

Фотоэнергетика в России

Рецензия эксперта на статью получена 11.06.2020 [Expert review on the article received on June 11, 2020].

Введение

Мировая солнечная электроэнергетика развивается стремительными темпами. За последние десять лет её установленная мощность увеличилась в несколько раз и составила 510,5 ГВт* (по данным ресурса ren21.net). При этом удельная стоимость сооружения солнечных электростанций (СЭС) ежегодно уменьшается. В основе создания СЭС — две основные технологии. Станции с прямым преобразованием солнечного излучения в электроэнергию принято называть фотоэлектрическими (ФЭС или Photovoltaic Power Plant, PV). Они составляют подавляющее большинство (99%) СЭС в мире общей установленной мощностью 505 ГВт*. Вторая, менее распространённая технология преобразования солнечной энергии в тепловую (пар), а затем в электрическую, — Concentrated Solar Power (CSP), лежит в основе термодинамических СЭС. Общая установленная мощность таких СЭС на текущий момент — 5,5 ГВт* (1%). В России в 2019 году термодинамические СЭС отсутствовали, а установленная мощность ФЭС составляла 1394,474 МВт или 0,4% всех мировых СЭС. На фото 1 представлена самая большая в России* Самарская ФЭС установленной мощностью 75 МВт.

Солнечные термодинамические электростанции

В России оба направления солнечной энергетики начали развиваться в XX веке [1]. Основоположителем термодинамических

Фотоэлектрические солнечные электростанции составляют подавляющее большинство (99%) мировых солнечных электростанций — общая установленная мощность достигает 505 ГВт. Доля термодинамических СЭС во всём мире на текущий момент составляет скромные 1% (5,5 ГВт)

СЭС является д.т.н. Борис Петрович Вейнберг (1871–1942). Он был членом Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕСП) России, организованной в 1915 году Императорской Академии наук в Санкт-Петербурге, а также членом Русского отделения Международного союза по исследованию Солнца. Как отмечал первый академик-теплоэнергетик СССР Михаил Викторович Кирпичёв (1879–1955), Б.П. Вейнберг провёл теоретические и проектные изыскания в области применения солнечной аппаратуры для получения пара, горячего воздуха, механической энергии. Он организовал при Томском университете первую в России метеостанцию с измерением солнечной радиации, руководил Главной геофизической обсерваторией в Ленинграде, разработал теорию концентрации солнечного излучения, конструирования солнечных опреснителей. Будучи разно-

* По состоянию на 2019 год.

УДК 620.92. Научная специальность: 05.14.08.

Фотоэнергетика в России

В.А. Бутузов, д.т.н., Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (г. Краснодар)

При суммарной установленной мощности солнечных электростанций (СЭС) мира в 2019 году — 510,5 ГВт, термодинамические СЭС имеют установленную мощность 5,5 ГВт. В 2019 году в России термодинамические СЭС отсутствовали, а установленная мощность эксплуатируемых фотоэлектрических станций (ФЭС) составила 1,4 ГВт. Описан российский опыт разработки и эксплуатации термодинамической Крымской СЭС мощностью 5 МВт. Представлен обзор научных исследований по созданию фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) с начала XX века. Указано, что в космической энергетике Россия занимает достойное место в создании арсенид-галлиевых трёхкаскадных ФЭП с КПД до 30%. Описана практика использования космических разработок для наземной энергетики. Лидером исследований по созданию гетероструктурных кремниевых ФЭП является НТЦ тонкоплёночных технологий ГК «Хевел» при ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Разработкой арсенид-галлиевых пяти- и шестикаскадных ФЭП занимается АО «НПП «Квант» (Москва). Производство космических ФЭС сосредоточено в НПП «Квант» и в ПАО «Сатурн» (Краснодар). Исследованием применения ФЭП в наземной энергетике занимается ОИВТ РАН (Москва). Развитие наземных ФЭС было начато в 2013 году с принятием постановления Правительства РФ о дополнительной оплате за установленную мощность и выработку электроэнергии ФЭС. По состоянию на 1 января 2019 года в России работало 63 ФЭС общей установленной мощностью 1,4 ГВт.

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечные термодинамические электростанции (СЭС), фотоэлектрические электростанции (ФЭС), фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), фотоэлектрические модули (ФЭМ), концентрация солнечного излучения, наземные ФЭС, космическая фотоэнергетика.

UDC 620.92. The number of scientific specialty: 05.14.08.

Russian photovoltaic

V.A. Butuzov, Doctor of Technical Sciences, Kuban State Agrarian University of I.T. Trubilin (Krasnodar city)

With the total installed capacity of solar power plants (SPP) in the world in 2019 equal to 510.5 GW, thermodynamic SPPs have an installed capacity of 5.5 GW. In 2019, there were no thermodynamic SPPs in Russia, and the installed capacity of operated photovoltaic power plants (PVP) was 1.4 GW. The Russian experience in the development and operation of the 5 MW thermodynamic Crimean SPP is described. An overview of scientific research on the creation of photoelectric converters (PEC) since the beginning of the XX century is presented. It is indicated that in space power engineering Russia occupies a worthy place in the creation of three-stage gallium arsenide PV cells with an efficiency of up to 30%. The practice of using space developments for ground power engineering is described. The leader of research on the creation of heterostructured silicon PV cells is the Scientific and Technical Center for Thin-Film Technologies of the Hevel Energy Group at the Ioffe Institute. The development of gallium arsenide five- and six-cascade PECs is carried out by "Quant" Scientific and Production Enterprise, JSC (Moscow). The production of space photovoltaic power plants is concentrated at "Quant", JSC, and at "Saturn", PJSC (Krasnodar). The Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (Moscow) is studying the use of PECs in ground-based power engineering. The development of ground-based PVPs was launched in 2013 with the adoption of a resolution by the Government of the Russian Federation on additional payment for the installed capacity and electricity generation of PVPs. As of January 1, 2019, 63 PVPs with a total installed capacity of 1.4 GW were operating in Russia.

Key words: solar power, thermodynamics solar power, photoelectric modules, photoelectric converters, photovoltaic power plants (PVP), concentration of solar radiation, ground-based PVP, space photovoltaic.



❖ Фото 1. Самарская СЭС в 2019 году вышла на свою полную расчётную мощность (75 МВт)

сторонним учёным, Борис Петрович участвовал в основании Института по изучению магнитного поля Земли и в его 23 научных экспедициях, в исследованиях по гляциологии (науки о льде), первым в мире в начале XX века запатентовал в США конструкцию поезда на магнитной подушке. После трагической смерти в блокадном Ленинграде его гелиотехнические исследования продолжил сын Всеволод Борисович Вейнберг (1907–1981), который в 1940-е годы исследовал ресурсы СССР по солнечной радиации.

В 1930-е годы гелиотехнические исследования выполнялись в Ленинграде в Физико-техническом институте, Областном теплотехническом институте (ныне ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова»), Оптическом институте, Энергетическом институте им. Г.М. Кржижановского АН СССР (ЭНИН). Со второй половины 1930-х годов, благодаря усилиям академика М.В. Кирпичёва, ЭНИН стал ведущей организацией СССР по солнечной энергетике.

Испанский учёный Федерико Молеро (1908–1969), высококвалифицированный специалист и убеждённый коммунист, в 1940-е годы организовал в ЭНИН лабораторию гелиотехники и разработал теорию создания солнечных концентраторов. В 1949 году по его чертежам в Ташкенте был построен параболический концентратор диаметром 10 м, с помощью которого был получен пар с температурой 200°C. В том же году в Москве был проведён Первый гелиотехнический съезд СССР [2], на котором, подводя итоги разработок по СЭС, академик М.В. Кирпичёв, в 1930-е годы имевший опыт совместной работы с А.Ф. Иоффе по фотоэнергетике, заявил, что кардинальное решение проблемы преобразования солнечной энергии — это непосредственное её превращение в электрическую энергию.



Выдающийся руководитель, к.т.н. Юрий Николаевич Малевский (1948–1980), возглавивший гелиотехническую лабораторию ЭНИН в 32-летнем возрасте, обеспечил реализацию многолетних исследований по созданию Крымской термодинамической СЭС-5. Личные связи с руководителями Минэнерго СССР, конструктивные контакты с 15 организациями и ведомствами обеспечили сооружение в 1985 году в составе Крымской АЭС первой в СССР термодинамической СЭС мощностью 5 МВт [3].

ной эксплуатации СЭС (с 1985 по 1990 годы) была достигнута максимальная мощность в 5,7 МВт. Максимальная годовая выработка электроэнергии составила 726 тыс. кВт·ч [4].

Основным недостатком этой солнечной электростанции была невозможность круглосуточной работы из-за отсутствия проектных баков-аккумуляторов (два по 1000 м³). В 1990 году эксплуатация Крымской СЭС была прекращена, и в дальнейшем в нашей стране термодинамические СЭС не строились.



❖ Фото 2. Экспериментальная Крымская термодинамическая СЭС-5 и её макет

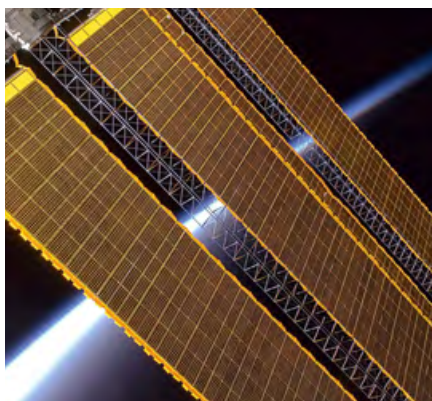
Исследования и разработки фотоэлектрических преобразователей

Фундаментальные исследования по фотоэлектрическим преобразователям (ФЭП) выполнялись в России в начале XX века выдающимся физиком Абрамом Фёдоровичем Иоффе (1880–1960). В его докторской диссертации «Упругое последствие в кристаллическом кварце», выполненной под руководством Вильгельма Рентгена в 1905 году в Мюнхенском университете, а затем в магистерской диссертации «Элементарный фотоэлектрический эффект. Магнитное поле катодных лучей. Опытные исследования», защищённой им в 1913 году в Санкт-Петербургском политехническом институте, в фундаментальной книге 1927 году «Физика кристаллов» были изложены основные идеи по развитию фотоэнергетики. В созданном им Ленинградском физико-техническом институте в 1930 году была организована полупроводниковая группа, и в число организованных им 13-ти институтов входил Среднеазиатский гелиоцентрический институт в городе Самарканде (на тот момент Узбекская АССР).

Для реализации любой научной идеи нужны личности с особым талантом воплощения идей и формул в реально действующие объекты. Таким выдающимся учёным, организатором науки и производства, которому СССР и Россия обязаны успехами в космической энергетике, был д.т.н., профессор, член-корреспондент АН СССР Николай Степанович Лидоренко (1916–2009). Возглавив в 1950 году в возрасте 34 лет Всесоюзный научно-исследовательский элементно-электроугольный институт (далее — Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока — ВНИИТ, затем НПО «Квант»), он руководил разработкой автономных си-



Энергообеспечение советской пилотируемой научно-исследовательской орбитальной станции «Мир», как и всех других космических аппаратов СССР, осуществлялось исключительно с помощью солнечных батарей разработки НПО «Квант». На фото представлен исследовательский модуль «Спектр», предназначенный для изучения атмосферы и геофизических явлений Земли, солнечные батареи которого имели размах 23,3 м (на модуле «Квант» их размах достигал 40,84 м)



Советские ФЭП впервые были установлены на третьем спутнике Земли «Спутник-3» в мае 1958 года. И все последующие советские космические аппараты были оснащены ФЭП отечественного производства

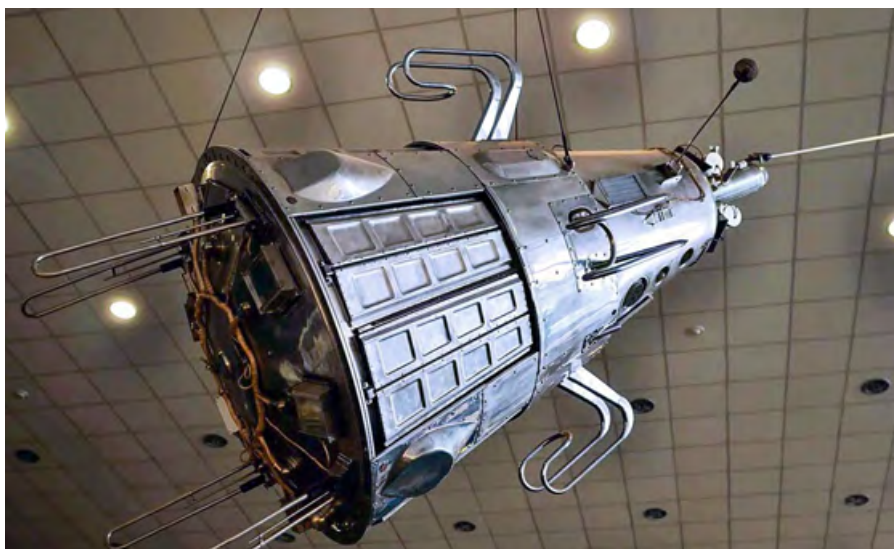


Фото 3. Советский искусственный спутник Земли «Спутник-3» (запущен 15 мая 1958 года)

стем энерго-обеспечения советских ракет и космических аппаратов. Знакомство его с академиком А.Ф. Иоффе состоялось у заместителя председателя Правительства СССР М.Г. Первухина в 1951 году, когда Н.С. Лидоренко была поручена организация производства термоэлектрических источников электропитания.

В 1957 году Ленинградским институтом полупроводников АН СССР (под руководством А.Ф. Иоффе), Московским физическим институтом им. П.Н. Лебедева АН СССР (ФИАН), Государственным научно-исследовательским и проектным институтом редкометаллической промышленности (Гиредмет) был изготовлен и передан во ВНИИТ опытный экземпляр ФЭП из монокристаллического кремния площадью 0,5 см² [5].

На его основе Н.С. Лидоренко организовал производство ФЭП, которые в мае 1958 года впервые в СССР были установлены на третьем искусственном спутнике Земли «Спутник-3» (фото 3). Все последующие советские космические аппараты были оснащены ФЭП отечественного производства.

Наземное применение ФЭП было начато в 1964 году в Туркмении, где д.т.н. Б.В. Тарнижевский после перехода из ЭНИН [3] во ВНИИТ разработал и испытал первую в мире ФЭС с концентраторами солнечного излучения мощностью 250 Вт для электропривода оросительных насосов в пустыне Кара-Кум.

Новым принципиально важным этапом в развитии фотоэнергетики было создание в 1969 году впервые в мире в Ленинградском физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе под руководством академика Жореса Ивановича Алфёрова (1930–2019) арсенид-галлиевых ФЭП.

ВНИИТ успешно применил их на космических станциях «Венера-4», «Луноход-1» и «Луноход-2». Эти ФЭП обеспечивали в условиях космоса КПД до 30%, они эффективно работают с концентраторами солнечного излучения. Арсенид-галлиевые ФЭП в 2005 году внедрил в производство на НПО «Сатурн» в Краснодаре член-корреспондент РАН Вячеслав Михайлович Андреев (1941 г.р.). Во ВНИИТ с 1960 по 1987 годы работал Дмитрий Семёнович Стребков (1937 г.р.), разработавший новое научное направление по преобразованию концентрированного солнечного излучения и новый класс матричных высоковольтных ФЭП [7, 8]. С 1975 года он являлся начальником экспериментально-технологического подразделения, заместителем главного конструктора НПО «Квант». Под его руководством в 1990-е годы была создана сетевая ФЭС мощностью 10 кВт с параболоцилиндрическими концентраторами в Ашхабаде, ФЭС с фоконами во Владикавказе, ФЭС с линзами Френеля в Ташкенте [9]. В эти годы НПО «Квант» с численностью сотрудников более 30 тыс. человек включал в себя два НИИ, восемь отделений и базовых лабораторий, три опытных завода, в том числе московский «Фотон» и краснодарский «Сатурн», две СКБ [6].

В 1986 году, после ухода с должности директора НПО «Квант» Н.С. Лидоренко, в другие организации перешли и другие учёные, в том числе Д.С. Стребков, возглавивший ВНИИ электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ). В этой организации, а с 2016 года в Федеральном научном центре ВИМ академик РАН Д.С. Стребков



■ Гибридная солнечно-ветровая энергоустановка КЭУ-3 производства НПП «Квант»

в должности научного руководителя продолжает работы по развитию российской сельской энергетики [9]. Одним из перспективных направлений развития фотоэнергетики является применение ФЭП с концентрируемым солнечным излучением, развиваемое д.т.н. В.В. Харченко [10], В.М. Евдокимовым, Ю.Д. Арбузовым, В.А. Майоровым [11].

Одной из структур НПО «Квант», специализирующейся на разработке и изготовлении устройств фотоэнергетики, стал организованный в 1964 году вначале Краснодарский филиал ВНИИТ, затем опытный завод, а с 1987 года — НПО «Сатурн».

Н.С. Лидоренко на должность директора филиала назначил Юрия Николаевича Кулагина, до этого успешно работавшего начальником отдела гелиотехники и промышленной энергетики ПКБ «Пластмаш» в городе Краснодаре. На территории Геленджикской лаборатории ВНИИТ была построена самая мощная в СССР в то время ФЭС в 30 кВт, а за четыре года в Краснодаре был построен опытный завод ВНИИТ, на котором в 1972 году была изготовлена первая солнечная батарея для космического аппарата «Стрела-1». К 1987 году филиал ВНИИТ и опытный завод были объединены в НПО «Сатурн», производство ФЭП достигло 800 м² в год.

В 1980-е годы НПО был реализован проект «Солнечная деревня» в посёлке Черноморском, в 40 км от города Краснодара. Были построены пять коттеджей, на кровле которых были установлены солнечные батареи мощностью по 3,5 кВт.

Научными лидерами «Сатурна» с 1985 по 1992 годы в развитии космической и наземной фотоэнергетики были Юрий Владимирович Скоков (1938–2013), директор НПО «Сатурн», и его заместитель по научно-техническому развитию Марат Борисович Закс (1944 г.р.). В 1992 году он вместе с коллективом разработчиков ФЭМ создал первую в России частную научно-производственную фирму «Солнечный ветер». На основе списанного с «Сатурна» оборудования и приборов группа энтузиастов открыла в Краснодаре цех, в котором производила изготовление ФЭП и модулей. В 2003 году фирма производила в год до 1 МВт двухсторонних ФЭМ, а к 2010-му — до 5 МВт.



■ Солнечная батарея (фотоэлектрический модуль) серии КСМ производства НПП «Квант»

Выполнялись также проектирование и монтаж ФЭС «под ключ». В качестве примера ФЭС, построенной в 2004 году ООО «Солнечный ветер», можно привести энергокомплекс в горах у города Горячий Ключ Краснодарского края для электропитания станции сотового оператора «Билайн» с пиковой мощностью ФЭС 8,5 кВт, работающий до настоящего времени. Замена аккумуляторов была произведена только через 12 лет эксплуатации. При сооружении ФЭС мощностью 10,5 кВт для электропитания станций сотовых операторов «МТС» и «Билайн» на плато Лаго-Наки в горах Адыгеи «Солнечный ветер» в 2007 году применил двухсторонние ФЭМ по технологии НПО «Сатурн». ФЭС мощностью до 400 кВт были построены этой фирмой также в Чехии и Германии.

ПАО «Сатурн» с 1971 года произвело 20 тыс. м² фотоэлектрических преобразователей и оснастило ими 1200 космических аппаратов. Предприятием изготавливаются фотоэлектрические преобразователи на основе кристаллического кремния с эффективностью до 15,5% и по собственной технологии арсенид-галлиевые ФЭП эффективностью до 28%.

В РФ в настоящее время отсутствует полный технологический цикл создания ФЭП из кремния. Лидирующая в космосе технология арсенид-галлиевых фотоэлектрических преобразователей давно и с большим успехом освоена в РФ, но слишком дорога для наземной энергетики



■ Освоение космического пространства и функционирование спутниковых группировок невозможно без надёжных фотоэлектрических модулей, способных работать длительное время

В настоящее время основным российским производителем космических ФЭС являются АО «НПП «Квант» (Москва), входящее в состав АО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнева» государственной корпорации (ГК) «Роскосмос», и ПАО «Сатурн» в Краснодаре. НПП «Квант», являясь родоначальником отечественной фотоэнергетики, разработало и произвело солнечные батареи для 1500 космических аппаратов. На предприятии были созданы новые структуры для наземного применения и повышения КПД кремниевых солнечных элементов с продолжительностью эксплуатации свыше 25 лет. Производится пять кремниевых фотоэлектрических модулей наземного применения типа КСМ номинальной мощностью от 180 до 210 Вт с эффективностью до 19%.

Современные фотоэлектрические исследования

В настоящее время теоретические исследования по созданию новых ФЭП выполняются ФТИ им. А.Ф. Иоффе, а технологии их изготовления разрабатываются в научно-техническом центре ГК «Хевел», созданном при ФТИ. НПП «Квант» продолжает разработки кремниевых структур для космической энергетики. Для этих же целей НПО «Сатурн» (Краснодар) совершенствует арсенид-галлиевые ФЭП.

Исследования по фотоэлектрической энергетике проводятся в Объединённом институте высоких температур (ОИВТ) РАН под руководством д.т.н. О.С. Попеля. В его книге [12] изложены основные принципы развития фотоэнергетики с учётом специфики нашей страны. Анализ современных технологий изготовле-

ния ФЭП применительно к российскому рынку представлен д.т.н. О.С. Попелем и соавторами в статьях [13, 14, 16, 17], а также к.г.н. К.С. Дегтярёвым [15].

В ОИВТ развивается весьма перспективное направление — фотоэлектрические электростанции, как альтернатива солнечным тепловым установкам [18]. Отмечено доминирование кристаллического кремния и его перспективы в обозримом будущем.

В России в настоящее время отсутствует полный технологический цикл создания кремниевых ФЭП: получения кристаллического кремния в моно- или мультикристаллических слитках, резка слитков на пластины, травление, легирование, просветление, формирование электронных контактов, сборка параллельно-последовательных модулей, ламинирование, остекление и изготовление корпусов. Лидирующая в космосе технология арсенид-галлиевых ФЭП освоена в России, но слишком дорога для наземной энергетики. Тонкоплёночные технологии с нанесением прозрачного слоя проводящего покрытия на стекло или фольгу, разделение плёнки на отдельные ФЭП, формирование слоёв с *p*- и *n*-проводимостью, нанесение скрайбирования повторного слоя проводящего материала не получили широкого распространения.

В Лаборатории ВИЭ МГУ им. М.В. Ломоносова разработана геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии» [19]. Исследования по солнечной радиации к.т.н. С.В. Киселёвой совместно с ОИВТ РАН положены в основу Атласа солнечной радиации [20]. Общеизвестным специалистом по экономике ФЭС является к.г.н. К.С. Дегтярёв [15].

Ведущей российской научной организацией по разработке ФЭМ по гетероструктурной технологии в настоящее время является НТЦ тонкоплёночных технологий «Хевел» при ФТИ им. Ф.А. Иоффе. Отличительная особенность данной технологии — Heterojunction with Intrinsic Thin-Layer Technology (HJT) — плазмохимический метод нанесения наноплёнок аморфного кремния поверх кристаллического кремния.

Главным научным изданием по фотоэнергетике в странах СНГ является издаваемый с 1965 года в городе Ташкенте международный журнал «Гелиотехника» на русском языке или Applied Solar Energy — на английском. Журнал выпускается НПО «Физика-Солнце» Физико-технического института АН Республики Узбекистан. Главный редактор — д.т.н. Нифалур Раббакуловна Авезова, дочь знаменитого д.т.н. Р.Р. Авезова [1].

Оценка удельных энергомассовых характеристик (ЭМХ) ФЭП

табл. 1

Тип ФЭП	КПД, %	Удельная мощность, Вт/м ²	Подложка ФЭП	Удельная ЭМХ [Вт/кг] на уровне СИС	Удельная ЭМХ [Вт/кг] на уровне ФЭП
Трёхпереходный (современный уровень)	28	380	Ge 140 мкм	260–314 (1,46–1,2 кг/м ²)	228–271
Трёхпереходный (усовершенствованный)	30	400	Ge 140 мкм	280–340 (1,46–1,2 кг/м ²)	245–291
Многoperеходный (четырёхкаскадные)	33	450	Ge 140 мкм	310 (1,46–1,2 кг/м ²)	273–325
Многoperеходный (шестикаскадные)	37	500	Ge 140 мкм	340 (1,46–1,2 кг/м ²)	300–360
Трёхпереходные (утоненные)	28	380	Ge 75 мкм	550 (0,69 кг/м ²)	426
Трёхпереходный (инверторный)	33	450	удаляемая	1000 (0,45 кг/м ²)	690

Примечание: СИС — солнечный элемент, снабжённый выводами и покрытый стеклянным покрытием (толщина данного стеклянного покрытия лежит в пределах 100–200 мкм), дополнительно следует отметить, что удельный вес кабельной сети, развязывающих диодов и т.д. в сегодняшних конструкциях составляет 200 г/м² и может быть снижен примерно вдвое.

В наземной фотоэнергетике выделяют два основных вида систем: автономные и сетевые. Автономные ФЭС имеют существенные отличия от сетевых. В России имеется 20-летний опыт их сооружения. Кроме постсоветского опыта их создания в ООО «Солнечный ветер» в Краснодарском крае, в современной России они широко применяются небольшими частными фирмами, объединёнными в некоммерческое партнёрство «Зелёный киловатт». АО «Сахаэнерго» ГК «Русгидро» в Якутии построило 18 автономных ФЭС, в том числе самую мощную — Батагайскую (1 МВт) в Верхоянском улусе. Особенностью солнечной радиации в Якутске является её наличие круглые сутки только в летние месяцы.

На Дальнем Востоке ООО «Авелар Солар Технолджиз» реализует проект создания 100 автономных ФЭС для сельских поселений. Эта же компания предлагает для односемейных жилых домов комплект оборудования в составе шести фотоэлектрических модулей общей мощностью 1,7 кВт, аккумуляторов 7,2 кВт·ч и инверторного блока.

Космическая фотоэнергетика

Лидером по разработке современных космических фотоэлектрических технологий в России является АО «НПП «Квант», перспективы которого в статье [5] представил д.т.н. Мадлен Борисович Каган (1935 г.р.). Указаны следующие важнейшие принципиальные достижения:

- создание оригинальной эллипной технологии $n-p-p^+$ -структур кремниевых фотоэлектрических преобразователей;
- разработка и производство кремниевых фотоэлектрических преобразователей с двухсторонней чувствительностью;
- создание технологии изготовителя фотоэлектрических преобразователей на основе арсенида галлия.

М.Б.Каган констатирует, что современные требования к энергетике космических аппаратов (максимальная выходная мощность свыше 10 кВт ФЭС, срок активного существования свыше 15 лет, минимальная деградация рабочих характеристик) обуславливают мировую тенденцию в космической энергетике — интенсивное развитие нанотероструктурных каскадных ФЭП на основе арсенида галлия и других соединений элементов третьей и пятой групп Периодической системы химических элементов (таблицы Менделеева) на инородной подложке с применением технологии МОСV13 (90% мировых производств).

Современная трёхкаскадная технология изготовления арсенид-галлиевых ФЭП НПП «Квант» предусматривает нанесение до 30 слоёв, половина из которых являются наноразмерными с использованием технологии МОС-гидридной газофазной эпитаксии. Эффективность каждого слоя возрастает с применением дополнительного верхнего слоя каскада «окна», которое приводит к снижению уровня рекомбинации на поверхности каждого каскада. Кроме нанотероструктурной конструкция арсенид-галлиевых фотоэлектрических преобразователей содержит многослойные токосъёмные контакты и функциональные покрытия.

Перспективы развития создания ФЭП связаны с переходом на четырёх-, пяти- и шестикаскадные структуры для повышения КПД до 32–35%, использованием облегчённой подложки (кремний, стекло) для повышения удельной энергомассовой характеристик ФЭП и расширения

В соответствии с ДПМ потребители оптового рынка обязаны в течение 15 лет выплачивать регулируемое вознаграждение

спектрального диапазона и введением в структуру ФЭП специальных слоёв для снижения радиоактивного воздействия и повышения срока активной службы свыше 15 лет. Промышленное освоение пяти- и шестикаскадных структур с согласованной решёткой и метаморфные ожидается в 2020–2030 годах.

В табл. 1 по данным [5] представлены оценки удельных энергомассовых характеристик современных и перспективных фотоэлектрических преобразователей.

Наземные сетевые фотоэлектрические станции

Современный российский рынок наземной сетевой фотоэнергетики был создан после принятия Постановления Правительства РФ 23 января 2015 года №47-ПП, которое обеспечило субсидирование сооружения ФЭС мощностью свыше 5 МВт. Инвесторы ФЭС получают долгосрочные договоры на поставку мощностей (ДПМ) на оптовом рынке России после отбора их проектов на конкурсной основе. В отличие от европейских тендерных условий, данная схема предлагает победителям плату и за мощность, и за выработку электроэнергии в мегаватт-часах.

В соответствии с ДПМ потребители оптового рынка обязаны в течение 15 лет (срок действия договоров) выплачивать регулируемое вознаграждение за отпущенную мощность по льготным тарифам. Такие конкурсы проводятся регулирующим органом (администратором торговой системы, АТС) — ежегодно при участии Совета рынка и «СО ЕЭС». В первом туре проекты отбираются по двум критериям: максимальные капитальные затраты на 1 кВт и по требованиям локализации. В 2020 году максимально допустимые капитальные затраты ФЭС составили 103 157 руб. за 1 кВт, а максимально допустимые расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание — 2880 руб. за 1 кВт в год. На 2020 год степень локализации установлена в 70%. Постановление №47-ПП обязывает региональные сетевые компании закупать электроэнергию, произведённую ФЭС для компенсации до 5% прогнозируемых потерь в электросетях. Во втором туре отбор производится по минимальным капитальным затратам на реализацию проекта. Победившая организация получает гарантии стабильной рентабельности и выгодные тарифы на электроэнергию, но обязана завершить строительство ФЭС и обеспечить требования по локализации. ФЭС должна также иметь коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) в течение года не менее 0,14.

В России имеются три основных производителя и эксплуатанта сетевых ФЭС. Основанная в 2009 году российскими инвесторами группа компаний (ГК) «Хевел» через ООО «Авелар Солар Технолоджи» и ООО «Грин Энерджи Рус» владеет 19-ю ФЭС с суммарной мощностью 611,5 МВт (43,17%). Основное производство ГК «Хевел» до 340 МВт в год находится в городе Новочебоксарске (Республика Чувашия). Проектирование и монтаж ФЭС выполняет ООО «Авелар Солар Технолоджи». Эксплуатацией СЭС занимаются ООО «Авелар Солар Технолоджи» и ООО «Грин Энерджи Рус».

На втором месте частная компания ПАО «Т-Плюс», владеющая семью фотоэлектрическими станциями с суммарной мощностью 250 МВт (17,9%).



Значительная часть российского рынка сооружения сетевых ФЭС принадлежит ООО «Солар Системс», учредителем которой является китайская компания Amur Sirius Power Equipment Co., Ltd.

Изготовление кремниевых пластин производится на заводе ООО «Солар Кремниевые Технологии» в городе Подольске. Кремниевые пластины из Подольска направляются в Китай и в виде готовых ФЭП возвращаются на завод ООО «Солар Кремниевые технологии» в Подольске, где изготавливают фотоэлектрические модули (ФЭМ).

В табл. 2 представлены характеристики российских сетевых СЭС суммарной установленной мощностью 1394,475 МВт, по данным их государственной квалификации по сайтам их владельцев.

... Основные данные по российским сетевым СЭС (ФЭС)

табл. 2

Регион	Наименование СЭС	Адрес	Мощность	Год	Владелец	Владение
Оренбургская обл.	Домбаровская	Домбаровский р-н, с/с Домбаровский	25 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Григорьевская	Соль-Илецкий ГО	10 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	собств.
	Елшанская	Соль-Илецкий ГО	25 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	собств.
	Чкаловская	Оренбургский р-н, с/с Чкаловский	30 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	собств.
	Оренбургская СЭС-1	Новосергиевский р-н	45 МВт	2018	ПАО «Т-Плюс»	собств.
	Оренбургская СЭС-3	Сорочинский ГО	60 МВт	2018	ПАО «Т-Плюс»	собств.
	Державинская	г. Орск	5 МВт	2017	ПАО «Т-Плюс»	собств.
	Оренбургская СЭС-5	г. Орск	10 МВт	2017	ПАО «Т-Плюс»	собств.
	Соль-Илецкая	Соль-Илецкий р-н	25 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Грачевская	Грачевский р-н, с/с Александровский	10 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Плешановская	Красногвардейский р-н, с. Плешаново	10 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Сакмарская им. А. А. Влазнева	г. Орск	25 МВт	2015	ПАО «Т-Плюс»	собств.
	Переполюцкая	Переполюцкий р-н	5 МВт	2015	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Сорочинская «Уран»	Сорочинский ГО	60 МВт	2018	ПАО «Т-Плюс»	собств.
	Новосергиевская «Нептун»	Новосергиевский р-н	45 МВт	—	ПАО «Т-Плюс»	собств.
Астраханская обл.	Лиманская	Лиманский р-н, раб. пос. Лиман	30 МВт	2019	ООО «Грин Энерджи Рус»	собств.
	Михайловская	г. Нариманов, ул. Степная, д. 7	15 МВт	2019	ООО «Эно Энерджи Рус»	собств.
	Элиста Северная	Наримановский р-н, пос. Трусово	15 МВт	2019	ООО «Эно Энерджи Рус»	собств.
	Ахтубинская (1–4 оч.)	Ахтубинский р-н, с. Сокрутовка	60 МВт	2019	ООО «Грин Энерджи Рус»	собств.
	Фунтовская (1–4 оч.)	Приволжский р-н, с. Фунтово	60 МВт	2018	ООО «Грин Энерджи Рус»	собств.
	Енотаевка	Енотаевский р-н, с. Енотаевка	15 МВт	2018	ООО «Энергоэффект ДБ»	собств.
	Володаровка	Наримановский р-н, пос. Тинаки	15 МВт	2018	ООО «Энергоэффект ДБ»	собств.
	Промстройматериалы	Наримановский р-н, с. Солянка	15 МВт	2018	ООО «Сан Проджектс 2»	собств.
	Нива	Приволжский р-н, с. Фунтово	15 МВт	2018	ООО «Грин Энерджи Рус»	собств.
Республика Алтай	Заводская	Володарский р-н, пос. Володарский	15 МВт	2017	ООО «Сан Проджектс»	собств.
	Коч-Агачская	Коч-Агачский р-н, Теленгит-Сортогойское посел.	10 МВт	2015	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Усть-Канская	Усть-Канский р-н	5 МВт	2016	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Майминская (3 оч.)	Майминский р-н, с. Майма	25 МВт	2017/19	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	собств.
	Ининская	Онгудайский р-н, Ининское посел.	25 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Чемальская	Чемальский р-н, Аносинское посел.	10 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Онгудайская	Онгудайский р-н, с. Онгудай	5 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
Самарская обл.	Усть-Коксинская	Усть-Коксинский р-н, Амурское посел.	40 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Самарская №1	г. Новокуйбышевск	25 МВт	2018	ООО «Солар Системс»	собств.
	Самарская №2, 3	г. Новокуйбышевск	50 МВт	2019	ООО «Самарские СЭС»	собств.

Наиболее крупными компаниями, владеющими сетевыми СЭС, являются следующие: ООО «Авелар Солар Технолоджи» (422,5 МВт в Оренбургской, Саратовской, Волгоградской областях, Республиках Алтай и Башкортостан, Бурятии); ООО «Солар-Системс» (230 МВт в Оренбургской, Астраханской, Самарской областях и в Ставропольском крае); а также территориальная генерирующая компания (ТГК) ПАО «Т-Плюс» (250 МВт в Оренбургской области). Данные об остальных владельцах предоставлены в табл. 3.

Финансовые результаты эксплуатации в 2017 году двух сетевых СЭС в Башкортостане, по данным [21], представлены в статье [22]. Бурибаевская и Бугульчанская СЭС имеют установленные мощности 20 и 15 МВт, соответственно. Удель-

Для Бурибаевской и Бугульчанской СЭС стоимость реализованной электроэнергии составляла около 30 руб. за 1 кВт·ч. Сроки окупаемости — около двух и пяти лет, соответственно

ные затраты на поставку ФЭП без учёта монтажа составили 50 млн и 120 млн руб. за 1 МВт, соответственно. Для первой из них ООО «Авелар Солар Технолоджи» применил кремниевые фотоэлектрические модули ГК «Хевел». При сооружении второй из них ПАО «Т-Плюс» использовало ФЭМ AST 245 multi.

Эксплуатационные годовые затраты с содержанием на каждой СЭС (по два электромонтёра, четыре диспетчера и од-

ного тракториста) составили 4,94 млн и 6,31 млн руб., соответственно. Фактическая выработка электроэнергии Бурибаевской СЭС за 2017 год составила 23 887 тыс., а Бугульчанской — 16 847 тыс. киловатт-час, а выручка — 681 997 тыс. и 523 393 тыс. руб., соответственно.

Таким образом, стоимость реализованной электроэнергии составляла около 30 руб. за 1 кВт·ч. При указанных выше значениях удельных инвестиционных затрат с учётом проектных и монтажных работ (коэффициент 1,35) полная стоимость сооружения Бурибаевской СЭС составит 1,3 млрд, а Бугульчанской СЭС — 2,34 млрд руб. При указанном значении выручки 2017 года простой срок окупаемости первой из них составит около двух лет, второй — около пяти лет.

Основные данные по российским сетевым СЭС (ФЭС)

табл. 2 (окончание)

Регион	Наименование СЭС	Адрес	Мощность	Год	Владелец	Владение
Ставропольский край	Ташла	Грачёвский р-н, с. Старомарьевка	12,5 МВт	2019	ООО «Солар Системс»	аренда
	Калиновка	Грачёвский р-н, с. Старомарьевка	12,5 МВт	2019	ООО «Солар Системс»	аренда
	Грачевка	Грачёвский р-н, с. Старомарьевка	12,5 МВт	2019	ООО «Солар Системс»	аренда
	Красная	Грачёвский р-н, с. Старомарьевка	12,5 МВт	2019	ООО «Солар Системс»	аренда
	Старомарьевская	Грачёвский р-н, с. Старомарьевка	25 МВт	2019	ООО «Солар Системс»	аренда
Республика Башкирия	Исянгуловская	Зианчурский р-н, с. Исянгулово	9 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Бурибаевская* ¹	Хайбуллинский р-н, с. Бурибай	20 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Бугульчанская* ²	Куюргазинский р-н, с. Бугульчан	15 МВт	2016	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
Республика Калмыкия	Яшкульская (1–2 эт.)	Яшкульский р-н, пос. Цаган-Усн	33,5 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Молодербетовская (1-й эт.)	Молодербетовский р-н, с. Малые Дербеты	15 МВт	2019	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
Саратовская обл.	Пугачевская	г. Пугачевск	15 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	Орловгайская	Ершовский р-н, с. Орлов-Гай	15 МВт	2018	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	собств.
	Новоузенская* ³	—	15 МВт	2018	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	собств.
Республика Бурятия	Хоринская	Хоринский р-н	15 МВт	2019	ООО «Грин Энерджи Рус»	собств.
	Кабановская	Кабанский р-н, с. Кабанск	15 МВт	2019	ООО «Тераватт»	собств.
	БВС	Кяхтинский р-н, г. Кяхта	15 МВт	2019	ООО «Тераватт»	собств.
	Тарабагатай	Тарабагатайский р-н, с. Тарабагатай	15 МВт	2019	ООО «Тераватт»	собств.
	Бичурская	Бичурский р-н, с. Бичура	10 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
Волгоградская обл.	Волгоградская	г. Волгоград	10 МВт	2017	ООО «Авелар Солар Технолоджи»	аренда
	СЭС* ⁴	г. Камышин	0,075 МВт	2017	АО «ОЭК»	собств.
Республика Хакасия	Абаканская	г. Абакан	5,198 МВт	2015	ПАО «Красноярская ГЭС»	собств.
Забайкальский край	Балей	г. Чита	15 МВт	2019	ООО «Солнечная генерация»	собств.
	Орловский ГОК	г. Чита	15 МВт	2019	ООО «Солнечная генерация»	собств.
Белгородская обл.	СЭС	Яковлевский р-н, хут. Крапивенские дворы	0,1 МВт	2014	ООО «АльЭнерго»	собств.
Республика Крым	Николаевка	Симферопольский р-н, Николаевское посел.	69,7 МВт	2013	ООО: «Юпитер-Солар» (24,81 МВт), «Орион-Солар» (24,33 МВт), «Капелла-Солар» (20,56 МВт)	собств.
	Перово	Симферопольский р-н, Перовское посел.	84,73 МВт	2011	ООО: «Бета-Солар» (22,15 МВт), «Гамма-Солар» (21,55 МВт), «Альфа-Солар» (20,05 МВт), «Зета-Солар» (20,98 МВт)	собств.
	Родниковское	Симферопольский р-н, Родниковское посел.	6,5 МВт	2011	ООО: «Краймна-Солар-1» (1 МВт), «Краймна-Солар-2» (1,5 МВт), «Краймна-Солар-3» (1,5 МВт), «Краймна-Солар-4» (1,5 МВт), «Краймна-Солар-5» (2 МВт)	собств.
	Охотниково	Сакский р-н, Охотниковское посел.	21,23 МВт	2011	ООО «Оузил Солар»	собств.
	Карьерное	Сакский р-н, с. Карьерное	19,64 МВт	2011	ООО «Ориол Солар»	собств.

Примечание: всего в 14-ти российских регионах установлено 63 СЭС суммарной установленной мощностью 1394,475 МВт, причём самыми крупными владельцами СЭС являются: ООО «Авелар Солар Технолоджи» (14 СЭС общей установленной мощностью 422,5 МВт (30,27 % рынка), в том числе в собственности три СЭС (120 МВт), в аренде 11 СЭС (302,5 МВт)); ПАО «Т-Плюс»: в собственности семь СЭС (250 МВт, 17,9 % рынка); ООО «Грин Энерджи Рус» владеет пятью СЭС (180 МВт, 12,9 % рынка). *¹ В том числе Баймакская (10 МВт), Юлдыбаевская (10 МВт). *² В том числе Матраевская (5 МВт), Акъярская (5 МВт), АСТ «Башкирская» (5 МВт). *³ В перечне квалификации отсутствует. *⁴ На базе фотоэлектрических модулей ЭССМ «ОЭК-1».

Владельцы российских СЭС (ФЭС) по регионам

табл. 3

Владелец	Владение	Кол-во СЭС	Мощность	Регионы
ООО «Авелар Солар Технолоджи»*	собств. / аренда / всего	3 / 11 / 14	120 МВт / 302,5 МВт / 422,5 МВт	Оренбургская обл. / Республика Алтай / Республика Башкирия / Республика Калмыкия / Саратовская обл. / Республика Бурятия / Волгоградская обл.
ПАО «Т-Плюс»*	собств.	7	250 МВт	Оренбургская обл.
ООО «Грин Энерджи Рус»*	собств.	5	180 МВт	Астраханская обл. / Республика Бурятия
ООО «Солар Системс»	собств. / аренда / всего	1 / 5 / 6	25 МВт / 75 МВт / 100 МВт	Ставропольский край / Самарская обл.
ООО «Эко-Энерджи Рус»	собств.	2	30 МВт	Астраханская обл.
ООО «Энергоэффект ДБ»	собств.	2	30 МВт	Астраханская обл.
ООО «Самарская СЭС»	собств.	1	50 МВт	Самарская обл.
ООО «Тераватт»	собств.	3	45 МВт	Республика Бурятия
ООО Республики Крым	собств.	5	201,8 МВт	Республика Крым
ООО «Сан-Проджекс»	собств.	1	15 МВт	Астраханская обл.
ООО «Солнечная генерация»	собств.	2	30 МВт	Забайкальский край
ПАО «Красноярская ГЭС»	собств.	1	5,198 МВт	Республика Хакасия
ООО «Альт Энерго»	собств.	1	0,1 МВт	Белгородская обл.
«ОЭК-1»	собств.	1	0,075 МВт	Волгоградская обл.

* Доля рынка компаний: ООО «Авелар Солар Технолоджи» — 30,27 %, ПАО «Т-Плюс» — 17,9 %, ООО «Грин Энерджи Рус» — 12,9 %.

Выводы

1. Российская научная гелиотехническая школа с начала XX века развивалась по двум основным направлениям преобразования солнечной энергии в электрическую: термодинамическому и фотоэлектрическому.
2. Лидерами создания термодинамических СЭС были д.т.н. Б.В. Вейнберг, д.т.н. Федерико Молеро. Эксплуатация построенной в 1985 году Крымской СЭС мощностью 5 МВт не подтвердила перспективность создания таких электростанций.
3. Лидерами создания фотоэлектрических станций в Советском Союзе были академик А.Ф. Иоффе, который уже в начале XX века приступил к теоретическим исследованиям, член-корреспондент Академии наук СССР Н.С. Лидоренко, обеспечивший широкое применение ФЭП

в космической энергетике в России, академик Ж.И. Алфёров, а также член-корреспондент РАН В.М. Андреев.

4. В России за последние шесть лет (с 2014 года) создан рынок сетевых ФЭС. В 2019 году работали 63 станции общей установленной мощностью 1394,475 МВт. В стране имеется три основных компании, владеющие СЭС: ГК «Хевел» с частным российским капиталом, ПАО «Т-Плюс», также с частным российским капиталом, и ООО «Солар Системс» с китайским капиталом. Две из них в своём составе име-

Российская космическая энергетика имеет большой опыт, значительные научные заделы и успешную практику адаптации к наземным условиям



Фото: russos.livejournal.com

Новосергиевская СЭС в Оренбургской области (45 МВт, 150 тыс. фотоэлементов на 92 га)



Фото: russos.livejournal.com

ют бывшие советские заводы, все три не имеют полного производственного цикла. Значительная часть технологических операций выполняется в Китае. В основном применяются ФЭП на основе кремния. Арсенид-галлиевые ФЭП не получили распространения по стоимостным показателям. Фактические экономические показатели работающих сетевых ФЭС показывают простую окупаемость от двух лет, что при существующем субсидировании обеспечивает быстрые темпы их развития.

5. Российская космическая энергетика имеет большой опыт, значительные научные заделы и успешную практику адаптации к наземным условиям. Перспективы её определяются новой программой развития ГК «Роскосмос» и созданием системы трансформации военных технологий для гражданских целей. ●

1. Бутузов В.А. Столетний опыт работы российских научных школ солнечного теплоснабжения // Энергия: экономика, техника, экология, 2019. №2. С. 16–29.
2. Сессии, съезды, конференции. Первое Всесоюзное совещание по гелиотехнике [Электр. текст]. Режим доступа: nashaucheba.ru. Дата обрац.: 20.04.2020.
3. Тарнижевский Б.В. Солнечный круг. Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского: Воспоминания старейших сотрудников / Б.В. Тарнижевский, И.Т. Аладьев и др. — М.: ЭНИН, 2000. 205 с.
4. Безруких П.П. Исторические этапы и перспективы развития возобновляемой энергетики России // Энергетическая политика, 2005. №5. С. 44–63.
5. «Квант»: энергия победы. — М.: Изд-во «МАКД», 2009. 184 с.
6. Сборник, посвящённый 100-летию Н.С. Лидоренко [Электр. текст]. АО «НИПИ «Квант». Режим доступа: prp-kvant.ru. Дата обрац.: 20.04.2020.
7. Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. Т. 1. Изд. 2-е. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. 119 с.
8. Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 315 с.
9. Стребков Д.С. Техно-экономические показатели солнечных электроустановок // Гелиотехника, 2018. №5. С. 43–48.
10. Daus Y.V., Kharchenko V.V. Evaluating the applicability of data on total solar radiation intensity derived from various of actinometric information. Applied Solar Energy. 2018. No. 3. Pp. 17–20.
11. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М., Майоров В.А. Исследование предельных тепловых и физико-энергетических характеристик фотоэлектрических преобразователей концентрированного солнечного излучения // Гелиотехника, 2017. №4. С. 5–10.
12. Попель О.С., Фортон В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире. — М.: Изд-во МЭИ, 2015. 450 с.
13. Тарасенко А.Б., Попель О.С., Киселёва С.В. Современное состояние фотоэнергетики в России и за рубежом // Гелиотехника, 2018. №3. С. 69–82.
14. Попель О.С., Тарасенко А.Б. Состояние и перспективы направления развития технологий фотоэлектрических преобразователей энергии / Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Мат. XI школы молодых учёных им. Э.Э. Шпильрайна. — Махачкала, 2019. С. 4–19.
15. Дегтярёв К.С. Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России // Окружающая среда и энерговедение, 2019. №1. С. 23–38.
16. Коломиец Ю.Г., Меньшиков А.А., Тарасенко А.Б. Влияние уровня инсоляции на качество электрической энергии и КПД преобразования для сетевых ФЭС // Гелиотехника, 2018. №3. С. 9–14.
17. Киселёва С.В., Попель О.С., Тарасенко А.Б. Оценка эффективности создания сетевых фотоэлектрических станций в некоторых районах Центральной Азии и Закавказья // Гелиотехника, 2017. №2. С. 13–18.
18. Фрид С. Е., Тарасенко А. Б. Использование фотобатарей для горячего водоснабжения. Опыт и перспективы // Альтернативная энергетика и экология, 2018. №16–18. С. 23–28.
19. Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии России» (ГИС ВИЭ) [Электр. текст]. Режим доступа: gisre.ru. Дата обрац.: 13.05.2017.
20. Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Киселёва С.В., Терехова Е.Н. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. — М.: ОИВТ РАН, 2010.
21. ООО «Энергоконтракт» [Электр. текст]. Режим доступа: energocontract-orenburg.ru. Дата обрац.: 20.04.2020.
22. Молчанова Р.А., Новосёлов И.В., Абдуллина Э.А., Закирова Г.Р. Эффективность солнечных электростанций на примере условий Республики Башкортостан // Энергобезопасность и энергосбережение, 2019. №4. С. 25–32.

References — see page 60.

Russian photovoltaic. Pp. 46–54.

Vitalij A. Butuzov, Doctor of Technical Sciences, Kuban State Agrarian University of I.T. Trubilin (Krasnodar city)

1. V.A. Butuzov. *Stoletnij opyt raboty rossijskikh nauchnykh shkol solnechnogo teplosnabzhenija* [Hundreds of years of experience in the work of Russian scientific schools of solar heat supply]. *Jenergiya: jekonomika, tehnika, jekologija* ["Energy: economics, technology, ecology" Magazine]. 2019. No. 2. Pp. 16–29.
2. *Sessii, #ezdy, konferencii. Pervoe Vsesojuznoe soveshhanie po geliotehnike* [Sessions, congresses, conferences. The first All-Union meeting on solar technology]. Web-source: nachaucheba.ru. Access data: April 20, 2020.
3. B.V. Tarnizhevskij. *Solnechnyj krug. Jenergeticheskij institut im. G.M. Krzhizhanovskogo: Vospominaniya starejsih sotrudnikov* [Solar circle. "Khrzhizhanovsky Power Engineering Institute" Stock Co.: Reminiscences of the oldest employees]. B.V. Tarnizhevskij, I.T. Alad'ev et al. RAO "EJES Rossii" ["Unified Energy Systems of Russia", Russian JSC]. Moscow. *JeN-IN* ["Khrzhizhanovsky Power Engineering Institute" Stock Co.]. 2000. 205 p.
4. P.P. Bezrukih. *Istoricheskie jetyapy i perspektivy razvitiya vozobnovljaemoj jenergetiki Rossii* [Historical stages and prospects for the development of renewable energy in Russia]. *Jenergeticheskaja politika* ["Energy policy" Magazine]. 2005. No. 5. Pp. 44–63.
5. "Kvant": *jenergiya pobedy* ["Quant": the energy of victory]. Moscow. *Izd-vo "MAKD"* ["MAKD" Publishing House]. 2009. 184 p.
6. *Sbornik, posvjashhennyj 100-letiju N.S. Lidorenko* [Collection dedicated to the 100th anniversary of N.S. Lidorenko]. AO "NPP "Kvant" ["Quant" Scientific and Production Enterprise", JSC]. Web-source: npp.kvant.ru. Access data: April 20, 2020.
7. D.S. Strebkov. *Matrichnye solnechnye jelementy* [Matrix solar cells]. Vol. 1. 2th edition. Moscow. *GNU VIJeSH* [State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Agricultural Electrification]. 2010. 119 p.
8. D.S. Strebkov, Je.V. Tver'janovich. *Koncentratory solnechnogo izluchenija* [Concentrators of solar radiation]. Moscow. *GNU VIJeSH* [Publishing House of the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Agricultural Electrification]. 2007. 315 p.
9. D.S. Strebkov. *Tehniko-jekonomicheskie pokazateli solnechnyh jelektrostanovok* [Technical and economic indicators of solar electrical installations]. *Geliotehnika* ["Solar technology" Magazine]. 2018. No. 5. Pp. 43–48.
10. Y.V. Daus, V.V. Kharchenko. Evaluating the applicability of data on total solar radiation intensity derived from various of actinometric information. *Applied Solar Energy*. 2018. No. 3. Pp. 17–20.
11. Ju.D. Arbutov, V.M. Evdokimov, V.A. Majorov. *Issledovanie predel'nyh teplovyh i fiziko-jenergeticheskikh harakteristik fotoelektricheskikh preobrazovatelej koncentrirovannogo solnechnogo izluchenija* [Investigation of the limiting thermal and physical-energy characteristics of photoelectric converters of concentrated solar radiation]. *Geliotehnika* ["Solar technology" Magazine]. 2017. No. 4. Pp. 5–10.
12. O.S. Popel', V.E. Fortov. *Vozobnovljaemaja jenergetika v sovremennom mire* [Renewable energy in the modern world]. Moscow. *Izd-vo MJeI* [Publishing House of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI")]. 2015. 450 p.
13. A.B. Tarasenko, O.S. Popel', S.V. Kiseleva. *Sovremennoe sostojanie fotojenergetiki v Rossii i za rubezhom* [The current state of the photovoltaic industry in Russia and abroad]. *Geliotehnika* ["Solar technology" Magazine]. 2018. No. 3. Pp. 69–82.
14. O.S. Popel', A.B. Tarasenko. *Sostojanie i perspektivy napravlenija razvitiya tehnologii fotoelektricheskikh preobrazovatelej jenerгии* [State and prospects for the development of technologies for photoelectric energy converters]. *Aktual'nye problemy osvoenija vozobnovljaemykh jenergoresursov: Mat. XI shkoly molodyh uchenyh im. Je.Je. Shpil'rajna* [Actual problems of development of renewable energy resources: Proc. of the XI School of Young Scientists named after E.E. Spielrain]. Mahachkala. 2019. Pp. 4–19.
15. K.S. Degtarev. *Sostojanie i territorial'naja organizacija fotovol'taicheskoi solnechnoi jenergetiki v Rossii* [State and territorial organization of photovoltaic solar energy in Russia]. *Ok-ruzhajushhaja sreda i jenergovedenie* ["Environment and Energy Science" Magazine]. 2019. No. 1. Pp. 23–38.
16. Ju.G. Kolomic, A.Ja. Men'shikov, A.B. Tarasenko. *Vlijanie urovnja insoljacji na kachestvo jelektricheskoi jenerгии i KPD preobrazovaniya dlja setevyh fotoelektricheskikh stancij* [Influence of the level of insolation on the quality of electrical energy and conversion efficiency for network photovoltaic power plants]. *Geliotehnika* ["Solar technology" Magazine]. 2018. No. 3. Pp. 9–14.
17. S.V. Kiseleva, O.S. Popel', A.B. Tarasenko. *Ocenka jeffektivnosti sozdaniya setevyh fotoelektricheskikh stancij v nekotoryh rajonah Central'noj Azii i Zakavkaz'ja* [Evaluation of the effectiveness of creating network photovoltaic stations in some areas of Central Asia and the Caucasus]. *Geliotehnika* ["Solar technology" Magazine]. 2017. No. 2. Pp. 13–18.
18. S.E. Frid, A.B. Tarasenko. *Ispol'zovanie fotobatarej dlja gorjachego vodosnabzhenija. Opyt i perspektivy* [Use of photo batteries for hot water supply. Experience and prospects]. *Alternativnaja jenergetika i jekologija* ["Alternative energy and ecology" Magazine]. 2018. No. 16–18. Pp. 23–28.
19. *Geoinformacionnaja sistema "Vozobnovljaemye istochniki jenerгии Rossii" (GIS VIJe)* ["Renewable Energy Sources of Russia" Geographic Information System (GIS RES)]. Web-source: gisre.ru. Access data: May 13, 2017.
20. O.S. Popel', S.E. Frid, Ju.G. Kolomic, S.V. Kisel'jova, E.N. Terehova. *Atlas resursov solnechnoi jenerгии na territorii Rossii* [The Atlas of solar energy resources in Russia]. Moscow. *OIVT RAN* [Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences]. 2010.
21. OOO "Jenergokontarkt" ["Energocontract", LLC]. Web-source: energocontract-orenburg.ru. Access data: April 20, 2020.
22. R.A. Molchanova, I.V. Novoselov, Je.A. Abdullina, G.R. Zakirova. *Jefferektivnost' solnechnyh jelektrostanov na primere uslovij Respubliki Bashkortostan* [The efficiency of solar power plants on the example of the conditions of the Republic of Bashkortostan]. *Jenergobezopasnost' i jenergosberezhenie* ["Energy security and energy saving" Magazine]. 2019. No. 4. Pp. 25–32.