



РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

4/2023 И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ



Председатель Комитета
Государственной Думы по развитию
Дальнего Востока и Арктики
Николай Михайлович Харитонов



- Главная цель нашей работы — повышение качества жизни людей
- Ежегодная премия «За развитие Дальнего Востока и Арктики»
- 105-летие ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Содержание



Государственное регулирование 7

- Стратегические ориентиры развития Дальнего Востока России8
- Развитие социальной инфраструктуры в арктических регионах — главный приоритет государственной политики.....10
- Энергетика и ЖКХ России готовы к отопительному сезону12
- Опорные населенные пункты Арктической зоны Российской Федерации14



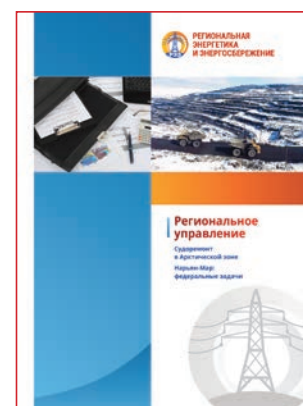
Гость редакции 17

- Н. М. Харитонов. Главная цель нашей работы — повышение качества жизни людей18
- Е. А. Козлова. ООО «Пласткор»: инновационные решения для повышения качества асфальтобетонных смесей24



Межрегиональное партнерство «Устойчивое развитие Дальнего Востока и Арктики» 29

- Первое заседание оргкомитета IX Международной научно-практической конференции «Дальний Восток и Арктика – 2024» 30
- Инициирована ежегодная премия «За развитие Дальнего Востока и Арктики»34
- Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН отметил 105-летие.....36
- Фоторепортаж38
- С. В. Иванов, В. И. Кузнецов, С. Н. Снегуров. Малая сетевая энергетика на основе микро-АЭС и когенерационных тепловых машин нового поколения — ключ к энергообеспечению удаленных территорий40
- М. З. Шварц. АЗВ5 солнечные элементы: перспективные технологии и решения.....44
- Н. В. Глебова, А. А. Нечитайлов, А. О. Краснова, А. Г. Касцова, А. О. Пелагейкина. Материалы и устройства водородной энергетики.....45
- А. Т. Бурков. Малая распределенная энергетика: термоэлектрические генераторы.....46
- А. Г. Люблинский. Силовые полупроводниковые приборы на основе кремния для преобразовательной и импульсной техники47
- А. А. Лебедев. Разработка приборов полупроводниковой электроники на основе SiC в ФТИ им. А. Ф. Иоффе48



- В. П. Журавель. Об итогах председательства России в Арктическом совете (2021–2023 годы).....49
- С. М. Романов. Стратегические проекты низкоуглеродной энергетики России50
- О. В. Вольф. Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН и космическая отрасль Российской Федерации.....52
- Д. А. Малков. Новые подходы к развитию энергетики удаленных территорий Дальнего Востока России и Арктической зоны Российской Федерации54

Региональное управление 57

- Судоремонт в Арктической зоне: нужны мощности.....58
- Федеральные задачи маленького города в Арктике60
- ЖКХ в северных муниципальных образованиях: насущные вопросы и поиск путей их решения64



Совет по приоритету научно-технологического развития «Энергетика» 67

- Предложен экономичный способ малотоннажного производства сжиженного природного газа.....68



Трибуна энергоэффективности и энергосбережения 73

- Итоги Шестого международного форума «Российская энергетическая неделя»74
- Итоги Молодежной стратегической сессии «Арктика как зона перспективного сотрудничества стран БРИКС»78
- XII Петербургский международный газовый форум как отражение новой реальности80
- Российский нефтегазовый технический конгресс (РНТК) прошел в Москве84
- И. С. Кожуховский. Итоги АПБЭ и взгляд в будущее.....86

0+ РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭНЕРGETИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ №4 2023
 Учредитель-издатель ООО «Системный Консалтинг»
 Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-51099
 выдано 14.09.2012 г. Роскомнадзор
 Адрес редакции: 125319, г. Москва, Ленинградский просп., д. 64, стр. 2, эт. 6, оф. 40
 тел. +7 495 662 97 49, www.s-kon.ru, www.energy.s-kon.ru
 finance@s-kon.ru, energymoscow@yandex.ru, info@s-kon.ru
 Отпечатано в типографии ООО «Вива-Стар»
 Адрес: г. Москва, ул. Электрозаводская, д. 20, стр. 3.
 Тел. +7 (495) 780-67-06, www.vivastar.ru

Номер подписан в печать 3.12.2023
 Вышел из печати 8.12.2023
 Тираж 6 000 экз.
 Объем – 92 полосы.
 Редакция не несет ответственности за достоверность информации, содержащейся в рекламных объявлениях.
 Редакция не всегда разделяет мнение авторов публикуемых материалов.
 Редакция вправе публиковать любые при- сланные на ее адрес материалы.

Директор-издатель: Тамара Мордасова
 Научные консультанты: Георгий Петрович Кутовой
 Дмитрий Анатольевич Парамонов
 Руководители проектов: Анна Панкратова, Ирина Викторова, Лена Курбаналиева
 Компьютерная верстка: Алёна Виславская
 Корреспондент: Татьяна Сазонова
 Фото: Елена Альмакаева
 Используются фото редакции, сайты images.google.ru, arctic.s-kon.ru, energy.s-kon.ru

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН отметил 105-летие

В конце октября — начале ноября 2023 года Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН в Санкт-Петербурге (далее — ФТИ им. А. Ф. Иоффе) отметил свой 105-летний юбилей. Программа празднования была весьма насыщенной.



Юбилейные торжества открыла состоявшаяся 31 октября 2023 года Междисциплинарная научно-практическая конференция «Низкоуглеродная энергетика полного цикла: производство, накопление, коммутация». На ее открытии вслед за вступительным приветствием к участникам и гостям конференции директора ФТИ им. А. Ф. Иоффе, члена-корреспондента РАН С. В. Иванова прозвучали адресованные коллективу Института приветствия и поздравления с юбилеем заместителя Председателя Правительства Российской Федерации по вопросам топливно-энергетического комплекса А. В. Новака, председателя Комитета Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации по науке, образованию и культуре Л. С. Гумеровой, Председателя Правительства Республики Саха (Якутия) К. Е. Бычкова.

В пленарном заседании юбилейной Конференции «Пути развития эффективной низкоуглеродной отечественной энергетики — инновационные технологии, новые подходы и решения», модератором которого выступил директор консультационной компании ООО «Гекон», член Научного совета при Совете Безопасности РФ М. Н. Григорьев, приняли участие сенатор Российской Федерации, член Комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре А. И. Русаков, первый заместитель председателя Комитета Государственной Думы РФ по экономической политике, председатель Комиссии по опережающему научно-техническому и социально-экономическому развитию РФ при Бюро Высшего совета «Единой России» Д. Б. Кравченко, заместитель генерального директора Российского энергетического агентства Минэнерго России С. М. Романов, директор ФТИ им.

А. Ф. Иоффе С. В. Иванов, директор направления научно-технических исследований и разработок ГК «Росатом» В. И. Ильгисонис, директор департамента инновационного развития ПАО «РусГидро» Д. А. Малков, руководитель направления по энергетике и ЖКХ АО «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики» М. М. Губанов, заместитель директора департамента перспективных программ и проекта «Сфера» ГК «Роскосмос» О. В. Вольф, руководитель Межрегионального научно-технологического, делового и образовательного партнерства «Устойчивое развитие Арктической зоны РФ» Т. И. Мордасова, а также руководители ведущих компаний и предприятий, выполняющих инновационные разработки в сфере накопления и коммутации электроэнергии большой мощности, которые обсудили стратегические проекты низкоуглеродной энергетики в Российской Федерации и основные пути ее опережающего развития, в том числе и на удаленных территориях и в Арктической зоне страны.

Вторая часть конференции «Развитие низкоуглеродной энергетики полного цикла в разработках ФТИ им. А. Ф. Иоффе с партнерами», также проходившая 31 октября 2023 года и объединившая ученых, специалистов-практиков, руководителей предприятий, компаний-партнеров, работающих совместно с учеными ФТИ им. А. Ф. Иоффе, была посвящена обсуждению ключевых направлений развития современной низкоуглеродной энергетики полного цикла. Действовало пять секций: «Управляемый термоядерный синтез», «Возобновляемая и водородная энергетика», «Малая распределенная энергетика для использования на удаленных территориях, в космосе и под водой», «На-

копители энергии», «Силовые полупроводниковые коммутаторы», в каждой из которых была отражена проблематика исследований ученых Физтеха.

Юбилейные торжества продолжились 1 ноября 2023 года открытием на главном здании ФТИ им. А. Ф. Иоффе мемориальной доски, посвященной академику, лауреату Нобелевской премии по физике, директору Института в 1987–2003 годах Жоресу Ивановичу Алфёрову — великому Человеку, Ученому, Наставнику и Патриоту, отдавшему родному Физтеху 50 лет своей насыщенной творческой жизни. Затем состоялось торжественное заседание Ученого совета ФТИ им. А. Ф. Иоффе, приуроченное к его 105-летию, на котором присутствовали сотрудники и гости Института.

Открывая заседание, директор Института С. В. Иванов рассказал о крупных научных и технологических достижениях Физтеха за прошедшие 5 лет с момента празднования его 100-летия в 2018 году. Он отметил основные достижения в научной, организационной, образовательной и инновационной деятельности Института, развитии молодежных лабораторий, укреплении его научно-технологической инфраструктуры путем создания «Центра современной импортозамещающей гетероструктурной ЭКБ на базе ФТИ им. А. Ф. Иоффе» в рамках федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента электронной промышленности» и о ключевых направлениях дальнейшего развития одного из ведущих научно-технологических центров России и мира.

В торжественном мероприятии принял участие президент Российской академии наук академик РАН Г.Я. Красников, который в своем выступлении высоко оценил научные заслуги коллектива Института и рассказал о поддержке на уровне Российской академии наук ряда важнейших направлений исследований, проводимых ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.

Прозвучали приветствия представителей органов законодательной и исполнительной власти Российской Федерации, Администрации Санкт-Петербурга, руководства научных институтов РАН, высших учебных заведений, находящихся в тесных партнерских отношениях с ФТИ им. А.Ф. Иоффе, государственных корпораций, холдингов и промышленных предприятий. Наиболее отличившимся в научных разработках и управлении Институту сотрудниками были вручены благодарности Комитета Совета Федерации РФ по науке, образованию и культуре и Комитета Госдумы РФ по энергетике.

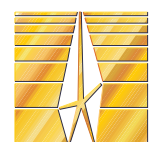


Коллективу Института была объявлена благодарность губернатора Санкт-Петербурга А. Д. Беглова. Почетный документ директору Института С. В. Иванову вручила первый заместитель председателя Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга И. Ю. Ганус, которая также вручила грамоты Комитета с благодарностью за многолетний труд и вклад в развитие высшего образования и научного потенциала Санкт-Петербурга целому ряду сотрудников ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН.

Были объявлены имена недавно избранных почетных членов Института 2023 года. Ими стали иностранный член Российской академии наук, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси Н.А. Поклонский и академик РАН Ю.Н. Кульчин, председатель Дальневосточного отделения РАН, вице-президент РАН.

Со 105-летием поздравила Физтех Т. И. Мордасова, руководитель Межрегионального научно-технологического, делового и образовательного партнерства «Устойчивое развитие Арктической зоны Российской Федерации», директор-издатель журнала «Региональная энергетика и энергосбережение», генеральный директор ООО «Системный консалтинг», и пригласила всех присутствующих принять участие в IX Международной научно-практической конференции «Дальний Восток и Арктика: устойчивое развитие», которая пройдет в Москве 5–6 марта 2024 года.

Все участники торжественного заседания Ученого совета были единодушны в том, что Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе находится на этапе своего динамического развития в области широкого спектра фундаментальных физических исследований и прикладных научно-технологических НИОКР, важных для опережающего инновационного развития страны.



Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН отметил 105-летие



Малая сетевая энергетика на основе микро-АЭС и когенерационных тепловых машин нового поколения – ключ к энергообеспечению удаленных территорий

Свое видение по созданию малой эффективной низкоуглеродной энергетике полного цикла для энергообеспечения удаленных территорий РФ ФТИ им. А. Ф. Иоффе начал высказывать на всех доступных площадках с 2021 года, в т.ч. в ряде статей на страницах данного издания.



Член-корр. РАН, директор ФТИ им. А. Ф. Иоффе
Сергей Викторович Иванов



Доктор физ.-мат. наук, зам. руководителя ОФПАФА ФТИ им. А. Ф. Иоффе
Виктор Иосифович Кузнецов



Ведущий инженер лаб. Физической газодинамики ФТИ им. А. Ф. Иоффе
Сергей Николаевич Снегуров

По мере обмена мнениями в экспертном сообществе выявились важные критерии и принципы создания такой энергетике:

- высокая энергетическая рентабельность (EROI — energy return on investment — выше 20);
- высокая удельная плотность энергии (выше 100 Вт/см³);
- низкий уровень шума (до 60 дБ на расстоянии 1 м);
- низкое содержание окислов азота (ниже 15 ppm);
- низкое содержание окислов углерода (ниже 10 ppm);
- управление в «безлюдном режиме», по удаленному доступу, высокая автономность;
- высокий моторесурс (выше 40 000 часов непрерывной работы);
- анаэробность — возможность работать в отсутствие кислорода (воздуха);
- модульная конструкция, позволяющая балансировать суточные, недельные, сезонные колебания нагрузки;
- мобильность, позволяющая осуществлять перевозку, в т.ч. железнодорожным, авто- и авиатранспортом и быстрый монтаж, демонтаж;
- высокая защищенность объекта генерации (в т.ч. монтаж под землей, под водой), высокая безопасность эксплуатации;
- наличие широкой линейки генераторов по мощности, что позволяет работать с высоким коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ) (не менее 0,9);
- способность работать на различных видах топлива, в т.ч. местных.

Возможно, этот список еще пополнится и другими критериями, однако уже и данный перечень в существенной степени ограничивает перечень методов генерации электроэнергии, удовлетворяющий данным критериям.

На сегодняшний день за развитием подходов к созданию новой энергетике пристально следит Правительство РФ, о чем свидетельствует Приветственное письмо заместителя Председателя Правительства РФ А. В. Новака к участникам Междисциплинарной научно-практической конференции «Низкоуглеродная энергетика полного цикла: производство, накопление, коммутация», посвященной 105-летию юбилею ФТИ им. А. Ф. Иоффе.

Конференция дополнительно выявила явную тенденцию в развитии мировой энергетике — создание малой сетевой энергетике на базе атомных станций малой и сверхмалой мощности (АСММ и АССММ), с использованием новых тепловых машин прямого преобразования тепла в электричество. Эта энергетика будет создаваться и уже создается в развитых странах не вместо «большой» энергетике, а вместе с ней, компенсируя уязвимости последней, в частности:

- большие потери в цикле производства и потребления электроэнергии;
- территориальная неравномерность генерации, что требует строительства линий передач электроэнергии и тепла, в которых неизбежны большие потери, а также издержки на их содержание и ремонт;
- уязвимость от террористических атак.

В качестве тепловых машин прямого преобразования, отвечающих перечисленным выше критериям, ФТИ им. А. Ф. Иоффе предлагает разрабатывать высокотемпературные термоэмиссионные преобразователи (ТЭП) нового поколения (модернизированный вариант того, что изображено на рис. 1) и машины роторно-лопастного типа с внешним подводом теплоты (по циклу Стирлинга) (РЛДВПТ) (рис. 2).

В последние два десятилетия в США, развитых странах Европы и Китае возобновился интерес к электрогенерирующим агрегатам с внешним подводом тепла подобного типа. В частности, анализируя результаты научных публикаций и обзоров зарубежных авторов по термоэмиссионному преобразованию энергии (например, M. F. Campbell et al. Review. Adv. Sci. 2021, 8, 2003812), можно сделать вывод, что предлагается использовать ТЭП с очень маленькими межэлектродными зазорами (~1 мкм), со сложной геометрией и структурой электродов, изготавливаемых из широкого спектра материалов, с целью увеличения эффективности их электронной эмиссии. Но при этом предлагается использовать относительно невысокие температуры эмиттеров и, соответственно, коллекторов. Можно ожидать, что такие преобразователи будут иметь небольшой ресурс работы вследствие износа и разрушения электродов и к тому же обладать невысокой плотностью энергии (удельной мощностью).

В свою очередь предложения ФТИ им. А. Ф. Иоффе в плане развития высокоэффективных технологий



ЯЭУ ТЭУ-5 «Тополь»
Рис. 1. Термоэмиссионная ЯЭУ «Тополь» (1987 г.)

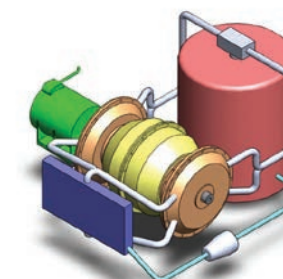


Рис. 2. РЛДВПТ по циклу Стирлинга

ТЭП основаны на реализации бесстолкновительного (кнудсеновского) режима ТЭП, в отличие от дугового, и повышении разницы работ выхода электродов с использованием паров щелочных и щелочноземельных металлов, а также на существенном повышении температуры эмиттера. Это позволяет заметно увеличить удельную мощность ТЭП ($W_{эл} \sim 10...50 \text{ Вт/см}^2$), приблизить КПД ТЭП к КПД цикла Карно ($\eta \sim 20...30\%$), а также, за счет увеличения последнего и температуры коллектора, радикально уменьшить размеры холодильника-излучателя, использующего отвод тепла излучением (например, в космосе). При этом оказывается возможным сохранить заметно больший межэлектродный промежуток, что позволяет увеличить ресурс работы ТЭП до нескольких десятков тысяч часов. Эти предложения базируются на оригинальных теоретических и экспериментальных разработках, выполненных в институте за последние 25 лет (в т.ч. В. И. Кузнецов, А. Я. Эндер. ЖТФ, 1983, 53 (12), 2329; V. I. Kuznetsov et al. J. Appl. Phys. 2018, 124 (4), 044502), результаты которых суммированы в таблице 1 в сопоставлении с экспериментами с традиционным дуговым режимом.

Еще одно важное преимущество кнудсеновского ТЭП заключается в открытой в ФТИ им. А. Ф. Иоффе возможности создания на его основе генераторов

Таблица 1. Сравнительные характеристики ТЭП разных типов

Экспер./ Теор.	Тип электронного разряда	температура		Удельная мощность	Площадь эмиттера на 100 кВт	КПД	Площадь ХИ для ЯЭУ на 100 кВт
		эмиттера	коллектора				
		T_e, K	T_c, K	$W_{эл}, \text{ Вт/см}^2$	$S_{эл}, \text{ м}^2$	$\eta, \%$	$S_{ХИ}, \text{ м}^2$
Эксперимент	дуговой	1900	880	2	5,0	5	140
Эксперимент	дуговой	1900	880	2-3	4,5	10	67
Эксперимент	кнудсеновский	2250	1400	10-15	1,0	20	4,5
Теория	кнудсеновский	2400	1450	20	0,5	25	3,0
Теория	кнудсеновский	2600	1500	50	0,2	30	2,0



Рис. 3. Энергоустановка на 100 кВт в КНР



Рис. 4. Микрореактор MARVEL

импульсного напряжения. Идея основана на экспериментально обнаруженном и теоретически обоснованном физическом явлении — развитии в кнудсенском диоде при определенных условиях электронной неустойчивости, приводящей к резкому обрыву тока (например, В. И. Кузнецов и др. ЖТФ, 2019, 89 (10), 1535; V. I. Kuznetsov et al., J. Appl. Phys. 2019, 125 (18), 183301).

Помимо наземных применений, о которых речь пойдет ниже, мы полагаем, что на сегодняшний день высокотемпературному ТЭП, нагреваемому ядерным реактором (ЯР), нет альтернативы в плане получения в космосе мощных и компактных источников электрической энергии и в ближайшей перспективе не предвидится. Только такие установки позволят, в частности, обеспечить создание компактных космических электроустановок МВт мощностей, гибридных автономных мобильных энергосистем на удаленных территориях, а также на поверхности Луны и других планет с высоким ресурсом и КПД.

В разработках двигателей Стирлинга (ДС) лидируют страны с большими, чем в России, инвестиционными возможностями (США, Китай и страны Европы). Одним из недавних достижений Китая в разработке двигателей различных типов является создание самого мощного в мире на сегодняшний день ДС (подобного представленному на рис. 3), применяемого в силовых установках подводных лодок. Разработанный НИИ № 711 Китайской государственной судостроительной корпорации (CSSC) базовый прототип первого китайского ДС с большим диаметром цилиндра успешно прошел эксплуатационные испытания, продемонстрировав номинальную мощность 320 кВт с КПД 40%.

Принципиальным моментом для разработки автономных и эффективных источников энергии на базе ТЭП и ДС является создание безопасных микро-ЯР с большим ресурсом, способных служить источниками тепла. В Национальной лаборатории Айдахо (INL) создан полномасштабный прототип энергетической установки с электрическим нагревом реактора — Microreactor Applications Research Validation and Evaluation (MARVEL), который поможет проверить окончательный дизайн демонстрационного микрореактора MARVEL и сможет быть введен в эксплуатацию в течение следующих 2 лет (рис. 4). Другой прототип, названный «Испытатель аппарата первичного теплоносителя» (PCAT), будет использоваться для подтверждения результатов моделирования, что позволит команде MARVEL затем применить инструменты моделирования и симуляции для обоснования безопасности микрореакторов. PCAT был изготовлен всего за 9 месяцев, состоит из нескольких компонентов из нержавеющей стали, включая четыре двигателя Стирлинга, которые будут вырабатывать электроэнергию с полной мощностью 100кВт через первичный и промежуточный насосы теплоносителя, и имеет вес более 900 кг.

Проект MARVEL, финансируемый Министерством энергетики США, будет использоваться для тестирования микрореакторов, разработки процессов утверждения нормативных документов, оценки систем дистанционного мониторинга и разработки технологий автономного управления.

NASA и Лос-Аламосская национальная лаборатория успешно разработали и продемонстрировали микрореактор для применения в космосе за три года от начала проектирования, в 2015–2018 годах. Это обошлось им в 20 млн долл., используя имеющуюся научно-исследовательскую инфраструктуру Министерства энергетики США, что по финансированию и срокам на порядки меньше, чем для разработки и создания традиционных крупных атомных станций. Подобными проектами занимаются и другие компании, например, Westinghouse с микрореактором eVinci, использующим технологию тепловых труб для охлаждения.

Такого рода ядерные батареи, оснащенные тепловыми машинами прямого преобразования (ТМПП), о которых говорилось выше, или гибридными машинами на их основе, идеально подходят для создания энергетической и экологической устойчивости во всех секторах экономики, обеспечивая стабильные, надежные и безопасные источники безуглеродной электро-

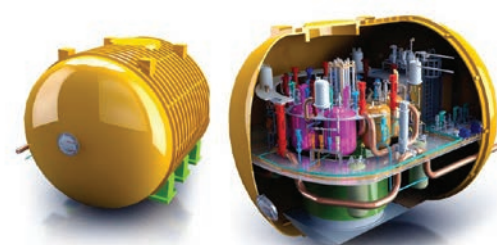


Рис. 5. Проект реакторной установки «Шельф-М»

энергии и тепла, который может быть размещен именно там, где это необходимо.

В Российской Федерации пилотный проект АСММ на базе реакторной установки «Шельф-М» планируется реализовать в 2030 году со вводом станции в промышленную эксплуатацию на одной из выбранных в 2023 году площадок в удаленных регионах страны. Работа по его созданию является частью федерального проекта «Новая атомная энергетика, в том числе малые реакторы для удаленных территорий» (в составе Комплексной программы РТТН) (рис. 5). Разработка техпроекта микрореактора «Шельф-М» должна быть завершена к концу 2024 года. Таким образом, можно утверждать, что Россия находится на уровне лидирующих стран по созданию АСММ, но заметно отстает от них в оснащении этих микрореакторов системами ТМПП для удовлетворения критериям, указанным нами в начале.

ФТИ им. А. Ф. Иоффе предлагает развернуть работу по проектированию и строительству ТМПП параллельно с разработкой АСММ и АССММ. Для реализации такой задачи Институт обладает коллективом, имеющим опыт расчета, проектирования и изготовления ТМПП на базе цикла Стирлинга. На рис. 6 показан пример действующей опытной модели автономной энергетической установки на основе РЛДВПТ в контейнерном исполнении.

Сравнение экономических показателей различных вариантов автономных энергогенерирующих агрегатов (ЭГА) в таблице 2 показывает преимущество РЛДВПТ по сравнению с другими преобразователями.

Среди основных областей применения РЛДВПТ, включая и РЛДВПТ с АСММ, можно отметить: промышленность, сельское хозяйство, жилищно-коммунальное хозяйство удаленных территорий, МО и МЧС, утилизация попутного газа. В 2021 году ФТИ им. А. Ф. Иоффе предложил энергетическую стратегию развития Арктики и районов Крайнего Севера РФ до 2030 года (С. В. Иванов, В. И. Кузнецов, РЭЭ, 2021, 2, 58) на базе создания сетевой энергетической инфраструктуры, включающей «базовые» гибридные станции (АССММ с ТМПП двух типов) и «дочерние» (РЛДВПТ, использующие местное топливо и/или солнечное излучение).

Предлагаемая сетевая стратегия обеспечивает:

- эффективную выработку электроэнергии, минимизирует затраты на экологию, повышает качество жизни и делает произведенную продукцию импортзамещающей и конкурентоспособной на рынке;



Рис. 6. Опытная модель РЛДВПТ в контейнерном исполнении

- большой ресурс автономной работы, возможность дистанционного управления и обеспечения электрической энергией СМП и удаленных территорий;
- безопасность и неустойчивость энергетической системы страны и охрану ее периметра в малонаселенных регионах и в сложных климатических условиях.

Перспектива также обладает большим экспортным потенциалом: кроме удаленных регионов и АЗ РФ, стратегия сооружения АССММ «под ключ» востребована в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, Африке, Латинской Америке. Для этих рынков характерна относительная неразвитость инфраструктуры, удаленность объектов и наличие большого количества островных территорий.

Сегодня эффективная низкоуглеродная сетевая энергетика является основой поступательного и, при ее достаточном количестве, опережающего социально-экономического развития страны, обеспечения промышленности и граждан. Россия продолжает модернизацию энергокомплекса, в том числе атомных мощностей. Эта работа, которая осуществляется с учетом современных трендов цифровизации и замещения импортного оборудования, должна приобрести дополнительное ускорение. Доля низкоуглеродной электрогенерации в российской энергетике составляет уже около 40%. В перспективе, с учетом роста доли малой атомной генерации, она будет только расти.

Таблица 2. Сравнение экономических показателей вариантов ЭГА

Автономные ЭГА	Срок внедрения «под ключ», мес.	Срок окупаемости, лет	Себестоимость производимой электрической энергии для РФ, руб./кВт·ч
Бензогенераторы	1–2	Не окупается	6,5–7,8
Дизельгенераторы	1–2	6–10	3,2–3,5
Газопоршневые	10–14	4–5	0,3–0,4
Газотурбинные	12–18	6–7	0,25
Микротурбинные	10–14	4–5	0,30
РЛДВПТ	1–2	1	0.6 (без учета утилизации тепла)
			0.01 (с когенерацией)

АЗВ5 солнечные элементы: перспективные технологии и решения

Солнечные элементы (СЭ) на АЗВ5 гетероструктурах на протяжении последних десятилетий удерживают все абсолютные рекорды по эффективности прямого преобразования лучистой энергии в электричество. Многопереходные (МП) СЭ с широкой спектральной чувствительностью являются неотъемлемой частью космических солнечных батарей (СБ) и наземных модулей с концентраторами излучения. Технологические приемы изготовления отдельных субэлементов находят применение в системах преобразования лазерного излучения (ЛИ).



К.ф.-м.н, в.н.с., заведующий лабораторией фотоэлектрических преобразователей ФТИ им. А. Ф. Иоффе
Максим Зиновьевич Шварц

В ФТИ им. А. Ф. Иоффе разрабатываются СЭ для преобразования концентрированного космического солнечного излучения с КПД более 35% (100–500 крат). Для наземных применений предлагаются решения по концентраторным фотоэлектрическим модулям, в том числе гибридного типа с повышенной энерговыработкой за счет преобразования прямой (концентраторным АЗВ5 контуром) и диффузной (планарным Si контуром) компонент солнечного излучения.

Успехи в области технологий и архитектур для МП СЭ дало импульс развитию фотопреобразователей (ФП) мощного ЛИ. Основным критическим моментом для таких лазерных ФП является согласование параметров материала и структуры с длиной волны преобразуемого ЛИ. Новые ростовые и постростовые технологии позволили предложить целый набор ФП, эффективно преобразующих ЛИ в диапазонах длин волн 450–650 нм (GaInP), 700–900 нм (GaAs), 900–1300 нм (ФП на основе метаморфных GaInAs структуры) и 1350–1700 нм (GaSb, Ge и GaInAs/InP). Разработаны GaAs и GaInAs ФП мощного ЛИ с КПД более 62% и 55% для длин волн излучения 809 и 1064 нм соответственно.

Все эти разработки сопровождаются новыми решениями по диагностическим методам и специализированному экспериментальному оборудованию, широко используемому научно-исследовательскими лабораториями и промышленными предприятиями в РФ и за рубежом.



Направление «Солнечные элементы на основе Ge и АЗВ5 полупроводниковых эпитаксиальных гетероструктур» в ФТИ им. А. Ф. Иоффе развивается с 50-х годов прошлого столетия. В Институте были созданы первые GaAs фотоэлементы, имеющие лучшую температурную стабильность параметров по сравнению с кремниевыми приборами. Последующие разработки GaAs СЭ были перенесены в НПО «Квант», где изготавливались СБ для аппаратов «Венера-4» (1967 год), «Луноход-1» (1970 год) и «Луноход-2» (1973 год).

Созданные впервые в мире в ФТИ им. А. Ф. Иоффе гетероструктуры AlGaAs-GaAs (группа Ж. И. Алфёрова, 1969 год), в которых удалось обеспечить идеальные условия для фотогенерации, открыли новую страницу в фотоэнергетике. Гетеро-СЭ показали высокую радиационную стойкость, что определило их применение на орбитальной станции «Мир», для которой в НПО «Квант» по технологии ФТИ им. А. Ф. Иоффе была изготовлена СБ площадью 70 м² с AlGaAs/GaAs СЭ, ознаменовав тем самым переход к гетероструктурной солнечной энергетике.

Значимым этапом развития АЗВ5 гетероструктур в ФТИ им. А. Ф. Иоффе является научно-технологическое сопровождение технологических работ в АО «Сатурн» (г. Краснодар) с выходом на промышленный выпуск космических СЭ в 2012 году. КПД СЭ на основе GaInP/GaAs/Ge структуры составляет 28–29% (AM0).

Материалы и устройства водородной энергетики

Водородная энергетика как область электрохимической энергетики в современном мире приобретает новое звучание. Отсутствие углеродных выбросов и высокая энергоёмкость водорода определяют ее привлекательность. Открытие новых материалов с качественно новыми функциональными свойствами обуславливает большой ее потенциал.



Глебова Надежда Викторовна, с.н.с, к.ф.-м.н.,
Нечитайлов Андрей Алексеевич, в.н.с., д.т.н.,
Краснова Анна Олеговна, с.н.с., к.х.н.,
Касцова Ангелина Геннадьевна, м.н.с.,
Пелагейкина Анна Олеговна, лаборант

транспорт. Часть протонпроводящего полимера содержится в форме отдельных кластеров, что предотвращает блокирование поверхности Pt полимером. Такая структура позволяет использовать практически всю поверхность Pt. Достигнута величина удельной площади электрохимически активной поверхности Pt в электроде, близкая к теоретической. За счет использования сокатализа в медиаторных системах, пористой структуры с низким диффузионным сопротивлением достигнута плотность мощности в 1 Вт/см² при загрузке Pt от 0,1 мг/см².

- Созданы фундаментальные научные основы стабилизации компонентов мембранно-электродных блоков с протонообменной мембраной за счет использования защитных слоев, наполненных полимеров и поверхностных соединений с использованием 2D (графеновых) и 3D (политетрафторэтилен и пр.) материалов.
- Создан барьерный слой из малослойного графена и/или политетрафторэтилена на протонпроводящей мембране типа Nafion. Это обеспечивает длительную целостность мембраны, блокирует проникновение в нее ионов и частиц металлического катализатора.

Практической реализацией стали:

- мембранно-электродные блоки с увеличенной до 120 °С рабочей температурой. Такая рабочая температура позволяет интенсифицировать электрокатализ и уменьшить влияние каталитических ядов, снижает требования к чистоте реагентов: топлива и окислителя;
- электролизер для электрохимического получения водорода и кислорода из воды с существенно увеличенным сроком службы.

Наши достижения по характеристикам находятся на уровне мировых разработок и превосходят их в некоторых случаях. Имеют высокую готовность к внедрению в промышленность.



Фото мембранно-электродного блока

Основными проблемами современной водородной энергетики являются увеличение эффективности преобразования энергии, обеспечение стабильности функционирования материалов и устройств, долговечности, расширение условий функционирования.

Наша группа под руководством д.т.н. А. А. Нечитайлова в сотрудничестве со специалистами из различных организаций на протяжении длительного времени занимается фундаментальными исследованиями и прикладными разработками новых материалов и устройств водородной энергетики, таких как топливные элементы и электролизеры воды с протонообменной мембраной. Основной упор в работе сделан на использование отечественных материалов и создание оригинальных технологий с целью развития независимой, самодостаточной энергетической структуры в области водородной энергетики.

К основным нашим достижениям последнего времени можно отнести следующие.

- Разработан катализатор с особой наноструктурой, включающей длинные углеродные нанотрубки, покрытые слоем протонпроводящего полимера, что обеспечивает эффективный ионный транспорт во всем объеме электрода. Комбинация макро- и микропор обеспечивает эффективный массовый

Малая распределенная энергетика: термоэлектрические генераторы

Современная технология термоэлектрического преобразования связана с именем Абрама Фёдоровича Иоффе, под руководством которого была разработана теория термоэлектрического преобразования энергии и созданы первые термоэлектрические генераторы и холодильники.



Доктор физ.-мат. наук, заведующий лабораторией физики термоэлементов ФТИ им. А. Ф. Иоффе Александр Трофимович Бурков

Термоэлектрические генераторы (ТЭГ) являются полностью твердотельными приборами и преобразуют поток тепла в электрический ток без промежуточной стадии преобразования тепла в механическую энергию. Их отличает от других типов генераторов широкий диапазон генерируемой мощности; может быть использован любой источник тепла, от дров до атомного реактора; широкий диапазон рабочих температур от криогенных температур до 2000 °С; высокая надежность и возможность длительной работы без обслуживания (более 20 лет).

Важной характеристикой ТЭГ является эффективность преобразования тепла в электроэнергию. Эффективность зависит от свойств материалов, из которых изготавливаются ветви термоэлементов, и от конструкции ТЭГ. Термоэлектрическое качество материала ветвей характеризуется параметром термоэлектрической эффективности $ZT = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa} T$, где α , σ и κ коэффициенты термоЭДС, электропро-

водности и теплопроводности соответственно. Этот параметр сильно зависит от температуры, а термоэлементы ТЭГ находятся в условиях большого перепада температур: от T_h на горячей стороне, до T_c на холодной стороне. Поэтому энергетическую эффективность материала лучше характеризует усредненный по рабочему интервалу температур параметр ZT : $ZT = \frac{1}{T_h - T_c} \int_{T_c}^{T_h} ZT dT$. Максимальная теоретическая эффективность термоэлемента дается формулой Иоффе: $\eta = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\sqrt{\varepsilon + 1} - 1}{\sqrt{\varepsilon + 1} + T_c/T_h}$. Параметр ε современных материалов находится в диапазоне от 0.5 до 0.7, при этом теоретическая эффективность составляет от 8 до 11%, а эффективность реального ТЭГ с уче-

том потерь на коммутации и теплопереходах составляет от 3 до 6%. В ФТИ им. А. Ф. Иоффе разработаны новые материалы, при использовании которых можно создать термоэлементы, параметр ε которых превосходит 1, максимальная теоретическая эффективность составляет 14%, а эффективность генераторов на основе этих ветвей может достигать 10%. Эти материалы можно использовать при создании генераторов малой распределенной энергетики, как наземного, так и космического применения. Разработки Института востребованы Госкорпорацией «Росатом», при поддержке которой выполняются перспективные НИР в области новых термоэлектрических материалов.

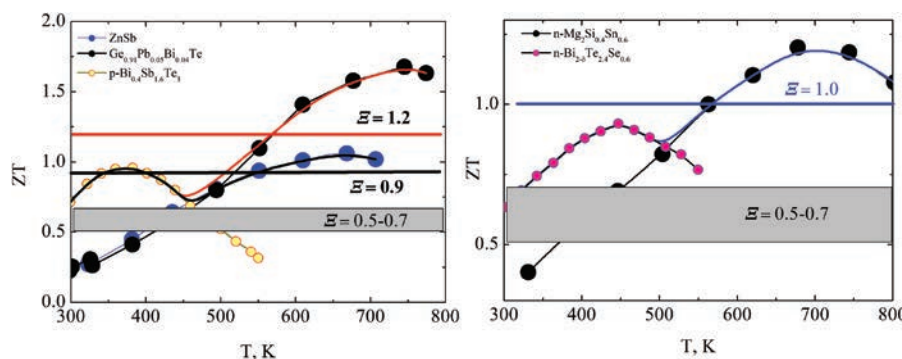


Рис. 1. Зависимость параметра ZT от температуры для материалов p- (слева) и n-типа (справа). Серые области показывают диапазон значений параметра ε для интервала 300–800 К у современных промышленных материалов. Черные и голубые точки — ZT материалов, полученных в ФТИ. Сегментированные ветви на основе этих материалов имеют значения параметра ε от 0.9 до 1.2 (горизонтальные линии).

Силовые полупроводниковые приборы на основе кремния для преобразовательной и импульсной техники

В лабораториях мощных полупроводниковых приборов и прикладных проблем силовой электроники проведены фундаментальные исследования новых принципов переключения и разработаны новые типы силовых полупроводниковых приборов, таких как реверсивно-включаемые динисторы (РВД), дрейфовые диоды с резким восстановлением (ДДРВ), приборы, использующие эффект задержанной ударной ионизации, а также интегральные тиристоры.



Н.с. лаб. мощных полупроводниковых приборов ФТИ им. А. Ф. Иоффе Александр Готфридович Люблинский

РВД — приборы микросекундного диапазона, в котором основным ключом для мощных преобразователей и импульсных систем являются силовые тиристоры. Однако их существенный недостаток — это медленный и неоднородный по площади процесс включения, ограничивающий скорость нарастания силового тока не более 1 кА/мкс. РВД позволяют достичь скорости нарастания тока 20 кА/мкс и выше за счет включения коротким импульсом обратного тока, который однородно накапливает структуру электронно-дырочной плазмы, после чего прибор включается одновременно по всей площади. РВД производятся серийно. Сверхмощные РВД коммутаторы применяются для систем питания мощных импульсных лазеров, экспериментальных установок создания ударных волн в газе и жидкости, магнитной штамповки и др.

Еще один подход для улучшения коммутационных характеристик реализован в интегральных тиристорах, в которых сильно разветвленный электрод управления охватывает практически всю рабочую площадь, что также позволяет добиться более однородного переключения.

ДДРВ являются ключами размыкающего типа наносекундного диапазона. Рабочий цикл ДДРВ состоит из этапа накачки и этапа рассасывания накопленного заряда, на котором в базовых областях ДДРВ формируются два плазменных фронта, движущихся навстречу друг другу. При правильно подобранном профиле структуры фронты встречаются точно на p-N переходе, происходит резкий обрыв тока и формирование наносекундного импульса на нагрузке. ДДРВ обладают простой и надежной конструкцией, позволяющей собирать их в высоковольтные сборки. Высокоэффективные и компактные ДДРВ-генераторы открывают новые возможности для плазмохимических технологий, систем генерации холодной плазмы, установок для модификации и очистки поверхности, очистки промышленных газовых выбросов, медицинских, биологических применений и др.

Диодные и динисторные ключи, использующие эффект задержанной ударной ионизации, имеют рекордное быстродействие. Переключение приборов осуществляется за счет перемещения ударно-ионизационного фронта, который пробегает структуру со скоростью существенно превышающую насыщенную скорость носителей, и прибор переходит во включенное состояние за пикосекундные времена. Высоковольтные сборки с рабочим напряжением до десятков кВ и током до десятков кА позволяют создавать импульсные системы с рекордными параметрами, например, для накачки импульсных лазеров. Кроме того, приборы этого класса обладают сверхмалым джиттером, и благодаря этому являются уникальными ключами для

таких перспективных областей, как сверхширокополосная радиолокация и связь. Таким образом, в лабораториях ФТИ было разработано несколько новых классов силовых полупроводниковых приборов, перекрывающих широкий диапазон, от пикосекундного до микросекундного, и позволяющих существенно расширить границы применения полупроводниковых приборов в различных областях преобразовательной и силовой импульсной техники.



Рис. 1. Серийно выпускаемые реверсивно-включаемые динисторы и полупроводниковые структуры диаметром 56, 76 и 101 мм



Рис. 2. Сборка динисторов Ø24 мм, включаемых ударно-ионизационным фронтом, для формирования мощных наносекундных импульсов амплитудой 12 кВ, 3 кА с частотой повторения до 500 Гц

Разработка приборов полупроводниковой электроники на основе SiC в ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Современная силовая электроника, основанная на кремниевых приборах, постепенно перестает удовлетворять нарастающим требованиям по функциональным возможностям, массе, объему, ресурсу работы и надежности преобразовательных устройств.



Д. ф.-м. н., профессор, руководитель Отделения твердотельной электроники ФТИ им. А. Ф. Иоффе Александр Александрович Лебедев

800 °C и уровнях облучения в среднем на два порядка больших, чем предельные значения для Si-приборов с теми же рабочими параметрами.

В 2010–2021 годах в ФТИ им. А. Ф. Иоффе разработаны оригинальные технологии защиты периферии высоковольтных приборов, как с помощью создания охранных колец, так и за счет изменения геометрии боковой фаски. Была теоретически рассчитана и экспериментально реализована технология создания интегрированных диодов Шоттки (JBS). Это позволило добиться совпадения теоретического и экспериментального напряжения пробоя исследуемых структур и возможности работы прибора в режиме лавинного пробоя. Эти исследования позволили создать семейство высоковольтных SiC-диодов: диоды Шоттки с охранным р–п-переходом (900 В), дрейфовые диоды с резким восстановлением (ДДРВ), планарные р–п-переходы с плавающими охранными кольцами (1800 В), диоды Шоттки с охранный полуизолирующей областью (2000 В), диоды с прямой фаской (1500 В), JBS диоды (3300 В). Параметры созданных приборов находятся на уровне лучших мировых аналогов. Так было показано, что в 4H-SiC р+-р-но-п+-диолах, рассчитанных на обратное напряжение ~1500 В, в качестве высокоэффективной охранный системы может работать прямая фаска (Рис. 1а и 1б), которая изготавливалась с использованием технологических процессов контактной фотолитографии с последующим реактивно-ионным травлением меза-структур. В этих приборах реализуется режим мощного импульсного лавинного пробоя (Рис. 1в), который сопровождается электролюминесценцией (EL) на краю охранный р-п перехода (Рис. 1г).

В настоящее время ФТИ им. А. Ф. Иоффе участвует в консорциуме организаций по разработке в России технологии промышленного производства высоковольтных силовых приборов на основе SiC, которые будут использоваться в системах управления двигателями и преобразователях напряжения, что позволит значительно снизить потери, расширить диапазон рабочих температур, а также уменьшить их вес и повысить быстродействие по сравнению с кремниевыми приборами.

Карбид кремния (SiC), у которого, по сравнению с кремнием, критическая напряженность поля на порядок выше, ширина запрещенной зоны почти в 3 раза больше, а теплопроводность на уровне теплопроводности меди, традиционно рассматривается как возможная замена кремнию для производства мощных полупроводниковых приборов.

Работы по исследованию свойств SiC и разработке приборов на его основе были начаты в ФТИ в середине 1920-х годов. Были проведены исследования физико-химических свойств карбида кремния — его зонной структуры, явления политипизма, параметров примесных и дефектных центров и их участия в рекомбинационных процессах. Разработаны технологии плазмо-химического травления, создания омических и барьерных контактов. Это позволило создать экспериментальные образцы диодов Шоттки, выпрямительных диодов, стабилитронов, туннельных диодов, фотоприемников, лавинно-пролетных диодов (ЛПД), диодных и триодных датчиков заряженных частиц, JFET и MESFET полевых транзисторов на основе карбида кремния. Некоторые из этих приборов были созданы впервые в мире.

Разработанные SiC-приборы по предельным рабочим температурам, удельным коммутируемым мощностям и радиационной стойкости соответствовали ранее сделанным теоретическим оценкам. Была экспериментально доказана возможность работы полупроводниковых приборов при температурах выше

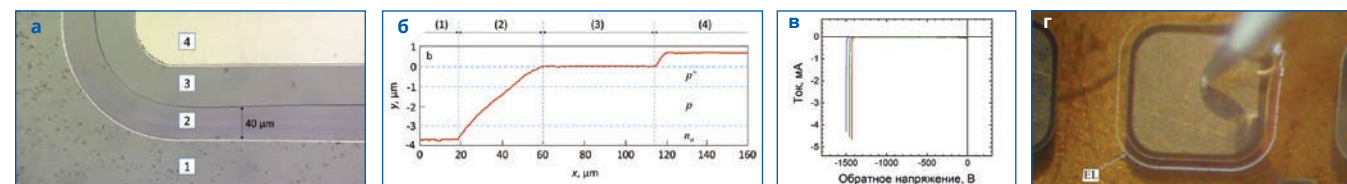


Рисунок 1. Микроскопическое изображение поверхности мезаструктуры р+-р-но-п+-диола с прямой фаской (а) и ее профиль (б): (1) — по-база, (2) — фаска, (3) — р+-эмиттер, (4) — анодный никелевый контакт. Измеренные обратные ВАХ трех р+-р-но-п+-диодов (в). Электролюминесценция (EL) на краю охранный р-п перехода в режиме пробоя (г)

Об итогах председательства России в Арктическом совете (2021–2023 годы)

Председательство РФ в Арктическом совете (АС) имело ряд существенных особенностей. Начиналось оно в год его 25-летия (19 сентября 2021 года), что накладывало особую ответственность за его результаты.



Кандидат педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Отдела страновых исследований Института Европы РАН, руководитель Центра арктических исследований, научный руководитель Арктического семинара имени В. П. Фёдорова, Валерий Петрович Журавель

В марте 2022 года Дания, Исландия, Канада, Норвегия, США, Финляндия и Швеция отказались принимать участие во всех заседаниях, проходящих под председательством РФ и на ее территории. Позже, 8 июня, эти государства приняли решение ограниченно возобновить деятельность АС, но уже без участия России. Все это в конечном итоге выразилось в масштабном бойкоте председательства РФ в Арктическом совете и значительно снизило его эффективность.

В этих условиях было принято единственно верное решение о его дальнейшем продолжении. Основные усилия были направлены на развитие наших арктических территорий, что позволило уже в 2022 — первой половине 2023 года сделать серьезные и успешные подвижки на арктическом направлении.

Всего за двухлетний период наша страна провела порядка 90 мероприятий в 24 городах и населенных пунктах. Несмотря на санкционные ограничения, в мероприятиях российского председательства приняли участие представители более 25 государств.

11 мая 2023 года Россия в Салехарде официально завершила свое председительство в Арктическом совете, дистанционно передав его Норвегии, подтвердив, несмотря на все трудности и проблемы, востребованность данной организации.

Оценку ограничения действий РФ в период председательства в АС дал Министр иностранных дел РФ С. В. Лавров в видеообращении к участникам 13-й сессии Арктического совета 11 мая 2023 года. Он отметил: «К сожалению, полноформатная деятельность Совета была «временно заморожена» западными странами-членами под абсолютно надуманным предлогом ситуации на Украине, которую они сами и спровоцировали. Считаем такой шаг наших западных коллег политизированным и контрпродуктивным, ведущим к размыванию коллективных подходов к ответственному управлению Арктикой».

В условиях повышенного санкционного давления Запада на Россию надо усилить участие стран ЕАЭС, БРИКС и ШОС в арктических проектах.

В своем прохождении председательство прошло четыре периода с разной степенью эффективности. Это подготовительный этап (ноябрь 2020 года — май 2021 года), который был наиболее содержательным и планомерным. Начало председательства (май 2021 года — март 2022 года). Далее председательство в условиях санкций и бойкота российского председательства (март 2022 года — март 2023 года). Заключительный этап, связанный с поиском наиболее приемлемой формы его завершения (апрель — май 2023 года). Эти периоды между собой тесно связаны, но имеют различный уровень эффективности.

Россия свое председательство проводила по четырем приоритетным направлениям:

- население Арктики, включая коренные малочисленные народы Севера;
- охрана арктической окружающей среды, включая изменение климата;
- социально-экономическое развитие региона;
- укрепление роли Арктического совета как основной площадки многостороннего сотрудничества в высоких широтах.

Эти направления нашли отражение в аналитической и публичной деятельности Центра арктических исследований Отдела страновых исследований Института Европы РАН.

Стратегические проекты низкоуглеродной энергетики России

Российская Федерация последовательно придерживается стратегического курса на социально-экономическое развитие, сопровождающееся низким уровнем выбросов парниковых газов.



Заместитель генерального директора
Российского энергетического агентства Минэнерго России
Сергей Михайлович Романов

Важнейший источник снижения выбросов парниковых газов — энергетика: ТЭК — это около 70% совокупных выбросов парниковых газов (с учетом вклада лесного хозяйства и сферы землепользования).

На Западе действует линейная модель низкоуглеродной трансформации энергетики, основанная на эффекте масштаба: экономические издержки использования новых технологий ВИЭ сокращаются преимущественно за счет увеличения количества энергоустановок и единичной мощности энергетического оборудования. При этом комплексный анализ и оценка влияния таких технологий на глобальную энергетическую систему, социальное развитие и изменение климата до сих пор отсутствуют.

По оценкам Международного энергетического агентства, почти половина технологий для глобального энергоперехода только разрабатывается и выйдет на рынок лишь при условии масштабных, стабильных и долгосрочных инвестиций.

Мы всегда отмечали, что у каждой страны может быть свой путь сокращения выбросов и достижения углеродной нейтральности, в том числе за счет давно освоенных технологий: атомной генерации, гидроэнергетики, газового моторного топлива.

Подчеркну, что переход к декарбонизации не должен вредить энергетической безопасности.

Энергетика — системообразующая отрасль российской экономики, поэтому любые преобразования в этой сфере должны осуществляться с большой осторожностью. Структуру энергетики надо изменять постепенно и последовательно, чтобы обеспечить энергетическую безопасность России.

Для этого необходимо:

- определить экономически и социально обоснованную долю низкоуглеродной энергетики в топливно-энергетическом балансе с учетом ее полного жизненного цикла;
- обеспечить надежность и устойчивость традиционного, углеродного энергоснабжения в период перестройки энергетической системы;
- обеспечить технологический суверенитет для устойчивого функционирования и развития низкоуглеродной энергетики.

Все это обусловило работу по актуализации и пролонгации действующей Энергетической стратегии до 2050 года.

Стратегия призвана найти баланс между:

- доступным гарантированным обеспечением экономики энергоносителями, необходимыми для экономического роста и реализации экспортного потенциала;
- достижением целей, связанных со снижением выбросов парниковых газов в энергетике;
- обеспечением технологического суверенитета и конкурентоспособности отраслей ТЭК.

В России основными драйверами энергоперехода и низкоэмиссионного (низкоуглеродного) развития энергетики представляются три направления: развитие гидроэнергетики, атомной энергетики и использование природного газа как переходного и более чистого по сравнению с другими видами ископаемого топлива источника энергии.

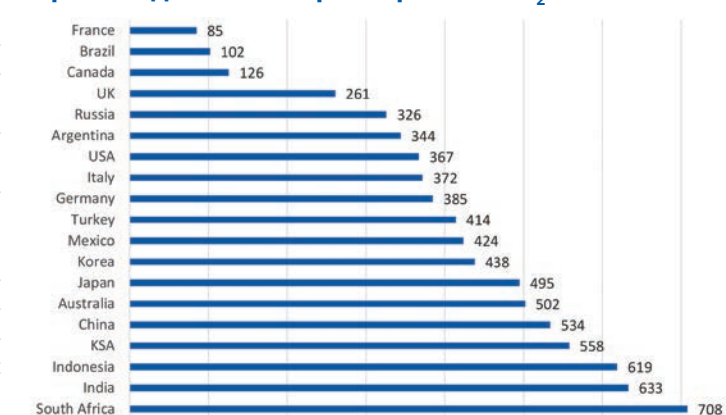
Как наиболее важные проекты низкоуглеродного развития энергетики, сегодня рассматриваются:

- замкнутый ядерный топливный цикл и строительство АЭС малой мощности;
- использование в сфере транспорта альтернативных видов топлива (газа, водорода) и электроэнергии;
- развитие отечественных технологий парогазовой генерации, замещение низкоэффективных котельных объектами когенерации;
- создание различных видов накопителей энергии, в том числе с использованием водородных технологий.

Немаловажная проблема при переходе к низкоуглеродной энергетике — необходимость локализации и многократного увеличения производства отдельных видов сырья, комплектующих и оборудования, критически важных для развития ВИЭ, в том числе ряда металлов и высокотехнологичных материалов, преобразователей энергии, систем накопления энергии и топливных элементов. Обработываемые мощности сконцентрированы в небольшом числе стран, а добыча почти 80% руд для получения указанных металлов монополизирована или осуществляется в нестабильных регионах мира. Кроме того, производство необходимых для развития ВИЭ сырья и материалов сопровождается высоким уровнем выбросов парниковых газов и наносит вред окружающей среде, что необходимо учитывать при масштабировании их добычи и переработки.

Поэтому при глобальном энергопереходе будут главенствовать новые прорывные наукоемкие технологии получения и использования экономичных, экологических и надежных энергоресурсов. Скорость их появления на

Показатель углеродной интенсивности производства электроэнергии, г CO₂-экв./кВт·ч



Источник: EMBER

национальных и международных рынках определит не только уровень конкурентоспособности и технологической независимости отдельных стран, но и основу облика энергетики будущего.

Достичь национальных целей развития и решения поставленных задач по декарбонизации экономики позволят атомная генерация энергии, водородная энергетика, возобновляемые источники энергии, накопители энергии в сочетании с модернизацией углеродной энергетики. Соответствующая задача поставлена Президентом РФ В. В. Путиным, поручившим разработать важнейший инновационный проект государственного значения «Низкоуглеродная энергетика полного жизненного цикла» (№ Пр-753 от 02.05.2021; № Пр-510 от 18.03.2022).

Данный проект разрабатывается с учетом реализуемых в настоящее время федеральных проектов «Чистая энергетика», «Новая атомная энергетика, в том числе малые атомные реакторы для удаленных территорий», «Электромобиль и водородный автомобиль», «Политика низкоуглеродного развития», мероприятия дорожной карты «Развитие высокотехнологичного направления «Водородная энергетика» на период до 2030 года» и дорожной карты «Системы накопления электроэнергии».

Минэнерго России совместно с Минпромторгом России, Минобрнауки России, другими федеральными органами исполнительной власти и ГК «Росатом» формируют новый механизм научно-технологического развития для реализации рассмотренного проекта.

Структура мирового потребления по видам первичных ТЭР

Мир	Доля, 2008 г.	Доля, 2022 г.	Прирост в 2008–2022 гг.	Среднегодовой темп прироста в 2008–2022 гг.
Потребление первичных ТЭР, в т.ч.	100%	100%	24%	1,4%
Жидкое углеводородное топливо	35%	32%	10%	0,7%
Природный газ	22%	23%	34%	2,0%
Уголь	30%	27%	11%	0,7%
АЭС	5%	4%	-10%	-0,7%
ГЭС	7%	7%	30%	1,8%
ВИЭ	2%	7%	590%	13,7%

Источник: Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН и космическая отрасль Российской Федерации

Уже на протяжении более чем 100 лет Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН является одним из крупнейших научных центров России, где широким фронтом ведутся фундаментальные и прикладные исследования в важнейших областях современной физики и технологии.



Заместитель директора департамента перспективных программ и проекта «Сфера» ГК «Роскосмос»
Оксана Валерьевна Вольф

В Физтехе сформировалось и новое направление, связанное с созданием теории и практики получения, исследования и применения в различных отраслях науки и техники многослойных, так называемых каскадных структур. Эти устройства широко применяются в различных отраслях науки и техники. Одна из таких отраслей — фотоэнергетика, где данные структуры открывают большие возможности для существенного повышения КПД фотоэлементов за счет более полного использования всего спектра солнечного излучения и повышения эффективности работы солнечных элементов при использовании концентрированного солнечного излучения.

За годы работы ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН сложилось устойчивое и весьма плодотворное сотрудничество Физтеха с организациями космической отрасли.

Сотрудничество с АО «НПП «Квант»

ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН и АО «НПП «Квант» сотрудничают более 50 лет: на основе выполненных в лаборатории академика Ж. И. Алфёрова передовых фундаментальных работ по гетероструктурам в АО «НПП «Квант» из арсенида галлия изготавливались солнечные батареи для серии изделий «Луноход» и «Венера», для ряда других космических аппаратов. Впоследствии результаты этих работ легли в основу создания в АО «НПП «Квант» гетероструктурных фотоэлементных преобразователей для солнечных батарей космической станции «Мир».

Специалисты ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН неоднократно участвовали в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, проводимых АО «НПП «Квант» в целях решения экспериментально-исследовательских и расчетных задач. В 2013–2015 годах были выполнены работы по повышению удельных характеристик солнечных элементов и батарей, по использованию концентри-

Одна из таких прикладных областей — создание полупроводниковых приборов, к которым относятся фотоэлектрические преобразователи — основа солнечных батарей космических аппаратов. В 1958 году солнечные батареи на кремниевых фотоэлементах впервые были установлены на третьем советском спутнике и на американском спутнике «Авангард». С тех пор солнечные элементы стали основным источником энергии на всех космических аппаратах, работающих на околоземной орбите.

В Физико-техническом институте имени А. Ф. Иоффе РАН под руководством академика РАН Ж. И. Алфёрова и члена-корреспондента РАН В. М. Андреева сформировался коллектив талантливых ученых, плодотворно работающих в области получения и исследования полупроводниковых многослойных гетероструктур. В 1970 году был создан фотоэлемент на основе арсенида галлия с высоким КПД. В дальнейшем Ж. И. Алфёров создал в ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН научную школу, ставшую основой развития отечественной солнечной энергетики в сфере космических систем.

рованного солнечного излучения и др. Все научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, в которых ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН являлся соисполнителем, были выполнены на высоком профессиональном уровне.

Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН — разработчик и изготовитель уникального измерительного оборудования мирового уровня, используемого в технологическом цикле изготовления ФЭП в АО «НПП «Квант».

Сотрудничество с АО «Решетнёв»

Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН проводит большой комплекс исследований в интересах других предприятий Госкорпорации «Роскосмос», к которым относится и АО «Решетнёв». Сотрудничество ученых и представителей сферы производства космической техники открывает перспективу повышения энергоэффективности фотоэлектрических модулей для солнечных батарей космических аппаратов.

Разработка и изготовление научной аппаратуры для космических исследований

Одно из ведущих направлений деятельности ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН — исследование фундаментальных явлений Вселенной.

С 1994 года успешно проводится российско-американский эксперимент по изучению космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров с помощью разработанной и изготовленной в ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН научной аппаратуры «Конус». Ее установили на борту американского спутника «Винд», который 1 ноября 1994 года запустили на орбиту в межпланетном пространстве между Землей и точкой либрации L1. Аппаратура «Конус» включила 11 ноября 1994 года, и с тех пор непрерывно ведутся наблюдения космических гамма-всплесков — самых мощных взрывов во Вселенной.

Благодаря огромной светимости источников гамма-всплески регистрируются с гигантских расстояний из далекого прошлого, когда возраст Вселенной составлял всего несколько процентов от нынешнего. Гамма-репитеры — редкий класс источников мягких повторных гамма-всплесков, связанных с одиночными нейтронными звездами с самыми сильными из известных в природе магнитными полями. Они были открыты в 1979 году в исследованиях ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН на межпланетных станциях «Венера». Аппаратура эксперимента «Конус-Винд» обладает высокой чувствительностью в широком диапазоне энергий гамма-излучения, оптимальной программой регистрации временных и спектральных параметров гамма-всплесков и возможностью постоянного обзора всей небесной сферы в условиях отсутствия регулярных помех, характерных для околоземных орбит. За годы исследования получен огромный массив информации

более чем о 3,5 тыс. всплесков и активности всех известных гамма-репитеров.

Сейчас ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН участвует в разработке детекторов «Конус-УФ» в составе научной аппаратуры перспективного космического комплекса «Спектр-УФ» для получения новых данных фундаментального значения в области астрофизики. Аппарат планируется запустить после 2025 года.

Потенциальное сотрудничество

Для предприятий космической отрасли актуален и вопрос о переходе к безуглеродной энергетике. В АО «Центр Келдыша» проводятся исследования, направленные на поиск чистых и дешевых способов производства водорода. В 2022 году была проведена серия испытаний, подтвердивших возможность стабильного получения водорода методом плазменного пиролиза метана с помощью плазматрона переменного тока мегаваттной мощности.

Цикл испытаний продемонстрировал работоспособность модернизированных плазматронов малой мощности (35 кВт) и модернизированного плазматрона мегаваттного класса «Звезда» мощностью 1,5 МВт при использовании метана в качестве рабочего тела. Эксперимент показал возможность прямого плазменного пиролиза метана с образованием водорода и сажи и без образования CO₂.

Полученный задел позволяет перейти к разработке и созданию опытно-демонстрационной установки мощностью до 2 МВт. Расчетная себестоимость водорода, получаемого методом пиролиза метана на такой установке, — не более 2 долл. за килограмм водорода.

Предлагаемая технология и оборудование в перспективе могут быть использованы для получения водорода и его последующей транспортировки потребителям, в том числе крупным, применяющим метан как топливо.

Достигнута принципиальная договоренность о сотрудничестве с Госкорпорацией «Росатом». Учитывая значительные наработки и интерес к теме, в кооперацию может войти ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН.



Работающий на метане плазматрон «Звезда», дуговая мощность — 1,5М Вт

Новые подходы к развитию энергетики удаленных территорий Дальнего Востока России и Арктической зоны Российской Федерации

Арктическая зона России охватывает девять регионов: четыре относятся к ней полностью (Мурманская область, Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Чукотский автономные округа), пять — частично (Архангельская область, Красноярский край, Республика Карелия, Республика Коми и Республика Саха (Якутия)). Площадь арктических территорий — 4,8 млн км² (28% территории страны). Здесь проживает 2,6 млн человек — 1,8% населения России, или больше половины населения мировой Арктики.

Директор Департамента инноваций ПАО «РусГидро»
Денис Александрович Малков

Дальний Восток России охватывает 11 регионов (Амурская область, Республика Бурятия, Еврейская автономная область, Забайкальский край, Камчатский край, Магаданская область, Приморский край, Республика Саха (Якутия), Сахалинская область, Хабаровский край, Чукотский автономный округ). Площадь Дальнего Востока России — 6,95 млн км², или около 42% площади России. Здесь проживает около 8 млн человек, то есть около 5,5% от общего населения РФ.

Таким образом, в Арктической зоне РФ и на Дальнем Востоке проживает около 7% населения страны, при этом 65% указанной территории приходится на зоны децентрализованного энергоснабжения, где проживают более 700 тыс. человек.

План развития тепло- и электрогенерации на Дальнем Востоке России и в Арктической зоне РФ

На Дальнем Востоке и территории Арктики в зоне централизованного энергоснабжения запланировано создание 14 современных объектов крупной генерации суммарной электрической мощностью в 4,5 ГВт и тепловой мощностью 2,6 тыс. Гкал/час.

В Приморском крае можно выделить Артёмовскую ТЭЦ-2, проектная электрическая мощность составляет 440 МВт, тепловая мощность — 456 Гкал/ч. Новая станция, старт строительства которой был дан в рамках Восточного экономического форума в 2023 году, заменит Артёмовскую ТЭЦ — первую крупную электростанцию на Дальнем Востоке, введенную в эксплуатацию еще в 1936 году. В отличие от старой станции, Артёмовская ТЭЦ-2 будет работать не на угле, а на природном газе — самом экологичном виде топлива. Его использование по-

зволяет значительно сократить выбросы углекислого газа, полностью исключит выбросы сернистого газа и сажи, отпадет необходимость в складировании золы.

В Республике Саха (Якутия) совместно с первой очередью Якутской ГРЭС-2, которую РусГидро ввело в эксплуатацию в 2017 году, идет строительство второй очереди станции, которая обеспечит теплом и электроэнергией жителей 360-тысячного Якутска. Вторая очередь Якутской ГРЭС-2 расположится в центре электрических и тепловых нагрузок Якутска, обеспечив надежное энергоснабжение потребителей.

В рамках Восточного экономического форума в 2023 году РусГидро и Правительство Амурской области заключили соглашение о взаимодействии при строительстве двух новых гидроэлектростанций — Нижне-Зейской и Селемджинской ГЭС. Согласно предварительным проектным проработкам, мощность Нижне-Зейской ГЭС составит 400 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 2 130 млн кВт.ч, Селемджинской ГЭС — 100 МВт и 470 млн кВт.ч. Учитывая ежегодный рост энергопотребления в ОЭС Востока, выработка новых ГЭС будет высоко востребована. Кроме того, еще одним эффектом от строительства новых ГЭС будет борьба с весенними паводками.

На Камчатке Группа РусГидро развивает геотермальную энергетику. На Мутновской ГеоЭС-1, начавшей работать в 2002 году, планируется построить новый бинарный энергоблок мощностью 16,5 МВт. Строительство нового энергоблока даст камчатской энергосистеме более 90 млн кВт.ч экологически чистой электроэнергии без дорогостоящего бурения новых скважин. Уже подготовлено технико-экономическое обоснование, и в 2024 году будет подготовлена проектно-сметная документация энергообъекта. Кроме того, планируется строительство Мутновской ГеоЭС-2 мощностью 66,5 МВт. Сейчас определяются источники его финансирования с учетом тарифного регулирования.

Программа модернизации объектов локальной генерации на Дальнем Востоке России и в Арктической зоне РФ

В целях исполнения поручения Президента РФ В. В. Путина от 19 октября 2022 года № Пр-1991 (пункт 6, «г») Министерство энергетики РФ совместно с ПАО «РусГидро» и Государственной корпорацией развития «ВЭБ.РФ» разработали проект Программы модернизации объектов локальной генерации в Дальневосточном федеральном округе. В проект Программы в рамках первого этапа включено 80 объектов энергогенерации, находящихся в ведении ПАО «РусГидро».

Программа затронет 11 субъектов РФ, входящих в Дальневосточный федеральный округ, оценочный объем инвестиций составит 75 млрд рублей в ценах 2022 года. Предполагается модернизация 270 объектов энергогенерации: будут обновлены дизельные электростанции (ДЭС) суммарной мощностью в 477 МВт и объекты энергогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) общей мощностью в 127 МВт. В соответствии с Программой ранее действовавшие дизельные электростанции будут модернизированы и станут гибридными: часть электроэнергии будет вырабатываться дизель-генераторными установками, а часть — установками, работающими на основе возобновляемых источников энергии.

Реализация Программы модернизации объектов локальной генерации в Дальневосточном федеральном округе даст ориентировочную экономию затрат на приобретение топлива в размере 4,4 млрд рублей в год.

Первый этап реализации Программы модернизации объектов локальной генерации в Дальневосточном федеральном округе

Осуществлять реализацию проектов модернизации объектов энергогенерации в децентрализованном секторе энергообеспечения в Дальневосточном федеральном округе предполагается без привлечения бюджетных средств — исключительно за счет частных инвестиций в рамках энергосервисных контрактов. Работы будут проводиться в 73 населенных пунктах Республики Саха (Якутия) и в 7 населенных пунктах Камчатского края. Оценочный объем инвестиций в модернизацию расположенных в Республике Саха (Якутия) объектов энергогенерации составит 14,7 млрд рублей, а в находящихся в Камчатском крае — 5,3 млрд рублей. Ожидается, что срок возврата инвестированных денежных средств не превысит 15 лет. Будет обновлено 80 автономных гибридных энергокомплексов (АГЭК) с солнечными панелями (солнечно-дизельных электростанций) общей мощностью в 127 МВт. В составе этих энергокомплексов находятся и объекты генерации, работающие на основе ВИЭ. Их общая мощность составляет 29 МВт.

Новая мощность находящихся в Республике Саха (Якутия) дизельных электростанций (ДЭС) должна составить 75 МВт, а новая мощность работающих на основе ВИЭ энергоагрегатов — 21,7 МВт. Ожидается, что экономия топлива после модернизации объектов энергогенерации в Якутии достигнет 36%.

В Камчатском крае мощность дизельных электростанций после модернизации будет равна 23,2 МВт, а мощность работающих на основе ВИЭ энергоагрегатов — 7,2 МВт. Ожидаемая экономия топлива — 32%.

Основные технические решения, связанные с автономными гибридными энергокомплексами, и принципы работы АГЭК

Модернизация объектов энергогенерации в децентрализованном секторе энергообеспечения в Дальневосточном федеральном округе предполагает создание автономных гибридных энергокомплексов, оснащенных системами удаленного мониторинга и автоматизированного распределения выработки между источниками генерации с целью экономии топлива. За счет алгоритмов управления системами накопления электроэнергии (СНЭ) достигается увеличение эффективности применения ВИЭ. СНЭ представляет собой установку, включающую литий-ионную батарею, устройство сопряжения с электросетью (инвертор) и систему управления.

Автоматизированная система управления: управление выработкой электроэнергии будет осуществляться самой системой, а за оперативным персоналом станции останется только функция контроля. Такая организация энергогенерации позволяет максимально использовать солнечную энергию и выстроить работу дизельной электростанции с наименьшим расходом топлива при сохранении надежности электроснабжения.

Техническое решение АГЭК соответствует самым современным стандартам и направлено на формирование новой технической политики развития локальной энергетики на основе современных цифровых технологий, ВИЭ и систем накопления энергии.



Состав проекта АГЭК

- Дизельная электростанция
- ВИЭ-генерация (солнечная и ветровая)
- Система накопления электроэнергии (СНЭ)
- Сопутствующая технологическая инфраструктура (склады ГСМ, аварийные и пожарные резервуары, трубопроводы, линии связи, здания и сооружения и др.)
- Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП)

Использование технологии ОЦР (ORC) для локальной генерации электроэнергии

Технология, основанная на органическом цикле Ренкина (ОЦР/ORC-технология), имеет различные области применения в сфере энергогенерации. В настоящее время проводится проработка проектов по внедрению.

1. В изолированных поселках Дальневосточного федерального округа на котельных.
2. Дополнение дизельных электростанций в изолированных поселках Дальнего Востока блоками, работающими на основе ОЦР.
3. Использование бинарных установок на геотермальных электростанциях в Дальневосточном федеральном округе.
4. Применение для организации работы низкопотенциальных ГеотЭС для осуществления энергообеспечения расположенных на Дальнем Востоке малых населенных пунктов. В Дальневосточном федеральном округе находится более 350 мелких населенных пунктов, общее количество жителей которых составляет более 700 тыс. человек.

Технологические вызовы в сфере локальной энергогенерации

Организация локальной энергогенерации, жизненно важной для удаленных и изолированных населенных пунктов Дальневосточного федерального округа, связана с наличием ряда технологических вызовов.

1. Для осуществления энергогенерации по принципу ОЦР, которые будут работать на основе новых органических веществ и иметь КПД более 15%.
2. Для суточного и сезонного балансирования объемов выработки электрической и тепловой энергии в условиях гибридной энергогенерации с применением ВИЭ необходимы накопители электрической и тепловой энергии, которые будут функционировать в качестве устройств, аккумулирующих выработанную автономным гибридным энергокомплексом электрическую и тепловую энергию.
3. Необходимость глубокой автоматизации управления комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии в условиях гибридной энергогенерации, когда один из источников энергии является возобновляемым, а в качестве другого используется топливо (в частности, дизельное).
4. Сильно ограниченное предложение ветроэнергетических установок (ВЭУ) малой мощности (до 500 кВт) в арктическом исполнении, оснащенных АСУТП для использования на гибридных электростанциях в качестве одного из источников энергогенерации.

Использование рассмотренных нами новых подходов к организации энергетической сферы в удаленных и изолированных районах Дальнего Востока России и Арктической зоны Российской Федерации будет способствовать устойчивому и опережающему развитию дальневосточных и арктических регионов нашей страны.

Группа РусГидро при строительстве АГЭК применяет стандартные технические решения в составе:

- Блочной-модульной конструкции зданий станции
- Быстровозводимых конструкций высокой заводской готовности
- Единой системы управления с алгоритмами оптимизации режима АГЭК для экономии топлива
- Эффективных ДГА с удельным расходом не более 230 гнл/кВт·ч
- Систем хранения энергии с аккумуляторами, адаптированными для буферного режима работы (количество циклов заряда/разряда более 3 тыс., срок службы не менее 15 лет, необслуживаемое исполнение)
- Оборудования в арктическом исполнении для температур от -60 до +40 °С
- Эффективного использования вторичного тепла ДЭС для обогрева помещений (система утилизации тепла выхлопа и рубашки охлаждения)
- Рамного фундамента с типизацией габаритных размеров
- Использования системы мониторинга работы аккумуляторной батареи в СНЭ для контроля состояния
- Фотоэлектрических модулей со сроком службы не менее 25 лет
- Удаленного мониторинга и контроля (SCADA)

