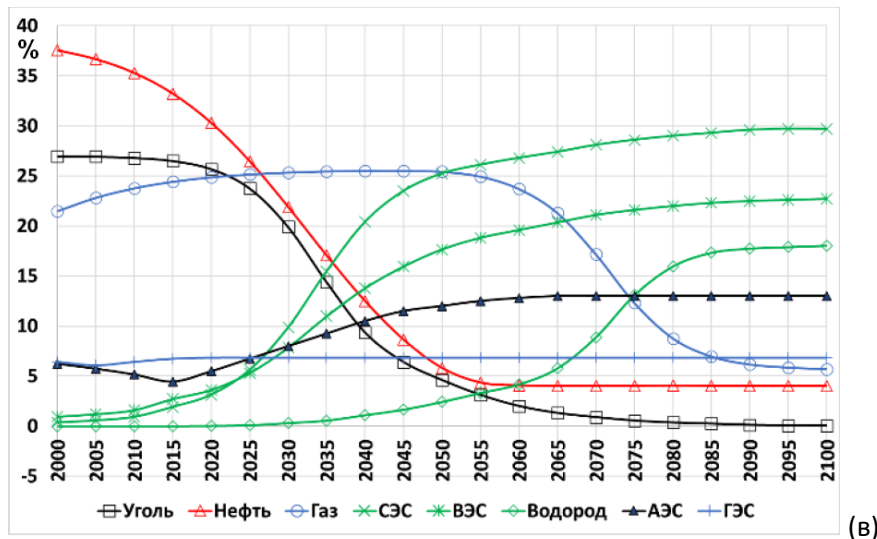


Рис. 3. Динамика изменения структуры мирового топливно- энергетического баланса в XXI в: (а) - консервативный сценарий, (б) - амбициозный сценарий и (в) - сценарий «нулевых выбросов». Источник: [3].

Рассмотренные сценарии динамики изменения структуры мирового топливно-энергетического баланса в XXI в свидетельствуют о том, что особую роль в переходный период к низкоуглеродной энергетике будет играть газовая энергетика, как наиболее экологичная отрасль современной энергетике и отрасль, обеспеченная огромными природными ресурсами, в том числе в мировом океане. А вот атомная энергетика, несмотря на высокую ее экологичность, имеет высокую стоимость, которая ограничит ее широчайшее распространение, поэтому ее роль в переходный период требует дополнительных исследований [11, 13].

Согласно выполненным оценкам сценарий «нулевых выбросов», при его реализации позволит выполнить требования Парижского климатического соглашения по удержанию глобального потепления на уровне 1,5-2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем. В рамках реализации сценария «нулевых выбросов» эту цель в первую очередь предполагается достичь за счет использования энергоэффективных технологий, в том числе водородных и дальнейшего развития возобновляемых источников энергии, а также одновременно использования химической технологии по улавливанию, связыванию и захоронению углекислого газа.

Таким образом утверждается, что при условии эффективного использования современных технологий и согласованных действий мирового сообщества можно избежать климатического кризиса, в случае если мир начнет действовать решительно и сообща и примет меры, необходимые для снижения выбросов углекислого газа. В частности, мировому сообществу необходимо перенаправить

инвестиционные потоки с наиболее выгодных на те, которые принесут пользу обществу в долгосрочной перспективе. Аналогичный вывод был сделан также в отношении других глобальных экологических проблем.

При прогнозировании динамики мирового развития авторы доклада исходят из достоверности наступления глобального потепления, это определяет не только путь решения проблемы глобального потепления, но и пути решения энергетических, экологических и, в конечном счете, социально-экономических задач, возникающих перед человечеством из-за глобального изменения климата [12]. Однако проблема глобального потепления подвергается рядом исследователей критике, она требует дальнейших исследований, и не сменилась бы проблема глобального потепления на проблему глобального похолодания [7, 8]. Перспективы «зеленой энергетики» также требуют дальнейших исследований, возможность «зеленой энергетики» стабильно обеспечить основные энергетические потребности человечества пока не доказана. Оптимизм прогнозов по поводу перспектив «зеленой энергетики» сменился на более взвешенные оценки, учитывающие экономические затраты на развитие возобновляемой энергетики, ее эффективность и надежность [9]. На пути развития возобновляемой энергетики и поисков нетрадиционных источников энергии еще много неопределенностей, но будем надеяться, что будет и много перспективных открытий.

Проведенный авторами анализ на основе разработанной когнитивной схемы моделирования исторической динамики показывает, что современные проблемы находятся не столько в сфере взаимодействий «общество-природа», которые возможно решать при необходимой координации усилий мирового сообщества, сколько в сфере социальных и политических взаимодействий.

#### **4 Новые социальные формирования**

Согласно представлениям авторов доклада «Преодолевая пределы» вся прежняя история человечества объясняется на основе предположения о существовании социальных формирований: X-структур и Y-структур и их периодической смене одной на другую. X-структуры формируются в условиях стабильности, Y-структуры - в условиях роста. Смена структур связана с революционными технологическими переменами. Роль идеологии, религии особенно возрастает в переходные периоды развития общества [14]. Авторами наглядно продемонстрирована успешность такого подхода при описании прошедшей истории человечества. Интересно отметить исследования авторами роли изобретательской деятельности, как важнейшего фактора социальной деятельности, влияющей на развитие технологий и, как следствие, на важнейшие показатели развития общества. Сейчас повсеместно сокращается относительное число жителей планеты, занятых креативным трудом, то есть деятельностью связанной с изобретательностью.

В настоящее время происходит цифровая революция, которая приводит к формированию принципиально нового типа общества, авторы называют его

кибернетическим или W-обществом, которое отличается как от X-общества, так и от Y-общества. Переход к новому типу общества по утверждению авторов нельзя спрогнозировать, переход надо спроектировать и предложить обществу для реализации. В настоящее время известны несколько проектов будущего W-общества уже сформулировано - это «капитализм стейкхолдеров» К.Шваба и подобный проект - «инклюзивный капитализм» Папы Римского, оба проекта предполагают модернизацию капитализма. В отличие от известных проектов доклад «Преодолеваем пределы» предлагает реализовать альтернативный проект будущего W-общества, основанным на примате принципов сотрудничества над принципами конкуренции. W-общество характеризуется глобализацией, замкнутостью, старением населения планеты и стабилизацией его численности, проникновением информационных технологий и искусственного интеллекта во все сферы жизни; активным воздействием на человека методами биотехнологии, генной инженерии и т.п. Неизбежность перехода к подобному типу общества обсуждалась неоднократно, при этом важен вариант перехода и вариант формирующегося W-общества. Человечество находится в точке бифуркации, причем выбор направления дальнейшего развития зависит от человечества. Авторы моделируют два варианта перехода человечества к W-обществу, и утверждают существование только этих двух вариантов.

Первый вариант – это формирование «инклюзивного капитализма», которое будет реализовываться под управлением «мирового правительства». Можно назвать конкретные шаги, которые уже реализуются в мире, и направляют человечество по варианту №1. Это переход к «базовому доходу», гендерная политика, управление менталитетом масс с помощью социальных медиа и т.п. Второй вариант представляет собой план реализации идеи о ноосферном этапе развития человечества, которая была сформулирована Вернадским и далее развивалась, в основном, в трудах российских ученых. Практических шагов по реализации этого плана пока нет, только теоретические изыскания. Интересно отметить, что оба варианта имеют многие общие характеристики, обусловленные использованием информационно - цифровых технологий и других научных отраслей, но результат – созданные общества разительно отличаются.

Таким образом, делается фундаментальный вывод: вид глобальных взаимодействий в системе природа- человек будет зависеть от типа социальной структуры общества и варианта перехода человечества к W-обществу. Не обсуждается и то, как будет происходить формирование социальной структуры или как спроектировать выбор социальной структуры.

## 5 Выводы

В докладе «Преодолеваем пределы» представлены результаты моделирования мировой динамики на основе анализа и математической формализации процессов развития человеческого общества. Авторами предложен новый комплексный метод моделирования, базирующийся на позициях историзма и позволяющий выполнять прогнозирование на длительных временных интервалах,

тестирование которого показало его результативность. В результате исследований были получены важные результаты, а именно показано, что на настоящем историческом этапе развития общества необходимо переходить от прогнозирования будущего к его проектированию. Авторы предлагают такой проект будущего W-общества, продолжающий и развивающий работы отечественных исследователей и основанный на примате принципов сотрудничества над принципами конкуренции. Глобальные технологические изменения, происходящие в настоящее время, должны сопровождаться глобальными изменениями в идеологической сфере. Проект выполнен в случае единства действий всего человечества. Разработаны сценарии реализации проекта, позволяющие решить глобальные проблемы человечества. В статье сформулирован ряд замечаний, решение которых, возможно, будет способствовать совершенствованию проекта «Преодолевая пределы».

## Литература

1. Мировое развитие и «пределы роста» в XXI веке: моделирование. Презентация доклада Римскому клубу «Преодолевая пределы». 23 марта 2022 года. <https://expert.msu.ru/haos22-1?>
2. Доклады Римскому клубу. URL: <https://www.clubofrome.org/publications/>
3. Садовничий В.А., Акаев А.А., Ильин И.В., Коротаев А.В., Малков С.Ю. Моделирование и прогнозирование мировой динамики в XXI веке. Препринт. Москва. МГУ. 2022, 78 с.
4. Льюис Мамфорд. Миф машины. Москва. Изд-во Логос. 2004. 408 с.
5. Выступление Владимира Путина на заседании клуба «Валдай» 22 октября 2020г. [https://tass.ru/politika/9789887?utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](https://tass.ru/politika/9789887?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru)
6. Показеев К.В. Международный форум «Университеты, общество и будущее человечества». Ежегодник газеты «Советский физик». Москва, физический факультет, 2021, С.108-113
7. Перов С. П., Показеев К. В., Вишератин К. Н., Козлова Г. В. В XXI веке климат Земли будет холоднее, чем в XX // International Conference Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres, Abstracts, местоиздания Moscow, тезисы. — Т. 2. — М., ИПМехРАН. 2009. — С. 159–162.
8. Котляков В.М. Наступила эпоха похолодания, которая приведет к новому ледниковому периоду. <https://www.business-gazeta.ru/article/451128?>
9. New Opportunities for the Development of Renewable Sources of Hydrosphere Energy. K. V. Pokazeev, D. A. Solovyev, and L. V. Nefedova. Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes. pp 203–209
10. Бушуев В.В., Соловьев Д.А. Ресурсы гидросферы: энергетика, экология, климат. Москва: ИД «Энергия», 2019.
11. Батенин В.М., Бушуев В.В., Воропай Н.И. Инновационная электроэнергетика – 21. Москва: ИЦ «Энергия», 2017. 584 р.

12. Бушуев В.В., Соловьев Д.А. Климат и энергопереход: взаимодействие и взаимозависимость // Энергетическая политика. 2021. № 11(165). Р. 44–55.
13. Гордиенко В. А., Старкова М. В., Показеев К. В. Экология. Базовый курс для студентов небиологических специальностей. СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 640 с.
14. Гордиенко В. А., Старкова М. В., Показеев К. В. Преодоление глобального экологического кризиса и возможности формирования мировоззрения нового типа // Физические проблемы экологии. №19. МаксПресс, Москва, 2013. — С. 153–171.

## References

1. World development and "limits of growth" in the XXI century: modeling. Presentation of the report to the Rome Club "Overcoming the limits". March 23, 2022. <https://expert.msu.ru/haos22-1?>
2. Reports to the Club of Rome. URL: <https://www.clubofrome.org/publications/>
3. Sadovnichy V.A., Akaev A.A., Ilyin I.V., Korotaev A.V., Malkov S.Yu. Modeling and forecasting of world dynamics in the XXI century. Preprint. Moscow. MSU. 2022. 78 p.
4. Lewis Mumford. The myth of the machine. Moscow. Logos Publishing house. 2004. 408 p.
5. Vladimir Putin's speech at the meeting of the Valdai Club on October 22, 2020. [https://tass.ru/politika/9789887?utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](https://tass.ru/politika/9789887?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru)
6. Pokazeev K.V. International Forum "Universities, society and the future of mankind". The yearbook of the newspaper "Soviet Physicist". Moscow, Faculty of Physics, 2021, pp.108-113
7. Perov S. P., Pokazeev K. V., Visheratin K. N., Kozlova G. V. In the XXI century the Earth's climate will be colder than in the xx // International Conference Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres, Abstracts, place of publication Moscow, theses. — Vol. 2. — M., IPMeh RAS. 2009. — pp. 159-162.
8. Kotlyakov V.M. The era of cooling has come, which will lead to a new ice age. <https://www.business-gazeta.ru/article/451128?>
9. New Opportunities for the Development of Renewable Sources of Hydrosphere Energy. K. V. Pokazeev, D. A. Solovyev, and L. V. Nefedova. Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes. pp 203-209
10. Bushuev V.V., Solovyev D.A. Resources of the Hydrosphere: Energy, Ecology, Climate. Moscow: Publishing House Energia, 2019.
11. Batenin V.M., Bushuev V.V., Voropai N.I. Innovative electric power - 21. Moscow: IC Energia, 2017. 584 p.
12. Bushuev V.V., Soloviev D.A. Climate and energy transition: interaction and interdependence // Energy Policy. 2021. No. 11 (165). P. 44–55.

13. Gordienko V. A., Starkova M. V., Pokazeev K. V. Ecology. Basic course for students of non-biological specialties. St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2014. – 640 p.

14. Gordienko V. A., Starkova M. V., Pokazeev K. V. Overcoming the global ecological crisis and the possibility of forming a new type of worldview // Physical problems of ecology. №19. Maks Press, Moscow, 2013. — pp. 153-171.

## THE SUMMARY FOR A REPORT "OVERCOME OF THE LIMITS"

Pokazeev Konstantin Vasilievich

Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences  
Faculty of Physics, M.V.Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow, Russia, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
E-mail: sea@phys.msu.ru

**Abstract.** The article discusses some aspects of the report "Overcoming the limits", which presents the Russian view on ways to solve global problems from the standpoint of the current situation of the first quarter of the XXI century. The report was presented at the M.V.Lomonosov Moscow State University at the end of March 2022. The features of the approaches of the authors of the report to the consideration of global problems of humanity and proposals for their solution are considered. Some issues that are not sufficiently reflected in the report are noted. The possibility of implementing the plans proposed by the authors to solve the global problems of mankind is discussed.

**Keywords:** Club of Rome, growth limits, full world concept, global warming, low carbon energy

УДК 551.583:551.324.63:551.32

## Инсоляционная контрастность и тенденции изменения глобальной температуры

Валерий Михайлович Фёдоров <sup>[0000-0003-2305-7408]</sup>Денис Максимович Фролов <sup>[0000-0002-0307-8175]</sup>Екатерина Валерьевна Фёдорова <sup>[0000-0001-8054-2763]</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, 119991,  
Россия

E-mail: fedorov.msu@mail.ru

**Аннотация.** На основе выполненных расчетов инсоляции Земли определены изменения годового меридионального градиента инсоляции в период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. Изменения меридионального градиента инсоляции связаны с изменением угла наклона оси вращения Земли. На основе регрессионной модели показано, что тенденции изменения приповерхностной температуры воздуха и температуры поверхности океана (температурный режим глобального климата) на 69,3–84,1% определяются инсоляционной контрастностью. Инсоляционная контрастность обобщенно (по областям источника и стока радиационного тепла) отражает многолетние изменения меридионального градиента инсоляции, регулирующего интенсивность меридионального переноса радиационного тепла в системе океан – атмосфера.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, меридиональный перенос, инсоляционная контрастность, приповерхностная температура воздуха, температура поверхности океана, регрессионная модель

### 1 Введение

Солнечная радиация является основным источником энергии гидрометеорологических процессов. Вариации приходящей к Земле солнечной радиации в основном определяются двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одной из причин является изменение активности в излучении Солнца. Другая причина связана с небесно-механическими процессами, изменяющими элементы земной орбиты и наклон оси вращения. Под солярным климатом Земли понимается рассчитываемое теоретически поступление и распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы (ВГА) или на поверхности Земли без учета атмосферы. При этом изменение активности Солнца не учитывается [1, 2].



В перераспределении радиационного тепла в природной системе Земли участвуют механизмы меридионального переноса тепла, теплообмена в системе океан – материк, связанного с реверсивной сезонной сменой областей холода и тепла, теплообмена в системе океан – атмосфера, межполушарный теплообмен и др. Важным фактором в регулировании термического режима Земли является состав атмосферы, определяющий роль парникового эффекта и ее изменение [2].

В XX веке отмечена тенденция повышения глобальной приповерхностной температуры воздуха и температуры поверхности океана (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>). Широко распространено мнение о том, что основной причиной изменения глобального климата является «парниковый» эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором [3]. В то же время, не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе глобального климата Земли, однако этот вопрос в геофизике исследован еще недостаточно. Целью работы является определение влияния многолетних изменений меридионального переноса радиационного тепла на тенденции изменения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) и температуры поверхности океана (ТПО).

## 2 Методика расчетов инсоляции

Инсоляция рассчитывалась с большим пространственным и временным разрешением [4]. Расчеты выполнялись по данным высокоточных астрономических эфемерид DE-406 для всей поверхности Земли (без учета атмосферы) в интервале с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. Исходными астрономическими данными для расчетов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (координатного времени – СТ) и всемирного корректируемого времени (UT). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей равными 6378137 м (большие) и 6356752 м (малая). В общем виде алгоритм расчетов можно представить выражением:

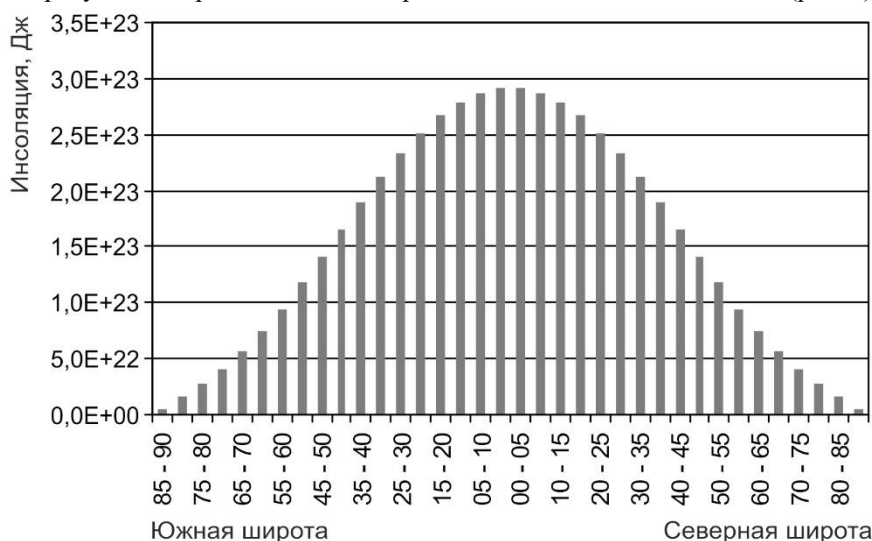
$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left( \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(\varphi) \left( \int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt \quad (1)$$

где  $I$  – приходящая солнечная радиация за элементарный  $n$ -й фрагмент  $m$ -го тропического года (Дж);  $\sigma$  – площадной множитель ( $m^2$ ), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал  $\sigma(\varphi)d\alpha d\varphi$  – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки эллипсоида;  $\alpha$  – часовой угол,  $\varphi$  – географическая широта, выраженные в радианах;  $\Lambda(\varphi, t, \alpha)$  – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида ( $Вт/м^2$ ),  $t$  – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе  $1^\circ$ , по широте  $1^\circ$ , по времени  $1/360$  часть продолжительности тропического года с учетом изменения его продолжительности [5].

Значение солнечной постоянной принималось равным 1361 Вт/м<sup>2</sup> [6]. Изменение активности Солнца не учитывалось.

### 3 Результаты и их обсуждение

Анализировались рассчитанные среднегодовые значения инсоляции Земли для 5-ти градусных широтных зон для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. (рис. 1).

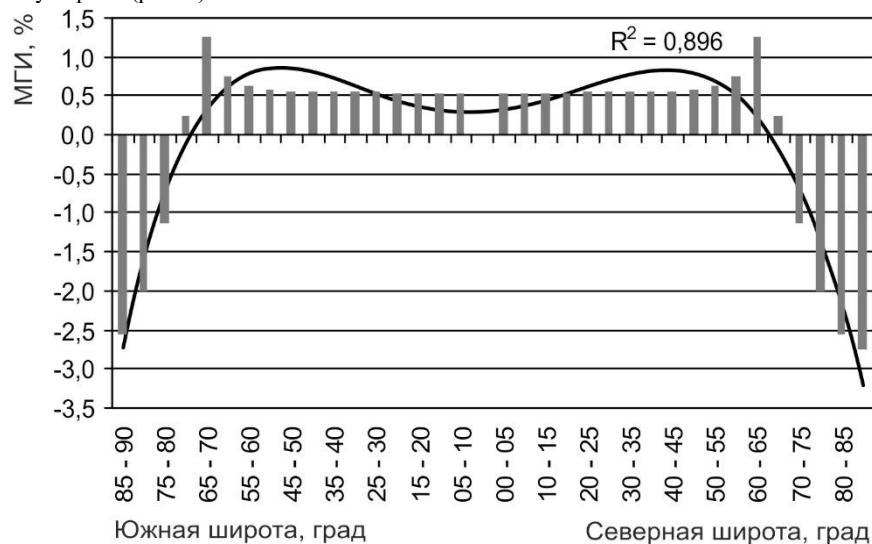


**Рис. 1.** Средняя многолетняя годовая инсоляция в широтных зонах Земли на ВГА за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г

Вследствие пространственной неравномерности облучения Земли, связанный с формой планеты, возникает меридиональный градиент инсоляции (МГИ) [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Традиционно, в физике атмосферы рассчитывается перенос энергии к северу и в северном полушарии перенос энергии имеет положительные значения, в южном полушарии отрицательные [7, 13, 14].

Однако, фактически лучистая энергия переносится из низкоширотной области, куда ее в среднем за год поступает больше (0°–45° широты), в высокоширотные районы (45°–90° широты), где годовая инсоляция меньше. МГИ представляет собой характеристику переноса лучистой энергии на ВГА. Годовой МГИ рассчитывался последовательным вычитанием среднегодовых значений инсоляции полученных для 5-ти градусных широтных зон. При этом из значений инсоляции южных зон вычитались значения соседних широтных зон, расположенных севернее. Делением полученных значений (в Дж) на среднюю продолжительность тропического года (31556921,5 с) получены значения изменения среднего за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. годового МГИ в Вт. Изменения МГИ за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. определялись вычитанием из модулей средних значений годового МГИ, полученных для последнего в массиве столетия (2900 – 2999 гг.) соответствующих (для широтных зон) модулей средних значений МГИ, рассчитанных для первого столетия (3000 г. до н.э. – 2901 г. до н.э.). Модули МГИ определялись для того,

чтобы изменение в переносе лучистой энергии на ВГА было однозначно представлено в полушариях (рис. 2).

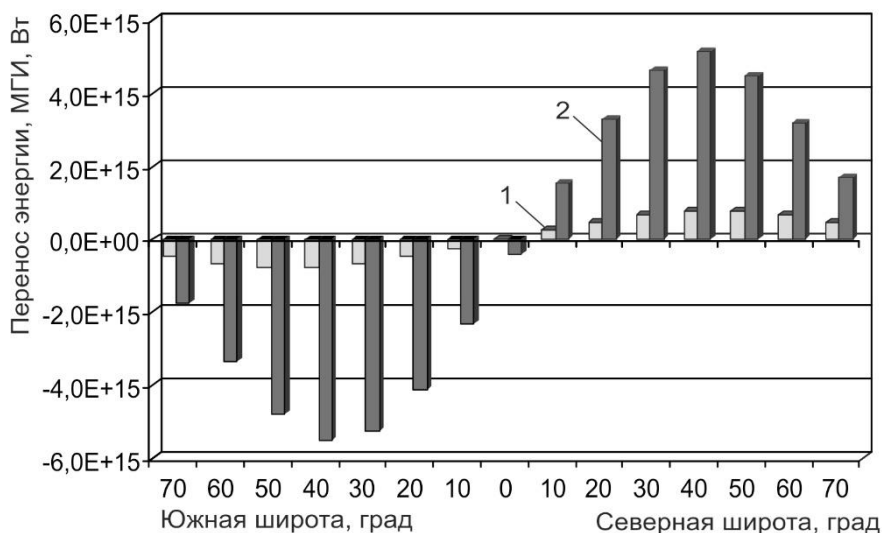


**Рис. 2.** Изменение годового МГИ за 5999 лет в процентах от среднегодового МГИ первого столетия (3000 г. до н.э. – 2901 г. до н.э.).  
Аппроксимация – полином 4-й степени.

За период от 3000 года до н.э. до 2999 года н.э. отмечается увеличение годового МГИ в области между полярными кругами. Максимумы увеличения (на  $2,61 \cdot 10^{15}$  Вт или 1,25%) локализованы вблизи 65-й параллели в каждом полушарии. В заполярных областях перенос лучистой энергии (или МГИ) от полярных кругов к полюсам сокращается. Максимумы сокращения МГИ (на  $3,3 \cdot 10^{15}$  Вт или 2,56%) отмечаются вблизи географических полюсов. Таким образом, в каждом полушарии выделяются области увеличения (от экватора до полярного круга) и области уменьшения (от полярного круга до полюса) значений годового МГИ или переноса радиационного тепла. Известно, что перенос энергии в атмосфере связан с циркуляционными (ячейки Хэдли, Ферреля, полярные) и вихревыми процессами (циклоны) [14]. В изменении годового МГИ по широтам выделяются зоны его максимального увеличения (зоны «неустойчивости»), которые совпадают с районами ( $60^{\circ}$ – $70^{\circ}$  широты) максимального развития внетропических циклонов (циклогенеза) в полушариях или субполярными зонами низкого давления [13, 14, 15]. Область увеличения годового МГИ совпадает с пространственной локализацией циркуляционных ячеек Хэдли и Ферреля в каждом полушарии. Сокращения годового МГИ отмечается в областях развития полярных ячеек. Следовательно, за период от 3000 года до н.э. до 2999 года н.э. годовая интенсивность циркуляционных процессов в ячейках Хэдли и Ферреля возрастает, а в полярных ячейках снижается и усиливается частота и интенсивность внетропических циклонов. С вихревым переносом энергии, в основном, связан меридиональный перенос тепла в атмосфере [13, 14].

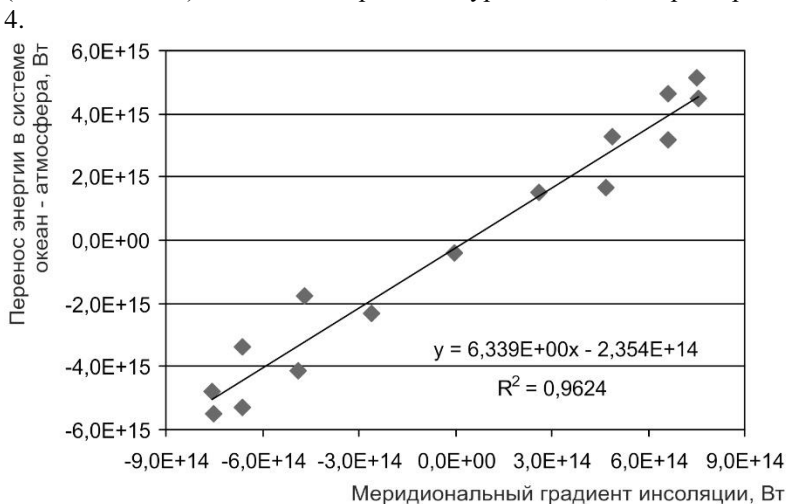
Полученное среднее для широтных зон за период от 3000 года до н.э. до 2999 года н.э. меридиональное распределение годового МГИ сравнивалось с меридиональным распределением среднего годового переноса энергии в системе

океан – атмосфера приведенным в работах Лоренца [13], Пальмена и Ньютона [14]. Численные значения переноса энергии в системе океан – атмосфера в работах [13] в среднем в 6–7 раз, превосходят значения МГИ, что связано с участием в переносе энергии (радиационного тепла) в системе океан – атмосфера водных и воздушных масс (рис. 3). В других работах значения переноса энергии приблизительно в 3–5 раз превышают значения годового МГИ [16, 17].



**Рис. 3.** Среднее многолетнее за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. значение МГИ (1) и средний годовой перенос энергии в системе океан – атмосфера (2) [14].

Коэффициент корреляции между значениями среднего годового МГИ и значениями переноса энергии в системе океан – атмосфера составил 0,98 (линейная связь). Эта связь выражается уравнением, которое приведено на рис. 4.



**Рис. 4.** График и уравнение регрессии МГИ и переноса энергии (тепла) в системе океан – атмосфера

Поскольку перенос энергии в системе океан – атмосфера определяется МГИ (обратное невозможно), то и полученные для него особенности могут проявляться и в системе океан – атмосфера (возрастание или ослабление интенсивности циркуляции в ячейках общей циркуляции атмосферы, интенсивность меридионального вихревого переноса энергии и климатическая изменчивость). Отмечаемые для современной эпохи особенности изменения МГИ связаны с усилением меридиональной контрастности в облучении Земли. Усиление меридиональной контрастности определяются уменьшением угла наклона оси вращения Земли [1, 10].

Из полученных результатов следует, что в связи с отмеченными особенностями в изменении годового МГИ будет возрастать и интенсивность вихревого переноса энергии в атмосфере. То есть будет происходить усиление меридионального переноса радиационного тепла в системе океан – атмосфера. При этом усиление годового переноса тепла, в основном, будет определяться внетропическими циклонами. Кроме того отмечается усиление циркуляционных процессов в ячейках общей циркуляции атмосферы Хэдли и Ферреля и снижение годовой интенсивности циркуляционных процессов в полярных ячейках.

Полученные изменения в переносе энергии на ВГА, вероятно, следует учитывать в системе уравнений гидротермодинамики (уравнения законов сохранения массы, импульса, энергии и состояния газа) для атмосферы, используемой при численных экспериментах в физико-математических моделях климата. Используемые в моделях общей циркуляции атмосферы (МОЦА) и океана (МОЦО) уравнения гидротермодинамики включают среднее значение годового переноса энергии (тепла) в системе океан – атмосфера и не учитывают отмеченных многолетних изменений годового МГИ [10, 18].

В результате корреляционного анализа определена связь многолетних изменений аномалии приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) и температуры поверхности океана (ТПО) с многолетними изменениями годовой инсоляционной контрастности (ИК). Для полушарий ИК рассчитывалась как разность солнечной радиации приходящей в широтную область  $0^{\circ}$ – $45^{\circ}$  (источник тепла) и  $45^{\circ}$ – $90^{\circ}$  (стока тепла) за год. Для Земли в качестве ИК принималось среднее годовое значение ИК, полученное для полушарий. ИК рассчитывалась по полученным нами значениям инсоляции Земли. Годовая ИК, таким образом, обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение годового МГИ. Многолетние изменения ИК (рис. 5) определяются изменением угла наклона оси вращения Земли в результате прецессии и нутации (коэффициент корреляции составляет -0,998).

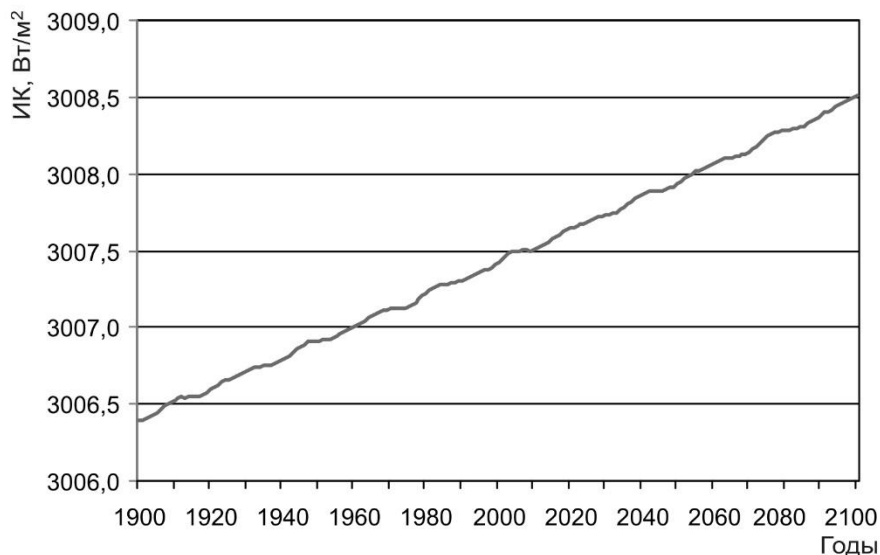


Рис. 5. Изменение годовой ИК Земли в период с 1900 по 2100 гг.

Изменения ПТВ и ТПО Земли и полушарий (данные университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли) в основном учитываются трендами. Значения коэффициента детерминации составляют от 0,693 до 0,862 (тренды – полиномы второй степени). Следовательно, чтобы объяснить тенденции многолетних изменений глобальной температуры следует определить фактор, определяющий тренды в исходных рядах ПТВ и ТПО. Анализ показывает, что многолетние изменения ПТВ и ТПО Земли (Мирового океана) и полушарий характеризуются тесными положительными корреляционными связями с многолетними изменениями годовой ИК и отрицательными с многолетними изменениями угла наклона оси. Выполненные, по уравнению регрессии (по ансамблю линейных и полиномиальных решений) расчеты показали, что многолетние изменения ПТВ и ТПО в основном связаны с многолетними изменениями годовой инсоляционной контрастности (таблица 1).

Таблица 1. Многолетние изменения ПТВ и ТПО объясняемые регрессионной моделью.

	Земля/Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
<b>Приповерхностная температура воздуха (ПТВ)</b>			
ИК	80,7%	73,4%	83,1%
ИК и КМО	88,3%	86,4%	84,0%
<b>Температура поверхности океана (ТПО)</b>			
ИК	79,7%	69,3%	84,1%
ИК и КМО	88,5%	86,6%	85,9%

*Примечание:* КМО – климатическая мультideкадная осцилляция с периодом около 60 лет (в Северной Атлантике известная как АМО – Atlantic multidecadal oscillation).

### **Выводы**

Определены естественные причины тенденций изменения температурного режима современного глобального климата. Современное глобальное потепление климата и усиление его неустойчивости, в основном, определяется астрономическими и геофизическими факторами, основным из которых является уменьшение наклона оси вращения Земли. Следствием уменьшения наклона оси является усиление меридионального переноса радиационного тепла вихревыми образованиями (внетропическими циклонами) и циркуляционными процессами в ячейках (Хэдли и Ферреля) общей циркуляции атмосферы. Тенденции изменения приповерхностной температуры воздуха и температуры поверхности океана на 69,3–84,1% определяются инсоляционной контрастностью, которая обобщенно (по областям источника и стока радиационного тепла) отражает многолетние изменения годового МГИ, регулирующего меридиональный перенос радиационного тепла в системе океан – атмосфера.

Полученные результаты могут учитываться в уравнении переноса энергии при физико-математическом моделировании климата и прогнозе его изменений в будущем.

**Благодарность.** Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Эволюция, современное состояние и прогноз развития береговой зоны Российской Арктики» (121051100167-1), «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4), «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0).

### **Литература**

1. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.–Л.: ГОНТИ, 208 с.1939.
2. Monin A. S., Shishkov Yu. A. Climate as a problem of physics // Physics–Uspekhi. V. 43. № 4. Pp. 381–406. 2000. DOI: 10.1070/PU2000v043n04ABEH000678.
3. <http://www.ipcc.ch/> – Электронный ресурс Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC). Дата обращения 22.02.22.
4. Fedorov V.M., Kostin A.A. The Calculation of the Earth`s insolation for the 3000 BC - AD 2999 // Springer Geology, 2020.. V. I. Pp. 181–192. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6\_20
5. Федоров В.М. Астрономическая климатология. М.: Московский университет, 2002. 236 с.

6. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophysical Research Letters*.. V. 37. L01706. 2011. DOI: 10.1029/2010GL045777.
7. Федоров В.М. Проблема меридионального переноса тепла в астрономической теории климата // *Геофизические процессы и биосфера*, 2019. Т. 18. № 3. С. 117–128. DOI:10.21455/GPB2019.3-8
8. Cionco R. G., Soon W. W.-H., Quaranta N. E. On the calculation of latitudinal insolation gradients throughout the Holocene // *Advances in Space Research*. V. 66. Pp. 720–742. 2020. DOI: 10.1016/j.asr.2020.04.030
9. Davis B. A. S. and Brewer S. Orbital forcing and role of the latitudinal insolation/temperature gradient // *Climate Dynamics*. V. 32. Pp. 143–65. 2009.
10. Fedorov V.M. Variations of the earth`s insolation and especially their integration in physical and mathematical models of the climate // *Physics Uspekhi*. V. 62. № 1. Pp. 32–45. 2019. DOI: 10.3367/UFNe.2017.12.038267.
11. Fedorov V.M. Features of the Earth`s Solar Climate Changes in the Present Epoch // *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 60. № 7. Pp. 993–998. 2020. DOI: 10.1134/S0016793220070117.
12. Soon W. and Legates D. R. Solar irradiance modulation of Equator-to-Pole (Arctic) temperature gradients: Empirical evidence for climate variation on multi-decadal timescales // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. V. 93. Pp. 45–56. 2013.
13. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 260 с.
14. Пальмен Э. Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Л.: Гидро-метео-издат, 616 с. 1973.
15. Погосян Х. Циклоны. Л.: Гидрометеиздат, 148 с. 1976.
16. Peixoto J.P., Oort A.H. Physics of climate // *Rev. Modern Phys*. Vol. 56, № 3. Pp. 365–429. 1984.
17. Trenberth K.E., Caron J.M., 2001. Estimates of meridional atmosphere and ocean heat transports. *American Meteorological Society*. Vol. 14. Pp. 3334–3343. 2001
18. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature> – Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. Дата обращения 22.09.22.

## References

1. Milankovich M. *Mathematical climatology and astronomical theory of climate fluctuations*. М.–Л.: GONTI, 208 p.1939.
2. Monin A. S., Shishkov Yu. A. Climate as a problem of physics // *Physics-uspekhi*. Vol. 43. No. 4. pp. 381-406. 2000. DOI: 10.1070/PU2000v043n04ABEH000678
3. <http://www.ipcc.ch/> – Electronic resource of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, IPCC). Accessed 22.09.22.
4. Fedorov V.M., Kostin A.A. Calculation of the Earth's insolation for 3000 BC - 2999 AD // *Springer Geology*, 2020. V.I. pp. 181-192. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6\_20.
5. Fedorov V.M. *Astronomical climatology*. М.: Moscow University, 2002. 236 p.
6. Kopp G., Lin J. A new lower value of total solar radiation: evidence and significance for climate // *Letters on Geophysical research*.. V. 37. L01706. 2011. DOI: 10.1029/2010GL045777.



7. Fedorov V.M. The problem of meridional heat transfer in the astronomical theory of climate // *Geophysical processes and the biosphere*, 2019. Vol. 18. No. 3. pp. 117-128. DOI:10.21455/GPB2019.3-8
8. Cionco R. G., Soon W. W.-H., Quaranta N. E. On the calculation of latitude gradients of insolation during total Holocene // *Achievements in space research*. V. 66. Pp. 720-742. 2020. DOI: 10.1016/j.asr.2020.04.030
9. Davis B. A. S. and Brewer S. Orbital impact and the role of latitudinal insolation /temperature gradient // *Climate dynamics*. Vol. 32. pp. 143-65. 2009.
10. Fedorov V.M. Variations of the Earth's insolation and features of their accounting in physico-mathematical climate models // *Uspekhi fizii*. Vol. 62. No. 1. pp. 32-45. 2019. DOI: 10.3367/UFNe.2017.12.038267
11. Fedorov V.M. Features of the Earth's solar climate change in the modern era // *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 60. No. 7. pp. 993-998. 2020. DOI: 10.1134/S0016793220070117.
12. Soon W. and Legats D. R. Modulation of solar radiation of temperature gradients from the Equator to the pole (Arctic): empirical data on climate change on multi-decade time scales // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. V. 93. Pp. 45-56. 2013.
13. Lorenz E.N. *Nature and theory of the general circulation of the atmosphere*. L.: Hydrometeoizdat, 1970. 260 p.
14. Palmen E. *Newton Ch. Circulation systems of the atmosphere*. L.: Hydrometeoizdat, 616 p. 1973.
15. Poghosyan H. *Cyclones*. L.: Hydrometeoizdat, 148 p. 1976.
16. Peixoto J.P., Oort A.H. *Climate physics* // *Rev. Modern Phys.* Volume 56, No. 3. pp. 365-429. 1984.
17. Trenbert K.E., Karon J.M., 2001. Estimates of meridional heat transfer in the atmosphere and ocean. *American Meteorological Society*. Volume 14. pp. 3334-3343. 2001.
18. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature> – Electronic resource of the University of East Anglia and Hadley Meteorological Bureau. Accessed 22.09.22.

## Insolation contrast and global temperature trends

Valery Mikhailovich Fedorov [0000-0003-2305-7408]  
 Denis Maksimovich Frolov [0000-0002-0307-8175]  
 Ekaterina Valeryevna Fedorova [0000-0001-8054-2763]

Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia

E-mail: [fedorov.msu@mail.ru](mailto:fedorov.msu@mail.ru)

**Abstract.** Based on the calculations of the Earth's insolation, changes in the annual meridional insolation gradient were determined in the period from 3000 BC to 2999. Changes in the meridional insolation gradient are associated with changes in the angle of inclination of the Earth's rotation axis. Based on the re-

gression model, it is shown that the trends of changes in the near-surface air temperature and ocean surface temperature (the temperature regime of the global climate) by 69.3-84.1% are determined by the insolation contrast. The insolation contrast generically (by radiative heat source and sink regions) reflects long-term changes in the meridional gradient of insolation, which regulates the intensity of meridional radiative heat transfer in the ocean–atmosphere system.

**Keywords:** solar radiation, meridional transport, insolation contrast, near-surface air temperature, ocean surface temperature, regression model

**Acknowledgement.** Work is executed in accordance with the state budget theme of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University "Evolution, current state and forecast of development of the coastal zone of the Russian Arctic" (121051100167-1), "Danger and risk of natural processes and phenomena" (121051300175-4), "Evolution of the cryosphere under climate change and anthropogenic impact" (121051100164-0).

## Парусная энергетическая установка наземного базирования: определение величины сил, действующих на платформу

Чекарев Константин Владимирович<sup>[0000-0002-5140-5142]</sup>1,2

Залиханов Алим Михайлович<sup>[0000-0002-2540-6045]</sup>1,3

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>E-mail:kostya-chekarev@yandex.ru,

<sup>3</sup>E-mail:bulungu@yandex.ru

**Аннотация.** Установки, преобразующие кинетическую энергию ветра в электроэнергию, из-за низкой плотности воздуха имеют большие размеры. Известен вариант парусной энергетической установки, преобразующей энергию ветрового потока в энергию водного потока, который позволяет уменьшить размеры преобразователя энергии, однако ее эффективность при этом падает, поскольку часть энергии ветрового потока расходуется на перемещение парусной установки, а также возникают сложности при передаче вырабатываемой энергии внешнему потребителю. Предложен вариант парусной энергетической установки наземного базирования, в которой эти проблемы снимаются. Проведенные экспериментальные исследования макетов парусных энергетических установок наземного базирования показали работоспособность входящих в экспериментальную установку элементов, найдены элементы конструкции, которые могут быть использованы при реализации парусной установки наземного базирования. С целью определения мощности, которую могут развивать парусные установки наземного базирования, на разработанной экспериментальной установке были проведены исследования по определению величины сил, от которых зависит скорость движения макетов парусной установки. Результаты этих исследований представлены в данной статье.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, парусная энергетическая установка, макет, экспериментальный исследования.

## 1 Введение

Использование кинетической энергии ветра в хозяйственной деятельности насчитывает много веков. Преобразователи энергии ветра в виде ветроколеса использовались только на суше для совершения работы, а преобразователи ветровой энергии в виде паруса использовались в основном на водных акваториях для перемещения транспортных средств. Известны примеры использования парусов для перемещения транспортных средств на суше [1], но это направления развития не получило. В последние десятилетия установки с преобразователем энергии в виде ветроколеса стали использоваться для производства электроэнергии и устанавливаются как на суше, так и на море.

В большинстве действующих ветровых установках преобразование энергии ветрового потока в электроэнергию осуществляется с помощью ветроколеса с горизонтальной осью вращения и соединенного с ним электрогенератора, которые устанавливаются в гондоле ветроэнергетической установки на мачте. Такая ориентация ветроколеса является оптимальной для эффективного преобразования энергии ветрового потока, однако, из-за низкой плотности воздуха, в установках большой мощности диаметр ветроколеса может превышать величину 100 метров. Чтобы выдержать большой вес установки и ветровые нагрузки необходима прочная конструкция и соответствующее основание, что приводит к усложнению конструкций и увеличению их стоимости. Предлагаются различные варианты решения проблемы, связанной с большими размерами преобразователей энергии ветрового потока. В представленной работе рассматриваются возможности использования одного из таких вариантов – наземной установки челночно движущейся по направляющим.

## 2 Актуальность исследования и постановка задачи

Известен вариант ветроэнергетической морской установки повышенной мощности, в которой система жестких парусов, выполненная в виде вертикальных лопастей, удерживается на поверхности воды кольцевым понтоном, который вращается вокруг вертикальной оси [2]. В предлагаемой конструкции энергетической установки проблема создания прочной опоры при больших размерах преобразователей энергии снимается, однако эффективность преобразования ветрового потока при этом уменьшается, поскольку на половине траектории преобразователи ветровой энергии движутся под острым углом к направлению ветра. Установка может работать только при большом диаметре кольцевого понтона, в противном случае система наветренных парусов будет перекрывать систему парусов, находящихся за ними. Однако при большом диаметре кольцевого понтона практически невозможно создать конструкцию, способную выдерживать волновое воздействие.

Был предложен вариант парусной энергетической установки, также позволяющей снять проблему больших размеров преобразователя энергии ветрового потока и проблему устойчивости к волновому воздействию [3, 4, 5]. Предложенный вариант энергетической установки содержит парусный катамаран, ко дну корпусов которого снаружи прикреплен гидрогенератор, выполненный в виде крыльчатки и электрогенератора. При движении катамарана возникает обтекающий его корпуса водный поток, который вращает крыльчатку гидрогенератора. Катамаран движется циклично по дуговой траектории в заданном угловом интервале, что позволяет увеличить эффективность преобразования энергии ветрового потока. Для движения по такой траектории катамаран выполнен в виде конструкции, симметричной относительно носа и кормы, и имеет систему изменения положения парусов и систему управления движением катамарана. Движение по дуговой траектории позволяет автоматизировать этот процесс [5]. В предлагаемых вариантах энергетических установок их эффективность также оказывается низкой, поскольку часть энергии ветрового потока расходуется на преодоление сил сопротивления воды катамараном. Кроме этого, возникают сложности с передачей вырабатываемой электроэнергии внешнему потребителю.

Эффективность парусной энергетической установки можно повысить и при этом снять проблему передачи вырабатываемой энергии внешнему потребителю, если сделать парусную энергетическую установку наземного базирования движущегося по направляющим и передавать вырабатываемую электроэнергию внешнему потребителю по контактному рельсу.

Известен вариант конструкции парусной энергетической установки наземного базирования [6], который является сухопутным аналогом ветроэнергетической морской установки [2]. Установка содержит платформы, соединенные в замкнутый состав, который движется по радиальному рельсовому пути. На платформах установлена система парусов, которые меняют положение в зависимости от направления ветра и участка пути. Электроэнергия вырабатывается с помощью электрогенераторов, соединенных с колесами платформ. Как и ветроэнергетическая морская установка [2], предлагаемая конструкция может работать только при большом диаметре рельсового пути, поскольку при малых диаметрах система наветренных парусов будет перекрывать систему парусов, расположенную за ней. Эффективность преобразования энергии ветрового потока, при этом, будет низкой, поскольку на половине пути платформы перемещаются под острым углом к направлению ветра.

Эффективность парусной энергетической установки наземного базирования можно повысить, если состав платформ сделать незамкнутым и изменить характер движения платформ так, как это сделано в парусной энергетической установке [3]. Это означает, что платформы должны двигаться циклично в заданном угловом интервале и иметь систему изменения положения парусов и систему управления движением платформ для того, чтобы платформы начинали двигаться в противоположную сторону в точках, ограничивающих угловой интервал перемещений платформ.

Для исследования предложенной схемы была создана экспериментальная установка, элементы которой отработывались в процессе проведения экспериментов, при этом учитывался опыт и использовались элементы экспериментальной установки, на которой проводились исследования парусной энергетической установки морского базирования [4, 5].

С целью определения мощности, которую могут развивать парусные энергетические установки наземного базирования, были проведены экспериментальные исследования сил, от которых зависит скорость движения макетов парусной установки и их величин.

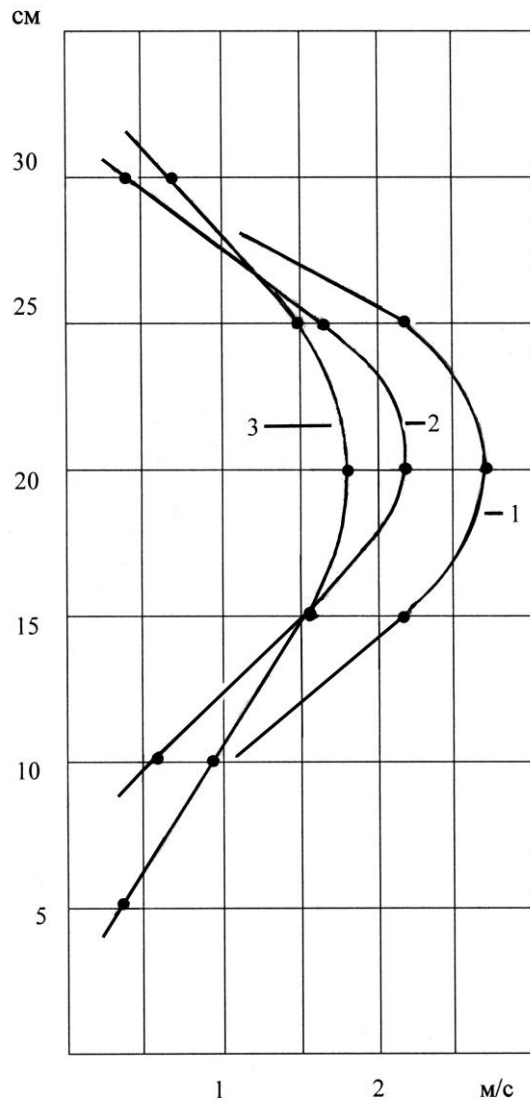
### 3 Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

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

Генератор ветрового потока был выполнен в виде системы вытяжных вентиляторов в количестве 13 штук, расположенных рядом друг с другом на рейке, длиной 2 метра (Рис.1). На Рис.2 представлен график распределения скоростей ветрового потока в вертикальных плоскостях, отстоящих от генератора ветрового потока на расстояниях 35 см, 50 см и 65 см. Как показали результаты исследований, изложенные в статье [7], несмотря на разное распределение скоростей в этих плоскостях, эффективность воздействия ветрового потока на скорость движения платформ на различных расстояниях от генераторов, оказалась практически одинаковой. При этом, благодаря равномерности ветрового потока от системы вентиляторов, вертикальные профили сохраняли свою форму по всей длине установки.



Рис. 1. Генератор ветрового потока

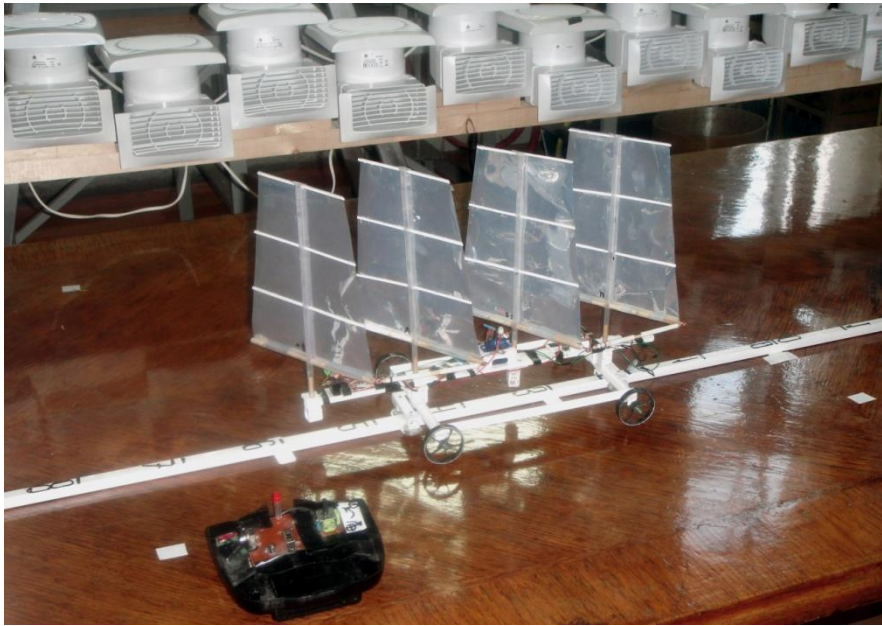


**Рис. 2.** Распределение скоростей в вертикальных плоскостях, отстоящих от генератора ветрового потока на расстояниях: 1) 35 см, 2) 50 см, 3) 65 см.

Экспериментальные исследования проводились на тех же платформах, что и эксперименты, результаты которых приведены в статье [7]. Изображение платформы представлено на Рис.3. Рамка платформы, к которой крепились 4 пластмассовых колеса диаметром 40 мм, имела размер 22 см в длину и 17 см в ширину. В середине платформы на высоте 30 мм от рамки крепилась рейка, на

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

Для независимого вращения электродвигателя в противоположные стороны стороны, на платформе были установлены 2 аккумулятора. Мачты могли поворачиваться в угловом диапазоне 70-100 градусов. К мачтам были прикреплены паруса площадью 312 квадратных сантиметров каждый. Чтобы снизить ветровую нагрузку на систему изменения положения парусов, они имели симметричную форму относительно мачты, как это видно на Рис. 3. Паруса имели форму трапеции высотой 24 см, основаниями 16 см (низ паруса) и 10 см (верх паруса). Паруса были сделаны из металлизированной пленки, которая крепилась к мачте и нижней реее, и были усилены 3 ребрами. Для одновременного поворота парусов, концы нижних рее были соединены легкими переключками.



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



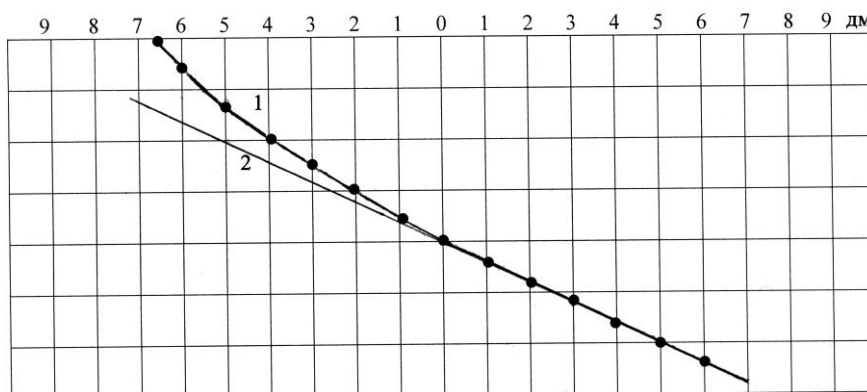
Платформы двигались по гладкой, горизонтальной плоскости длиной 3 метра и шириной 1,2 м. Траектория движения платформ задавалась направляющей системой, которая была разработана для проведения экспериментов. Она включала 3 направляющих рельса, расположенных на расстоянии 35 см, 50 см и 65 см от вертикальной плоскости генератора ветрового потока. В качестве направляющих рельсов использовались пластмассовые кабель-каналы сечением 12х12 мм и длиной 2 метра. На всех направляющих рельсах была нанесена разметка с интервалами в 10 см. Направляющая система включала также 4 колеса диаметром 15 мм, закрепленных по 2 на коротких сторонах рамки платформы. Их оси были вертикальны и были установлены так, чтобы направляющий рельс находился между ними. Расположение направляющих колес видно на Рис.3. При таком расположении колес платформы свободно перемещались вдоль направляющего рельса.

В состав экспериментальной установки входила система управления движением платформы, имитирующая автоматическое управление движением платформы по её положению, которое задается координатами GPS. Управление осуществлялось с помощью радиосигналов, которые передавались с пульта на установленный на платформе приемник, соединенный с системой изменения положения парусов. По этому сигналу паруса изменяли свое положение на противоположное. Для работы приемника радиосигналов на платформе устанавливался аккумулятор.

При проведении экспериментов движение платформ снималось на видеокамеру. По полученным записям строились графики движения платформ в зависимости от времени и определялись скорости движения платформ.

#### **4 Результаты экспериментов и обсуждение**

На платформу с парусами действуют следующие силы: действующая на паруса сила  $F$  ветрового потока, который формируется генератором ветрового потока, и сила трения качения  $F_T = kTmg$ , действующая на колеса платформы. При постоянном установленном угле поворота паруса к направлению ветра и постоянной массе платформы силы  $F$  и  $F_T$  остаются постоянными. Если разность этих сил не равна нулю, то платформа под действием этих сил будет двигаться с ускорением. При движении платформы возникает аэродинамическая сила сопротивления  $F_C$ , обусловленная вымпельным ветром. При увеличении скорости платформы величина силы сопротивления  $F_C$  возрастает, и с определенного момента платформа начинает двигаться с постоянной скоростью, как это видно из графика перемещений платформы в зависимости от времени, представленного на Рис 4.



**Рис. 4.** График перемещений платформы в зависимости от времени  $t$  - вертикальная ось (0,5 секунды 1 деление). (1 - линия построенная по измерениям перемещений платформы; 2 - вспомогательная линия для определения величины скорости равномерного прямолинейного движения).

При равномерном движении платформы соотношение действующих на неё сил описывается уравнением:

$$F_n - F_T - F_C = 0 \quad (1)$$

где  $F_n$  – аэродинамическая сила (сила давления), перпендикулярная ветровому потоку, действующая на паруса платформы;

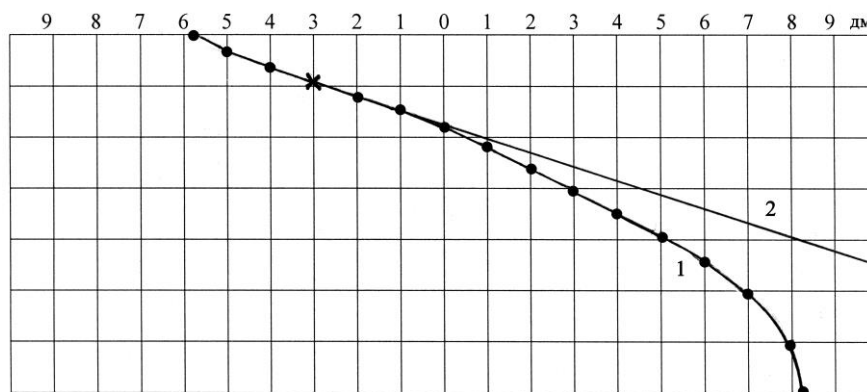
$F_T = k_T mg$  – сила трения качения колес;

$F_C$  – сила сопротивления движению платформы.

Для определения величины сил, действующих на платформу, была разработана методика, первым этапом которой является нахождение величины коэффициента трения. Величина коэффициента силы трения  $k_T$  определялась следующим образом: платформа без парусов ставилась на направляющий рельс и ей придавалась некоторая скорость. В результате действия силы трения скорость платформы уменьшалась и через некоторое время она останавливалась. Перемещение платформы фиксировалось видеокамерой, по полученным записям определялась начальная скорость платформы  $V$  и величина пути свободного перемещения платформы  $S$ . Из соотношения  $mV^2/2 = k_T mgS$ , величина коэффициента трения  $k_T$  будет:  $k_T = V^2/2gS$ .

На Рис. 5 представлен график перемещения платформы в зависимости от времени, по которому определялась величина коэффициента трения. Из нескольких реализаций пуска платформы определили, что величина коэффициента трения равна  $k_T = 0,023$ . Знание величины коэффициента трения,

кроме установления величины силы трения, является необходимым условием для нахождения величины всех сил, определяющих движение платформы.



**Рис. 5.** График перемещений платформы в зависимости от времени  $t$  (вертикальная ось; 0,5 секунды 1 деление) при определении величины коэффициента трения. (X – начало свободного перемещения платформы;  $V$  - 72 см/с;  $S$  - 112 см;  $k_T$  - 0,023). (1 – кривая, построенная по измерениям перемещений платформы; 2 – вспомогательная линия для определения величины скорости равномерного прямолинейного движения).

После определения величины коэффициента трения была проведена серия экспериментов для нахождения величины аэродинамической силы, перпендикулярной ветровому потоку, действующей на паруса, и силы сопротивления движению платформы. При проведении этой серии экспериментов платформа ставилась на направляющий рельс, отстоящий от генератора ветрового потока на расстоянии 50 см, затем на неё устанавливали груз различного веса и давали платформе возможность перемещаться под действием ветрового потока. Вес груза менялся от 30 грамм до 140 грамм. По видеозаписям перемещений платформы определялась её скорость с грузами разного веса. В таблице 1 представлены значения величины скорости платформы с грузами разного веса в режиме ручного пуска.

**Таблица 1.** Значения величины скорости платформы с грузами разного веса в режиме ручного пуска.

Вес груза, г	0	20	40	60	80	100	120	140
Скорость платформы, см/с	50	47	42	39	33	26	24	21

Поскольку предполагается, что движение платформы будет регулироваться автоматической системой управления, а также для подтверждения достоверности значений величин скоростей платформы, полученных в первой серии измерений при ручном пуске, была проведена аналогичная серия

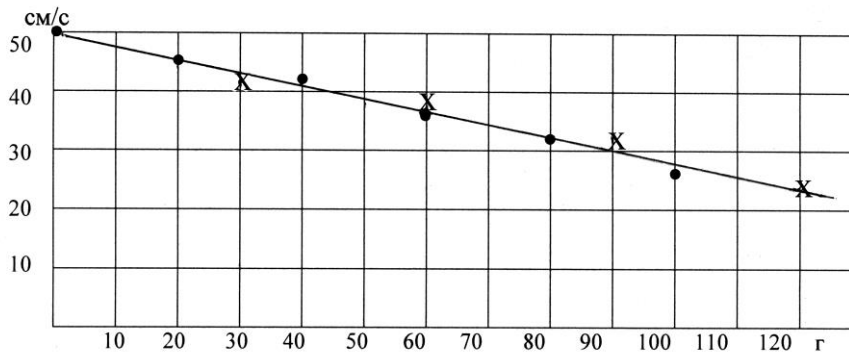
экспериментов по определению скорости перемещений платформы с грузами разного веса в режиме радиуправления. Полученные результаты различались незначительно (см Рис. 6) и позволили построить общий график зависимости скорости платформы от веса положенного на нее груза.

В Таблице 2 представлены значения величины скорости платформы с грузом разного веса в режиме радиуправления.

**Таблица 2.** Значения величины скорости платформы с грузом разного веса в режиме радиуправления.

Вес груза, г	0	30	60	90	120
Скорость платформы, см/с	50	41	38	33	24

На Рис.6. Представлен график зависимости скорости платформы от веса положенного на неё груза.



**Рис. 6.** График зависимости скорости платформы от веса положенного на нее груза ( X – режим радиуправления; • - режим ручного пуска)

При движении платформы с постоянной скоростью соотношение сил, действующих на платформу, определяется выражением

$$F - k_T m g - F_c = 0 \quad (1)$$

Известно, что сила сопротивления движению, действующая на парус пропорциональна квадрату скорости [8], поэтому её можно представить в виде

$$F = k_c V^2 \quad (2)$$

С учетом соотношения (2) уравнение (1) можно представить в виде

$$F - k_c m g - k_c V^2 = 0 \quad (3)$$

Используя уравнение (1) для двух грузов весом  $m_1 g$  и  $m_2 g$  можно составить следующее соотношение:

$$k_T m_1 g + k_c V_1^2 = k_T m_2 g + k_c V_2^2 \quad (4)$$

Из соотношения (4) устанавливается выражение для нахождения величины коэффициента  $k_c$

$$k_c = k_T (m_2 g - m_1 g) / (V_1^2 - V_2^2) \quad (5)$$

Подстановкой в выражение (5) величины коэффициента трения  $k_T$  и данных из Таблицы 1 определяется значение коэффициента  $k_c = 0,0014 \text{ г с}^2/\text{см}^2$ . Определение величины коэффициента  $k_c$  позволяет найти величину аэродинамической силы  $F$ , перпендикулярной ветровому потоку, действующей на паруса платформы, и величину силы сопротивления движению платформы при её движении с грузами разного веса и платформы. Для нахождения величины силы  $F$  в уравнение (3) нужно подставить полученные значения коэффициентов  $k_T$  и  $k_V$ , суммарный вес груза и вес платформы, равный 176 г. Подстановка указанных величин дает значение силы  $F = 7,1 \text{ г}$ . или около 0,07 ньютона.

## 5 Выводы

Эксперименты показали работоспособность элементов, входящих в экспериментальную установку, однако некоторые из них вносят ограничение на проведение исследований. Это касается в первую очередь генератора ветрового потока, который формирует ветровой поток с большой неравномерностью скоростей в вертикальной плоскости, что не позволяет проводить расчет сил, определяющих движение платформы. Для того чтобы обойти эти ограничения, был разработан экспериментальный метод определения этих сил путем нахождения величины скорости движения платформы с грузом разного веса. С помощью разработанного метода была найдена величина всех сил, определяющих движение платформы.

Эксперименты показали работоспособность входящих в установку элементов, а также были определены элементы конструкции, которые могут быть использованы при реализации парусной установки наземного базирования.

Кроме генератора ветрового потока, имеются элементы экспериментальной установки, требующие дальнейшего развития, в частности, направляющая система, которая должна исполнять функцию передачи электричества внешнему потребителю. Поставленные задачи будут решаться в ходе проведения дальнейших экспериментов.

## Литература

1. Дигаи П. Под парусами по рельсам// [Yachrussia.com/articlts/2016/10/21/articlts\\_391.html](http://Yachrussia.com/articlts/2016/10/21/articlts_391.html) [25.10.2022]
2. Чебоксаров В.В., Кузнецов Н.Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки // Строительство и технологическая безопасность. №18 (70), 2020. С.67-81.
3. Патент № 2745173 РФ, МПК В63В 35/44 (2006.01) / Парусная энергетическая установка; № 2020128596, заявл. 2020.08.28 / Чекарев К.В., Дегтярев К.С., Залиханов А.М. – заявители и правообладатели // «Изобретения. Полезные модели». 2021. № 9.

4. Чекарев К.В., Залиханов А.М. Катамаран как парусная энергетическая установка: увеличение скоростных характеристик. // Окружающая среда и энергоснабжение. №2 (10), 2021, с. 96-107.
5. Чекарев К.В., Залиханов А.М., Дегтярев К.С. Парусные энергетические установки. // География возобновляемых источников энергии. ИД «Энергия», М., 2021. С.180-197.
6. Патент № 2125182 РФ, МПК F 03 D 5/04 / Ветроэнергетическая установка; № 96123627/06, заявл. 1996.12.16 / Цыбульников С.И. - заявитель и правообладатель //
7. Чекарев К.В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования // Окружающая среда и энергоснабжение. №2 (14), 2022. С.77-90. <http://jeees.ru/category/journal/2022-2/>
8. Аэродинамика и гидродинамика парусного судна. sea-man. org/aerodinamika-parusa [25.10.2022]

### References

1. Digaj P. Pod parusami po rel'sam// Yachrussia.com/articlts/2016/10/21/ arti-clts\_391.ktml
2. Cheboksarov V.V., Kuznecov N.N. Gibridnye vetro-solnechnye morskije energeticheskie ustanovki // Stroitel'stvo I tekhnologicheskaya bezopasnost'. №18 (70), 2020. S.67-81.
3. Patent RU 2745173 C1 / B63B 35/44 (2006.01) / Sailing power plant / Application: # 2020128596, 2020.08.28 / Chekarev K.V., Degtyarev K.S., Zalikhanov A.M. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2021 / # 9.
4. Chekarev K.V., Zalikhanov A.M. Katamaran kak parusnaya energeticheskaya ustanovka: uvelichenie skorostnyh harakteristik. // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №2 (10), 2021, s. 96-107.
5. Parusnye energeticheskie ustanovki. // Geografiya vozobnovlyaemyh istochnikov energii. ID «Energija», М., 2021. S.180-197.
6. Patent RU 2125182 C1 / F 03 D 5/04 / Wind-electric Power Plant /Application: # 96123627/06, 16.12.1996 / Tsybul'nikov S.I. - inventor and proprietor //
7. Chekarev K.V., Zalikhanov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №2 (14), 2022. S.77-90. <http://jeees.ru/category/journal/2022-2/>
8. Aerodinamika I gidrodinamika. sea-man. org/aerodinamika-parusa

## Land-based Sailing Power Plant: Determination of the Magnitude of the Forces, Acting on the Platform

Konstantin Chekarev<sup>1,2</sup>

Alim Zalikhanov<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>E-mail: kostya-chekarev@yandex.ru,

<sup>3</sup>E-mail: bulungu@yandex.ru

**Abstract.** Installations that convert the kinetic energy of wind into electricity are large due to the low air density. A variant of a sailing power plant is known that converts the energy of a wind flow into the energy of a water flow, which makes it possible to reduce the size of the energy converter, but its efficiency decreases, since part of the energy of the wind flow is spent on moving the sail installation, and there are also difficulties in transferring the generated energy to an external consumer. A variant of a ground-based sailing power plant is proposed, in which these problems are removed. The conducted experimental studies of models of ground-based sailing power plants have shown the operability of the elements included in the experimental installation, structural elements have been found that can be used in the implementation of a ground-based sailing installation. In order to determine the power that land-based sailing installations can develop, studies were carried out on the developed experimental installation to determine the magnitude of the forces on which the speed of movement of the sailing installation models depends. The results of these studies are presented in this article.

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