

Настоящий сборник посвящен памяти выдающегося ученого организатора науки и производства, члена–корреспондента РАН Николая Степановича Лидоренко, столетие которого отмечается 15 апреля 2016 г.

Сборник содержит ряд материалов, написанных ближайшими сподвижниками, коллегами и учениками Николая Степановича, многие из которых сами стали известными учеными и специалистами. Эти материалы должны дать представление о масштабах личности, широте и глубине мышления этого выдающегося ученого, инженера и организатора.

Сборник содержит также некоторые публикации, написанные Николаем Степановичем Лидоренко в разное время по различным вопросам науки.

При подготовке настоящего издания был использован список научных трудов Н.С. Лидоренко, представленных автором в Отделение физико-технических проблем энергетики АН СССР в 1984 г. Это единственно известный официальный список трудов Н.С. Лидоренко был лично подписан автором и хранится в его личном деле в архиве РАН. При составлении сборника был использован также незначительный объем информации, полученной из РАЕН, членом которой Н.С. Лидоренко являлся, а также сведения от коллег, сотрудников из ближайшего окружения и от его учеников

В итоге было принято во внимание более 500 научных трудов Н.С. Лидоренко, в т. ч. более 150 статей в научных журналах и опубликованных тезисов докладов, сделанных автором на различных научно-технических конференциях, 5 монографий, 225 изобретений и более 120 научно-технических отчетов, составленных по результатам исследований и разработок, руководителем которых являлся Н.С. Лидоренко

В многочисленных биографических справках и иных информационных материалах, связанных с научной деятельностью Н.С. Лидоренко, упоминаются два принадлежащих ему открытия. Однако они не были включены в Государственный Реестр открытий, который существовал до 1991 г. В последующие годы Реестр открытий вела РАЕН. Реестр РАЕН содержит открытие Н.С. Лидоренко за № 41 с приоритетом от 25 марта 1974 г. Дата регистрации 21.11.1996 г. Текст этого открытия в настоящем сборнике приводится полностью. Что касается второго открытия, то в ряде публикаций

Н.С. Лидоренко и других авторов приводится ссылка на него (рег. № 199 от 15.04.2001 г. Диплом № 168). Однако в Реестре открытий РАЕН эти номера отсутствуют, и содержание второго открытия остаётся неизвестным.

В целом перечень научных трудов Н.С. Лидоренко дает лишь некоторое представление о масштабе личности этого великого ученого, инженера, организатора науки и производства. Необходимо учитывать, что значительная часть научного наследия Н.С. Лидоренко содержится в закрытых публикациях. Кроме того, огромное количество нетрадиционных научно-технических идей и мнений, представляющих интерес, которые могли бы явиться основой для создания новых научных направлений, часто высказывались Н.С. Лидоренко в устной форме на научно-технических совещаниях, конференциях и в частных беседах с коллегами и учениками.

При подготовке настоящего сборника были выбраны работы Н.С. Лидоренко, отражающие широту взглядов автора, его часто нетрадиционные точки зрения на различные проблемы не только в процессах прямого преобразования энергии, но на общезначимые аспекты строения материи, многие проблемы электродинамики, а также на организацию науки и т.д.

Для получения представления о нетрадиционных идеях Н.С. Лидоренко в области строения вещества и новых процессов генерирования энергии может быть рекомендована опубликованная в Интернете одна из последних работ – Н.С. Лидоренко и В.Ю. Колосков «Энергетика – наука XXI века».

НИКОЛАЙ СТЕПАНОВИЧ ЛИДОРЕНКО

*О.Н. Фаворский, академик РАН, зам. академика-секретаря
Отделения энергетики, машиностроения, механики и
процессов управления РАН*

Герой Социалистического труда, лауреат Ленинской и Государственных премий, три ордена Ленина, многие почетные звания, ордена и медали – так Родина оценила многолетний труд создателя и бессменного руководителя ВНИИТ и НПО «Квант» члена-корреспондента РАН Николая Степановича Лидоренко. Им фактически была создана новая отрасль автономной энергетики на основе методов прямого преобразования различных видов энергии в электричество. Было организовано промышленное производство электрохимических, и фотоэлектрических, термоэлектрических и термоэмиссионных генераторов, которые до этого не выпускались в СССР. Николай Степанович обладал довольно редким даром интуиции на перспективное использование собственных и предлагаемых идей. Сочетание этой способности со стремлением не ограничиваться разработкой и созданием отдельных элементов, а обязательно доводить работу до создания комплексных изделий определило стратегию развития НПО «Квант». Это и набор ведущих специалистов, и развитие различных передовых конструкторско-технологических подразделений и исследовательских лабораторий. В конце 1970-х начале 1980-х годов «империя Лидоренко» насчитывала до 40 тыс. человек, это была самодостаточная многогранная корпорация, ее филиалы находились в крупнейших научно-промышленных центрах страны. Реальное подтверждение правильности выбора стратегии – стремительное развитие организации, успешность в осуществлении планов и заданий, востребованность уникальной выпускаемой продукции.

Среди многочисленных пионерских разработок коллектива НПО «Квант» нельзя не отметить те, что нашли широкое применение. Это всемирно известные сегодня гигантские космические солнечные батареи, впервые появившиеся в составе энергосистемы спутника N 3 в 1958 г. Николай Степанович занял достойное место в составе Совета главных конструкторов по бортовому электрооборудованию баллистических ракет, а позднее космических аппаратов под руководством С.П. Королева.

Под руководством Николая Степановича была разработана и создана первая мощная энергоустановка с водород-кислородными электрохимическими генераторами для реальной подводной лодки. Сегодня аналогичные генераторы рассматриваются в качестве перспективных при создании экологически чистого электротранспорта.

Постоянное внимание в НПО «Квант» уделялось разработке и усовершенствованию термоэлектрических генераторов (ТЭГ), работающих с различными тепловыми источниками (от керосиновой лампы до ядерного реактора) в широком температурном

интервале. Эти работы потребовали проведения широкомасштабных исследований новых высокоэффективных термоэлектрических материалов и конструкций ТЭГ.

Сегодня ТЭГ различной мощности работают в космосе, обеспечивают защиту от коррозии магистральных газо- и нефтепродуктов, широко используются в холодильной промышленности (обратная задача выработка энергии), обеспечивая, в частности, термостатирование саркофагов в мавзолеях выдающихся в прошлом деятелей ряда стран.



В 1974 г. Николай Степанович опубликовал в Докладах академии наук статью о разработке в НПО «Квант» накопителя энергии на новом физическом принципе – молекулярного конденсатора, утвердив, таким образом, приоритет в этом деле нашей страны, Уникальные характеристики этого устройства вызвали большой интерес как среди ученых, так и среди энергетиков-практиков. В середине 80-х годов комбинированные силовые энергоустановки рассматривались в качестве перспективных для городского транспорта. Был разработан проект обеспечения гарантированного энергоснабжения крупнейшего в Европе вольфрамо-молибденового Комбината в г. Тырнауз. К сожалению, события конца прошлого – начала нынешнего века помешали реализации этих проектов. Важно, однако, что сегодня интерес к молекулярным конденсаторам возродился и работы успешно разворачиваются, в частности в РАН.

Перечисленными направлениями далеко не исчерпывается тематика исследований, проводимых в НПО «Квант». Научный кругозор, широта мышления Николая Степановича позволяли наряду с основными направлениями иметь целые отделы и комплексы в области медицинской техники: измерение биопотенциалов, мембранные оксигенаторы для аппаратов искусственного кровообращения, вычислительная томография, высокоточные измерительные устройства на основе чувствительных сенсоров и многое другое. Как основные направления, так и «поисковые ответвления» активно подпитывались молодыми специалистами, в том числе и с базовой кафедры «Преобразователи энергии и информации» Физтеха, руководимой Николаем Степановичем. Ежегодно в «Кванте» проводились конференции молодых ученых и специалистов. В общении с молодежью и сотрудниками Николай Степанович был прост, откровенен, всегда активно реагировал на новые идеи и проекты, предлагал свои варианты решения проблем.

В Советском Союзе было много замечательных руководителей, ученых, организаторов науки и производства. Николай Степанович Лидоренко занимает достойное место среди этой плеяды послевоенных легендарных деятелей.

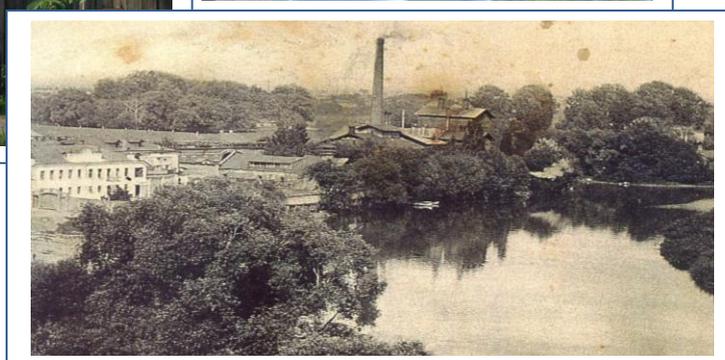
ВСПОМИНАЯ НИКОЛАЯ СТЕПАНОВИЧА ЛИДОРЕНКО

Г.И. Янченко, В.Д. Янченко

Столетие со дня рождения Николая Степановича Лидоренко (15.04.1916 - 10.11.2009) дает нам возможность вспомнить о жизненном пути выдающегося ученого, о волевом, мудром и прозорливом человеке, который являл собой пример преданности Делу науки.

Известно, что характер человека формируется в детские годы, в кругу семьи. Николай Степанович родился и первые годы жизни (1916 - 1922) провел в старинном русском городе Курске, в семье Степана Кузьмича Лидоренко, служащего Московско-Курской железной дороги, начальника Курского железнодорожного грузового двора. Там же, в Курске, в начале XX века, в Управлении Московско-Курской железной дороги, трудился чертежником будущий художник К. Малевич, с которым Степан Кузьмич был знаком.

Большая и дружная семья Лидоренко жила в доме на ул. Церковной (ныне – ул. Комсомольская, дом 6), стоящем по соседству со старинной церковью Николая Чудотворца в Стрелецкой слободе. Дом Лидоренко сохранился до нашего времени. Вблизи дома протекала неглубокая и необыкновенно чистая речушка Кур, которая дала название старинному городу, а неподалеку несла свои воды река Тускарь.

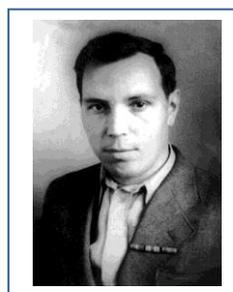


Николай Степанович, выросший в краю рек, стал превосходным пловцом. Он был могуч и крепок, необычайно силен и вынослив. Полученная в молодые годы физическая подготовка помогала ему в работе и в жизни.

Мать ученого, Ирина Кузьминична, «держала» дом, вела домашнее хозяйство, воспитывала в строгости «большую команду», в которой Николай был самым меньшим. Ирина Кузьминична, хранительница семейных традиций и домашнего очага, была убеждена, что детям нужно дать достойное образование, подготовить к самостоятельной жизни. Даже в те непростые годы первых десятилетий XX века все дети семьи Лидоренко получили хорошее образование, благодаря прочным знаниям обрели опору в жизни: старшая дочь Мария (1902 - 1978) и средняя Екатерина (1912 - 2003) стали педагогами, Георгий (1907 - 1986) – врачом-ветеринаром, а младший сын, Николай, выбрал техническое направление. Свойственная ему природная любознательность, способность к исследованиям, склонность к изобретениям, колоссальное трудолюбие, постоянная работа над собой дали высочайшие результаты.

В 1922 году семья Степана Кузьмича Лидоренко переселилась на юг страны, в Краснодар. Здесь Николай Степанович пошел в железнодорожную школу. Учился он в 20-е годы, помощи ему ждать было неоткуда, и он стал помогать семье, подрабатывая на разгрузке железнодорожных вагонов, а затем, с 15 лет работал учеником электромонтера на Краснодарском нефтезаводе. Забота о близких людях привила Николаю Степановичу чувство величайшей ответственности, которое сопутствовало ему всю долгую жизнь.

Будучи подростком, по возвращении из школы он не ходил, а с огромным удовольствием бегал в боксерскую секцию. Регулярные тренировки на боксерском ринге воспитали организованность, силу воли, стремление к победе, сделали настоящим Лидером.



Обучаясь в железнодорожной школе, Николай Степанович увлекся математикой и, в особенности, физикой. Эта увлеченность точными и естественными науками переросла у него в глубокий профессиональный интерес к энергетике, электротехнике, привела к успехам в жизни и в науке.

Николай Степанович представлял собой пример стойкости. Обладая «негибким позвоночником», он никогда по каждому поводу не кланялся высокопоставленным чиновникам, принимал смелые решения самостоятельно. Н.С. Лидоренко не искал легких путей, не признавал уловок, шел к цели прямыми дорогами, своим примером учил

стойкости, в любых, самых трудных случаях сохранял цельность, был самим собой, что так непросто во «времена великих подмен».

Благодаря инициативности и энергии Николаю Степановичу удалось создать НПО «КВАНТ» – огромную многотысячную производственную «империю Лидоренко», которую составили головное предприятие в Москве, на 3-й Мытищинской улице и сеть филиалов по всей стране: от Ленинграда (С.-Петербурга) и Калинина (Твери), Ташкента и Кишинева до Краснодара и Севастополя.

Н.С. Лидоренко – авторитетнейший ученый, глубоко уважаемый коллегами. Он создал большую научную школу, которую составляют исследователи нескольких поколений. Заслуживают внимания и глубокого изучения его труды, посвященные молекулярной электронике, космической энергетике и экологии.

Мы будем бережно хранить память о Николае Степановиче – близком нам человеке.

*Янченко Галина Ивановна, главный технолог по направлению НПО «ВНИИТ-КВАНТ», ветеран труда, ветеран завода «Сатурн» (Краснодар) и НПО «КВАНТ» (Москва).
Янченко Владислав Дмитриевич, доктор педагогических наук, профессор кафедры теории и практики преподавания русского языка и русского языка как иностранного Института филологии и иностранных языков Московского педагогического государственного университета.*

МОИ ВОСПОМИНАНИЯ

А.Б. Волгин, помощник Николая Степановича

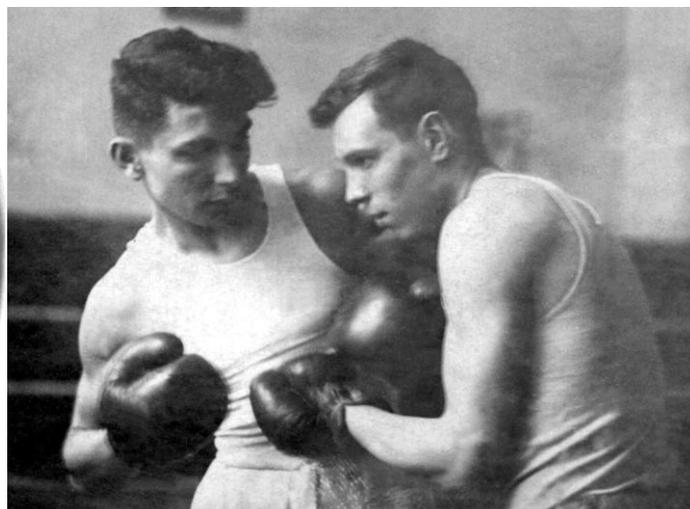
Мои воспоминания относятся к последней трети жизни Николая Степановича (с февраля 1978 г. по 10 ноября 2009 г.). Остановлюсь на событиях, характеризующих Николая Степановича не только как учёного, руководителя, но и как просто человека. Мои воспоминания фрагментарны и не хронологичны.

Николай Степанович был смелым человеком, всегда брался за самые трудные поручения и задания руководства. Как он вспоминал: «Вначале брался за них по молодости и по глупости». Хотя в 50-ые годы за провал поставленных правительством задач можно было лишиться не только должности... Всю дальнейшую жизнь Николай Степанович работал с полной отдачей своих сил, а по-другому он и не мог.

Николай Степанович с теплотой вспоминал свою жизнь и работу в Комсомольске-на-Амуре откуда он был направлен на наше предприятие с должности Главного инженера судостроительного завода.

Еще совсем молодым человеком в Краснодаре Н.С. получил рабочую закалку, на заводе. При случае, Николай Степанович с гордостью говорил, что вы имеете дело с электромонтёром 6-ого (высшего) разряда.

За время обучения в Новочеркасском политехническом институте Николай Степанович познакомился и подружился со Смирновым Л.В., впоследствии – зам. председателя ВПК. Николай Степанович любил спорт и в институте продолжал заниматься боксом и волейболом.



Семья для Николая Степановича всегда была на первом месте. Надо было видеть как он душевно общался с женой. Они прожили вместе более 60-ти лет. В 2007 году за два года до Николая Степановича Надежда Ивановна ушла из жизни. Вместе они много пережили. Большим ударом для них был уход из жизни сына Николая в 1971 году. В начале 80-ых годов Николай Степанович и Надежда Ивановна с интервалом в 2 года усыновили двух мальчишек: Александра и Алексея. Забота о них и дочери Виктории заполнили всю их оставшуюся жизнь.

Николай Степанович был человеком чести. После избрания в 1966 году членом-корреспондентом Академии наук СССР Н.С. несколько раз баллотировался в академики. Но каждый раз по разным причинам функционеры АН СССР просили Николая Степановича подождать до следующего раза. То надо было уступить дорогу нужному человеку, то советовали не критиковать «важных» учёных, то поступиться научными принципами. До «подковёрных» игр Николай Степанович не опускался. К сожалению, он в последующие годы не баллотировался в академики и официально не оформил свой давно заслуженный, всем известный, статус Академика с большой буквы.

Необходимо сказать о научной прозорливости Николая Степановича. Он был убеждён, что в настоящее время большая часть научных открытий находится на стыке наук. Этим объясняет широчайший спектр научных интересов Лидоренко – от медицины и биологии до физики и химии. Когда Николай Степанович освободился от административной работы, он всецело посвятил себя науке и основал Ассоциацию «Элквант», занимавшуюся нестандартными, прорывными, на неискушённый взгляд, абсурдными идеями. Николай Степанович, как мог, поддерживал учёных с необычными замыслами, с нестандартным мышлением и даже помогал некоторым из них личными деньгами.

Также Николай Степанович опекал молодых учёных, имеющих стремление к научному творчеству. Он был убеждён, что без фундаментальной науки нет и прикладной науки, а, следовательно, нет и прогресса в создании принципиально новых изделий. Вспоминаю неоднократные жаркие споры в руководстве предприятия. Спор шел о том что важнее производство или наука? Н.С. всегда утверждал, что наука!!!, а потом уже производство. Производственники приводили, казалось бы, неопровержимый аргумент: мы зарабатываем, мы кормим науку. На это следовал ответ: «кормите до поры до времени:

пока морально не устареют изделия, исчезнет спрос, а с ним и заработок. Следовательно, требуются постоянные инновации. А без науки это невозможно».

Николай Степанович был патриотом Родины. Вся жизнь его была посвящена ВНИИТу, НПО «Квант», СССР, России. Вспоминаются случаи при заключении договоров Ассоциации «Элквант». После предложений партнёрами схемы «откатов» Николай Степанович сразу прекращал переговоры и больше с этими людьми не имел дело. Он возмущался и говорил как герой Павла Луспекаева из фильма «Белое солнце пустыни»: «За державу обидно».

На заре всеобщей компьютеризации и сотовой связи Николай Степанович предостерегал от излишних восторгов и восхвалений всеобъемлющих возможностей интернета. Прогресс в этой сфере Николай Степанович приветствовал, но об осторожности просил не забывать. Он предполагал утечку секретных сведений и контроль, который осуществляет через интернет.

Также Николай Степанович предвидел опасность зависимости России от импорта, что может реально угрожать независимости страны. Сейчас мы видим, как с помощью импортозамещения руководство страны пытается исправить ситуацию.

Медицинское обслуживание семьи Николая Степановича осуществлялось 4-ым Главным управлением Минздрава СССР, и он, если была такая необходимость, покупал для сотрудникам лекарства, которых не было в других аптеках.

С юности Николай Степанович занимался спортом, что стало залогом его долголетия. Занимаясь боксом и волейболом, способствовал организации на нашем предприятии сильной волейбольной команды, которая занимала призовые места в районных, отраслевых и других соревнованиях. В 50-60-ые годы в обеденный перерыв на территории предприятия (на месте 47 строения находилась волейбольная площадка) сотрудники предприятия играли в волейбол вместе с директором. Несколько лет спустя был построен спортивный зал, которым много лет заведовал мастер спорта, волейболист основного состава ЦСКА. До последних дней жизни спортивная закалка позволяла Николаю Степановичу бодро «взбегать» на 2-ой этаж в свой кабинет.

Вспоминается ещё такой случай. Лидоренко Н.С., Солдатенко В.А. и другие сотрудники поехали в командировку на машине и уже где-то между Москвой и Смоленском попали в аварию. Машину вынесло с дороги и отбросило в дерево на обочине. Слава богу, скорость удалось сбросить и т.о. обошлось без ущерба для здоровья, да и машина не пострадала. Но стресс для всех был сильным. Так вот, после пережитого некоторые сотрудники вообще не появились на работе, а Николай Степанович в обычный час, пришел в свой кабинет и, как ни в чём не бывало, провёл свой рабочий день.

Буквально несколько последних лет жизни Николай Степанович проявил интерес к религии: несколько раз заводил разговор о библии, интересно трактовал некоторые её темы.

С особой благодарностью вспоминаю (простите, если кого забыл) людей, которые в последние годы жизни Николая Степановича оказывали посильную поддержку ему и его семье: Доева К.К., Касимова О.Г., Урусова К.Х., Янченко Г.И., Чувпило А.В., Тейшева Е.А., Утямышева И.Р., Тризно В.В., Борщёву И.С., Кузьменко Б.Б.

ВКЛАД Н.С. ЛИДОРЕНКО В СОЗДАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Д.С. Стребков, академик РАН,
заслуженный деятель науки и техники РФ*

Успешное осуществление космической программы СССР было невозможно без создания источников питания для всех космических аппаратов на базе фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии, которые начали использовать с 1958 г. Огромная роль в развитии этого направления науки и техники в нашей стране принадлежит одному из Главных конструкторов совета, возглавляемого С.П. Королевым, доктору технических наук, профессору, члену-корреспонденту РАН Н.С. Лидоренко. Именно в возглавляемом им с 1950 по 1986 гг. Всесоюзном научно-исследовательском институте источников тока (ВНИИТ), позже переименованном в НПО «Квант», были проведены разработки и осуществлен выпуск первых отечественных солнечных батарей (СБ) космического применения, параметры которых постоянно улучшались в результате успешных НИОКР сотрудников предприятия.

Свою трудовую деятельность во ВНИИТе я начал с сентября 1960 г. На работу меня принимала заместитель директора ВНИИТ, доброжелательная и высокообразованная к.т.н. Лидия Фёдоровна Пенькова. С директором ВНИИТ Николаем Степановичем Лидоренко мы встречались на научных совещаниях, торжественных заседаниях, собраниях партхозактива, где мы слушали его замечательные, часто импровизированные доклады по развитию науки и техники в области прямого преобразования энергии.

Во всех научных подразделениях ВНИИТ и НПО «Квант», в первую очередь, в отделении, где создавались первые солнечные батареи, работало много молодежи и была настоящая атмосфера научного творчества. Особо хотелось отметить стремление молодых учёных повышать свою квалификацию и поддержку этого стремления со стороны дирекции. Три больших курса по физике полупроводников, термоэлектрическим и фотоэлектрическим явлениям было прочитано для нас ведущими профессорами ФТИ им. А.Ф. Иоффе и ФИАН им. Лебедева.

Один из корпусов ВНИИТ был выделен для организации вечернего отделения электрофизического факультета Всесоюзного заочного политехнического института (сейчас Открытый университет), на котором обучалось более 100 сотрудников ВНИИТ. Выпускающей была кафедра «Основы радиотехники и телевидения» (ОРТ), которая готовила инженеров электронной техники по специальности «Электронные приборы». Все студенты и большинство преподавателей на 3-5 курсе были сотрудники ВНИИТ. Курсовые и дипломные проекты разрабатывались на актуальные темы научных исследований в лабораториях ВНИИТ, что решало проблему подготовки специалистов по новым методам прямого преобразования солнечной, тепловой и других видов энергии в электрическую, которых не готовили ни в одном ВУЗе страны. Я работал на кафедре ОРТ с 1967 по 1987 гг., читал лекции и проводил практические занятия по спецкурсам «Фотоэлектрические преобразователи», «Термоэлектрические преобразователи», «Солнечные электростанции», руководил дипломными проектами 60 выпускников ВЗПИ.

В 1967 г. я предложил технологии и конструкции матричных высоковольтных фотопреобразователей, современное название «Матричные солнечные элементы» (МСЭ), с $p-n$ переходами, перпендикулярными рабочей поверхности. Эта конструкция имеет преимущества перед планерными СЭ, поскольку линейные размеры микроэлементов могут быть сколь угодно малы. Сопротивление растекания также отсутствует, так как $p-n$ переход закрыт сплошным металлическим контактом. Тогда же во ВНИИТе был проведен расчет КПД этой конструкции и исследованы её основные характеристики.

С 1972 по 1987 гг. Н.С. Лидоренко, который умел быстро оценивать перспективы развития новых направлений и активно поддерживать их осуществление был научным руководителем исследований МСЭ в области наземной фотоэлектрической энергетики.

В 1958 г. солнечные батареи на кремниевых фотоэлементах впервые были установлены на третьем советском спутнике (а также и на американском спутнике «Авангард»). С тех пор солнечные элементы стали основным источником энергии на всех космических аппаратах на околоземной орбите.

Шестидесятые годы были годами стремительного развития солнечной фотоэлектрической энергетики для нужд космонавтики. Во ВНИИТе использовали разработки академика РАН Г.Г. Девятовых по особо чистым моносиланам для получения эпитаксиальных пленочных солнечных элементов на подложках из кремния, а также аморфных и поликристаллических солнечных элементов на фольге из молибдена, ниобия, подложках из графита и керамики. В 1965 г. была создана многокамерная установка непрерывного перемещения молибденовой фольги с рулона на рулон с резистивным подогревом и непрерывным осаждением тонких пленок и $p-i-n$ структур из аморфного кремния для солнечных элементов. Ввиду низкого КПД (2 - 3 %) эти работы не получили дальнейшего развития.

В 1970 г. были созданы двухсторонние солнечные элементы с n^+p-p^+ структурой, которые на низкоорбитальных спутниках увеличивали мощность на 30% за счет отраженного от Земли солнечного излучения.

Для повышения КПД были предложены каскадные конструкции СЭ из полупроводников с различной шириной запрещенной зоны и тонкий СЭ с тыльным барьером, созданным с помощью гетероперехода или изотипного перехода в базе (рис.). В первом случае КПД увеличивается за счет более полного использования спектра излучения, во втором случае – за счет уменьшения рекомбинации на контакте к базе и увеличения коэффициента сбора.

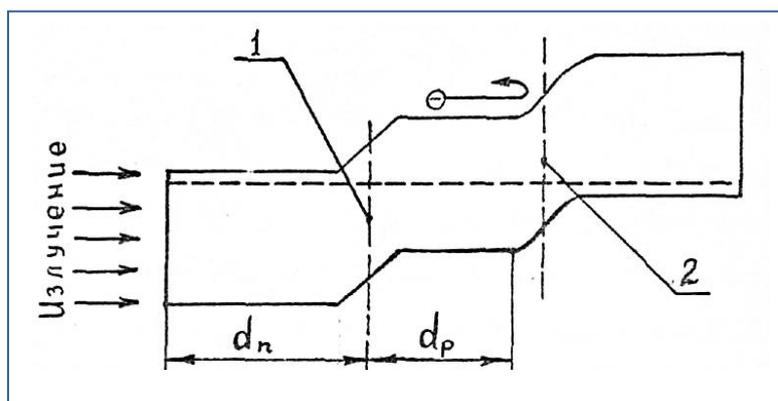


Рис. Энергетическая диаграмма СЭ из германия с тонкой базой ($d_p \approx L_n$) и высокой спектральной чувствительностью в инфракрасной области:

1 – $p-n$ переход; 2 – изотипный $p-p^+$ переход; d_n – толщина легированного слоя.

Работы по созданию новых конструкций и технологий солнечных элементов продвигались очень быстро благодаря активной поддержке чл.-корр. РАН Лидоренко Н.С., д.т.н. Рябикова С.Н., д.т.н. Ландсмана А.П., к.т.н. Зайцевой А.К. Была использована технология ионного легирования (к.т.н. Заддэ В.В.) и установки ионной имплантации ИЛУ-3, ИЛУ-4, созданные в Институте Атомной Энергии им. И.В. Курчатова.

Большой вклад в развитие планарных СЭ из кремния в 1950 - 1980 гг. внесли российские ученые, в том числе, Ландсман А.П., Васильев А.М., Бордина Н.М., Зайцева А.К., Заддэ В.В., Глиберман А.Я., Колтун М.М., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Далецкий Г.С., Гибадулин Н.Н., Кузнецов В.М., Козлов А.И., Летин В.А., Милованов А.Ф. и др. – сотрудники ВНИИТ, работавшие под руководством Н.С. Лидоренко.

Одной из проблем создания СБ с высоким напряжением (выше 100 В) является низкая ЭДС единичного солнечного элемента (СЭ), ухудшающая эксплуатационные характеристики энергетических установок из-за низкой надежности последовательной коммутации большого числа элементов.

В 1967 - 1971 гг. были созданы солнечные элементы из монокристаллического кремния с вертикальными *p-n* переходами и на их основе – новый класс матричных многопереходных солнечных элементов, на которые ВНИИТ во главе с Н.С. Лидоренко получил 14 патентов в США, Великобритании, Японии, Германии, Франции и других странах.

Д.И. Наследов (1903 - 1975) разработал технологию роста монокристаллов GaAs, InAs и солнечных элементов на их основе. В 1970 г. в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе был создан фотоэлемент на основе арсенида галлия, который имел высокий КПД. Здесь Ж.И. Алферовым, академиком РАН, лауреатом Нобелевской премии, была создана научная школа и сформировано новое направление, связанное с созданием теории и практики получения, исследования и применения многослойных, так называемых «каскадных» структур на основе соединений $A_{III}B_{V}$, в частности в фотоэнергетике, где они обеспечивают возможность существенного повышения КПД фотоэлементов за счет более полного использования всего спектра солнечного излучения и использования концентрированного солнечного излучения.

Во ВНИИТе научные разработки ФТИ им. А.Ф. Иоффе внедрялись д.т.н., профессором М.Б. Каганом, к.т.н. Холевым Б.А. на СБ из арсенида галлия для изделия «Луноход» и на ряде космических аппаратов, включая космическую станцию «Мир».

С 1964 г. при поддержке Н.С. Лидоренко начали развиваться работы по наземному применению кремниевых солнечных элементов. В 1967 г. была испытана первая в мире солнечная фотоэлектрическая установка с концентраторами мощностью 250 Вт для подъема воды в Каракумах.

В дальнейшем в НПП «Квант» и его филиалах осуществляли широкий спектр работ в области наземной фотоэнергетике, охватывающих аспекты СЭ, создание новых типов СЭ и изготовление на их базе фотоэлектрических установок.

В 1987 - 1988 гг. в ВИЭСХ перешла работать большая группа ученых из НПО «Квант». Были созданы филиалы ВИЭСХ с основными направлениями работ в Туркмении, Узбекистане и в Армении, а также в г. Улан-Удэ для использования солнечных энергетических технологий в Восточно-Сибирском регионе.

Учеными ВИЭСХ были разработаны технологии изготовления высокоэффективных СЭ площадью 100 см², двухсторонних СЭ, плоских модулей со сроком службы 20 - 25 лет. Продолжены работы по созданию новых технологий и конструкций высоковольтных СЭ с вертикальными *p-n* переходами и многослойных СЭ.

В 2003 г. созданы солнечные фотоэлектрические модули со стационарными концентраторами.

В 2003 - 2005 в ВИЭСХе была предложена глобальная солнечная энергетическая система с круглосуточным и круглогодичным производством электрической энергии и проведено её компьютерное моделирование. Для передачи тераваттных потоков электрической мощности этой энергосистеме и для местных энергосистем в ГНУ ВИЭСХ разработаны резонансные методы передачи электрической энергии.

Создано новое поколение матричных солнечных элементов с КПД преобразования концентрированного солнечного излучения 24 - 28%.

Современные технологии полупроводниковой электроники и нанотехнологии открывают новые перспективы развития и создания в ближайшие годы кремниевых солнечных элементов с КПД до 30% при преобразовании концентрированного солнечного излучения.

Российские ученые занимали ведущие позиции в создании технологий солнечной энергетики. В 21 веке разработаны не имеющие аналогов в мире технологии матричных солнечных элементов из кремния с КПД 24 - 28% при преобразовании концентрированного излучения, методы удвоения срока службы солнечных модулей, предложен Мега-проект по созданию глобальной солнечной энергосистемы с круглосуточным производством электроэнергии.



Руководители работ в области создания матричных солнечных элементов
в 1972 - 1987 годах.

Слева направо: Стребков Д.С. – заместитель Главного конструктора, начальник экспериментально-технологического подразделения НПО «Квант», академик РАН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; Лидоренко Н.С. – Генеральный директор, Главный конструктор НПО «Квант», Лауреат Ленинской и Государственной премии, Герой Социалистического Труда, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор; Рябиков С.В. – заместитель Генерального директора НПО «Квант», академик РАЕН, доктор технических наук, профессор, Лауреат Ленинской премии; Евдокимов В.М. – начальник теоретического подразделения НПО «Квант», академик РАЕН, доктор физико-математических наук, профессор.

Фотография сделана д.т.н., профессором Чувпило А.В. в кабинете Н.С. Лидоренко 26 ноября 2008 г.

После ухода Н.С. Лидоренко с поста Генерального директора НПО «Квант» в 1986 г. и моего перехода директором ГНУ ВИЭСХ в 1987 г. мы продолжали встречаться по несколько раз в год в НПО «Квант» и в ГНУ ВИЭСХ. Н.С. Лидоренко и С.В. Рябиков работали в диссертационном докторском Совете ГНУ ВИЭСХ по специальности 05.14.08 «Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии». Обсуждались планы новых работ, новые научные идеи, перспективы развития новых видов техники. До последних дней Н.С. Лидоренко был активен, продолжал сотрудничество с многочисленным отрядом своих учеников и сподвижников, оказывал поддержку молодым ученым, работаю-

щим в самых разных организациях. Последняя встреча состоялась 26 ноября 2008 г. в кабинете Н.С. Лидоренко в НПП «Квант»

За годы своего руководства ВНИИТ и НПО «Квант» до 1986 г. Н.С. Лидоренко создал отрасль безмашинной энергетики на основе методов прямого преобразования различных видов энергии в электрическую. Были созданы новые направления безмашинной энергетики: химические, тепловые, термоэлектрические, фотоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи, топливные элементы и др. Было организовано промышленное производство безмашинных генераторов энергии, которые до этого не выпускались в СССР. Уровень разработок был очень высокий. Например, в области МСЭ СССР, а сейчас Россия, производит МСЭ с КПД и по технологии, которые значительно превышают параметры аналогичных изделий США и других стран.

Николай Степанович воспитал плеяду первоклассных учёных, которые помнят и ценят своего учителя и его черты: благожелательность, простота и открытость для общения, колоссальная работоспособность, смелость и новаторство в научных разработках, нацеленность на промышленное внедрение и использование новых технологий для народного хозяйства и нужд обороны страны.

Большой трагедией для Н.С. Лидоренко и для нас, его учеников, стало разрушение СССР и созданной под его руководством отрасли безмашинной энергетики. Одной из причин этой трагедии явился уход многих крупных учёных из НПО «Квант». Новые руководители НПО «Квант» были хорошими организаторами, но не обладали уровнем мышления научного лидера, которому свойственна генерация крупных научных направлений и проектов, благожелательное отношение к полуфантастическим идеям, поддержка и привлечение талантливых учёных, отсутствие неприязни и мстительности к научным оппонентам.

Чем больше времени проходит после ухода из жизни Н.С. Лидоренко, тем ярче и грандиознее представляются освоенные им вершины в науке и технике, тем больше начинаешь осознавать роль личности в создании и развитии новых знаний и в становлении промышленности, основанной на инновационных технологиях.

Николай Степанович верил в будущее России, в возрождение её науки и промышленности, в восстановление НПП «Квант», как лидера отрасли безмашинной энергетики. Эта вера помогла и нам выжить в трудные перестроечные годы. Возрожденный и сильный НПП «Квант» будет лучшим памятником Главному конструктору и замечательному учёному Николаю Степановичу Лидоренко.

КОСМИЧЕСКАЯ ФОТОЭНЕРГЕТИКА – ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.Б. Каган, д.т.н., профессор

Прошло почти 60 лет с того знаменательного события, когда во Всесоюзном НИИ источников тока (ныне АО «НПП «Квант»), которым руководил Н.С. Лидоренко, были получены первые образцы кремниевых фотоэлектрических преобразователей (ФП) – устройств, непосредственно вырабатывающих постоянный электрический ток при воздействии солнечного света. Вскоре после этого, практически одновременно с американцами, была создана первая в России кремниевая солнечная батарея (СБ) для третьего советского искусственного спутника Земли (рис. 1). Трудно переоценить значение этих событий для отечественной космической техники, получившей эффективный, надежный и практически безопасный первичный генератор энергии для работы в космосе. Начавшаяся в этот период мировая эра освоения космического пространства, создания космических аппаратов для самых разных орбит немыслима без успешного развития науки и технологии, позволяющей создавать все более и более эффективные солнечные батареи, – полупроводниковой фотоэнергетики. Это направление в космической технике, развиваемое в России и мире уже более полувека, обеспечило все мировые и отечественные проекты и достижения в создании космических аппаратов (КА) главным, без чего они не существуют – электроэнергией. Сегодня никто не представляет себе КА без привычных «крылышек» – панелей солнечных батарей.



Рис. 1. Советский искусственный спутник Земли «Спутник-3» с первой кремниевой солнечной батареей мощностью несколько десятков ватт. Выведен на орбиту 15 мая 1958 года.

Трудно переоценить роль Н.С. Лидоренко, которому посвящен настоящий сборник, в становлении, развитии науки и создании в стране производства СБ для КА. Проницательный ученый и практик, Николай Степанович еще тогда, в начале 60-х годов прошлого века сумел увидеть и осознать значение и перспективы космической фотоэнергетики. С присущей ему энергией в кратчайшие сроки был впервые создан коллектив специалистов, сумевших получить требуемые начальные результаты, которые были положены в основу дальнейшего

развития. Здесь следует особо отметить вклад А.П. Ландсмана, А.М. Васильева, А.К. Зайцевой, А.Я. Глибермана, В.М. Ржевского. Громадной заслугой Н.С. Лидоренко является и тот факт, что, участвуя в работе Совета Главных Конструкторов под руководством С.П. Королева, он сумел убедить членов Совета в перспективности новой системы энергоснабжения КА, в которой роль первичного источника электроэнергии отводилась СБ.

В этой статье невозможно даже перечислить все принципиальные разработки и достижения, выполненные за прошедшие годы во ВНИИТ-е и в дальнейшем в АО «НПП «Квант» в области космической фотоэнергетики. Отметим лишь важнейшие из них, осуществленные под руководством и при непосредственном участии Н.С. Лидоренко:

- Создание нескольких оригинальных технологий производства кремниевых ФП, таких, например, как элионная технология создания n-p-p⁺ структур, используемая и в настоящее время;
- Разработка, теоретический анализ и реализация в производстве новых моделей кремниевых ФП, таких, например, как ФП с двухсторонней чувствительностью, получивших мировое признание (рис. 2);



Рис. 2. МКС, на которой установлены и успешно работают кремниевые СБ с двусторонней чувствительностью производства АО «НПП «Квант».

- Создание технологии сборочных процессов СБ большой площади, позволяющих осуществлять сборку с минимальными потерями в цепях на каркасах различной конструкции. При этом один из наиболее применяемых типов каркасов – сетчатый также предложен впервые во ВНИИТ-е;
- Исследования в области оптики и метрологии ФП, позволившие предложить и реализовать систему защитных антиотражающих покрытий для них, а также развить метрологическую систему, использующую имитаторы солнечного излучения для оценки с высокой точностью параметров СБ в полете;
- Проведение обширного цикла исследований и испытаний по влиянию факторов космического пространства на параметры СБ. К основным факторам здесь относятся космическая радиация, термоциклирование в широком диапазоне температур, плазменные явления на поверхности. Результатом этих работ явилась корректная, неоднократно проверенная в лёте, методика оценки степени деградации начальных параметров СБ,

позволяющая гарантированно оценить основной параметр, интересующий заказчика – величину вырабатываемой мощности в конце срока активного существования КА;

- Создание технологии изготовления ФП и СБ на основе арсенида галлия – полупроводника, имеющего значительные преимущества перед кремнием по достигаемому к.п.д. ФП, их температурной стабильности и радиационной стойкости. Создание впервые в мире СБ на основе арсенида галлия для АМС к Венере (рис. 3), Луноходов 1 и 2, а также СБ мощностью 10 кВт на основе гетеропереходов GaAlAs-GaAs для ДОС «Мир» (рис. 4), успешно, с минимальными потерями отработавшей в течение 15-ти лет. Она является прообразом СБ на основе современных многокаскадных ФП, также детально рассмотренных во ВНИИТ-е. Разработка и изготовление впервые в России СБ на основе трехпереходных ФП для КА KAZSAT-1;

- Создание системы проектирования и конструирования СБ, их наземной отработки и квалификации.



Рис. 3. Советский космический аппарат «Венера-4» с первой в мире арсенид галлиевой солнечной батареей. Запущен в космос 12 июня 1967 года

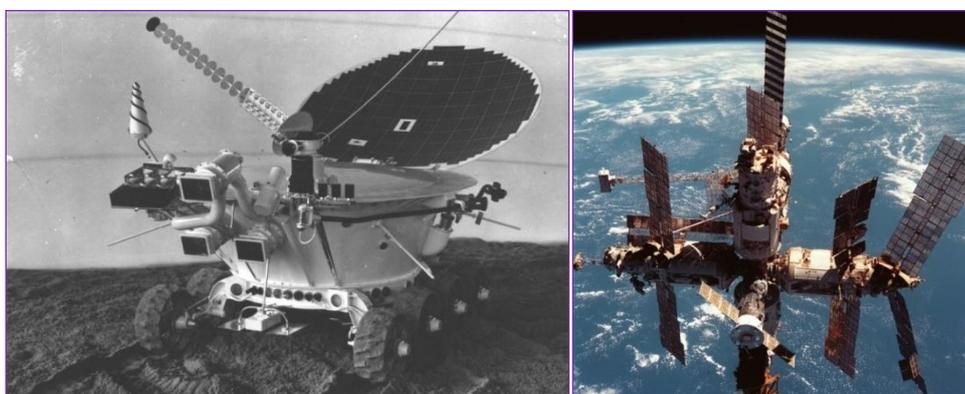


Рис. 4. Луноход (слева) и орбитальная станция «Мир» (справа).

Результатом всего перечисленного является участие АО «НПП «Квант» в течение многих лет без срывов и замечаний во всех основных отечественных проектах в области космической техники и освоения космического пространства путем разработки и изготовления кремниевых и арсенид-галлиевых СБ. За этой простой констатацией стоит

громадный труд многих блестящих ученых, конструкторов, технологов и производителей, работавших и работающих ныне в АО «НПП «Квант», творчеству которых должны быть посвящены отдельные статьи. Отдавая им должное и вновь отмечая выдающуюся роль Н.С. Лидоренко в реализации задач космической фотоэнергетики, хотелось бы перекинуть мостик в день сегодняшней, а также внимательно посмотреть на перспективу.

Современное состояние космической фотоэнергетики

Требования по энерговооруженности современных и перспективных КА представлены в табл. 1.

Таблица 1

Требования по энерговооруженности современных и перспективных космических аппаратов

Тип КА	Назначение	Требования по энерговооруженности, кВт	существования
Малые КА	Исследования	Более 0,02	1-3
Малые искусственные спутники земли на низких и промежуточных орбитах	Дистанционное зондирование земли, связь	2-4	5-10
Долговременные орбитальные станции и платформы (типа МКС)	Многоцелевые	100-400	Более 15
Платформы для геостационарных орбит	Телекоммуникация, глобальная связь	10-30	Более 15
КА для межпланетных перелетов	Межпланетные сообщения и исследования	5-10 (беспилотные), до 6000 (пилотируемые)	3-5, 10
Космические электростанции	Передача энергии из космоса	Более 1000	Более 15

Достижение требуемого энергообеспечения КА прямо зависит от применяемой элементной базы – кремниевых ФП или ФП на основе арсенида галлия. Основные характеристики элементной базы для СБ космического назначения представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Основные характеристики элементной основы СБ космического назначения

Элементная основа СБ космического назначения	САС*, лет	Удельная мощность, Вт/м ²	
		В начале САС	В конце САС
Кремниевые ФП	7-10	160-170	100-120
Трехкаскадные ФП на основе п/п соединений А ₃ В ₅	15	370	300

* САС – срок активного существования.

В настоящее время используемые на протяжении многих лет кремниевые СБ космического назначения по своей эффективности и ресурсным возможностям не в состоянии удовлетворить требования, предъявляемые к современным космическим КА:

- максимальная выходная мощность (>10 кВт) БС при минимизации площади и массы;
- обеспечения САС 15 лет и более;
- минимальная деградация начальных характеристик за САС.

Мировая тенденция последних лет – это интенсивное развитие нового направления в космической фотоэнергетике: СБ на основе наногетероструктурных каскадных ФП с эффективностью до 30%, использующих арсенид галлия и другие соединения 3-ей и 5-ой групп периодической таблицы Менделеева, выращиваемые на инородной подложке с помощью MOCVD – технологии. В настоящее время на использование новых СБ перешло более 90% мировых производств.

В России каскадные ФП на основе арсенида галлия используются для энергообеспечения аппаратов на платформе Экспресс-1000Н (КА Amos-5, Telcom-3, Ямал-300) и на платформе Экспресс 2000 (КА Экспресс АМ-5, Экспресс АМ-6, Ямал-401) в ОАО ИСС им. Решетнева. Большинство других российских производителей КА, в частности, ГКНПЦ им. Хруничева (КА Экспресс МД1, Казсат-1, Экспресс МД2 и последующие КА этой серии, Казсат 2 и ряд других КА), НИИЭМ (КА Конопус В, Метеор 2), «НПО машиностроения» (КА Кондор) в результате повышения требований к энерговооруженности также перешли на заказ СБ, использующих каскадные ФП. Особенно актуальным является использование каскадных ФП при создании тяжелых спутников для геостационарной орбиты (ГСО) с требуемой мощностью более 14 кВт в конце срока САС, равного 15 лет. Успешным примером такого проекта является КА Экспресс АМ-5,6.

Созданная в АО «НПП «Квант» опытная линия изготовления трехкаскадных ФП на основе арсенида галлия и разработанная технология, по которой изготовлены фотопреобразователи, находящиеся в настоящее время в лётной квалификации в составе первого комплекта БС КА 762-В, позволили приступить к выполнению инвестиционного проекта по созданию производства таких ФП и автоматизированной сборки СБ на их основе. Его реализация позволит ежегодно изготавливать на базе отечественной элементной базы СБ общей площадью 240 м² и, таким образом, снизить зависимость от зарубежных поставок и политической конъюнктуры.

В табл. 3 представлены данные по мировым производителям космических солнечных батарей, а в табл. 4 – по производителям каскадных ФП.

Таблица 3

Мировые производители каскадных ФП

Производители каскадных ФП космического назначения (страна)	Количество реакторов MOCVD на 2014 г.
Spectrolab (США)	9
Emcore (США)	9
Azur Space(Германия)	5
Cesi (Италия)	1*
Sharp(Япония)	2
Китай	1
ОАО «НПП «Квант» (Россия)	1*
ОАО «Сатурн» (Россия)	2*
* данные на 2012 год	

На сегодня практически все основные производители КА при заказе СБ ориентируются на использование каскадных ФП.

Современные ФП на основе полупроводниковых материалов германия и соединений арсенида галлия, индий-галлий-фосфора представляют собой многослойный монокристалл, выращенный на низкодефектных монокристаллических германиевых пластинах методом осаждения из газовой фазы при заданных температурах и давлении в потоке водорода и продуктов реакций диссоциации алкилов Ga, In, Al, гидридов P и As, а также в присутствии малых количеств Si, B, C, Al, Zn, Te, Sb и других легирующих элементов.

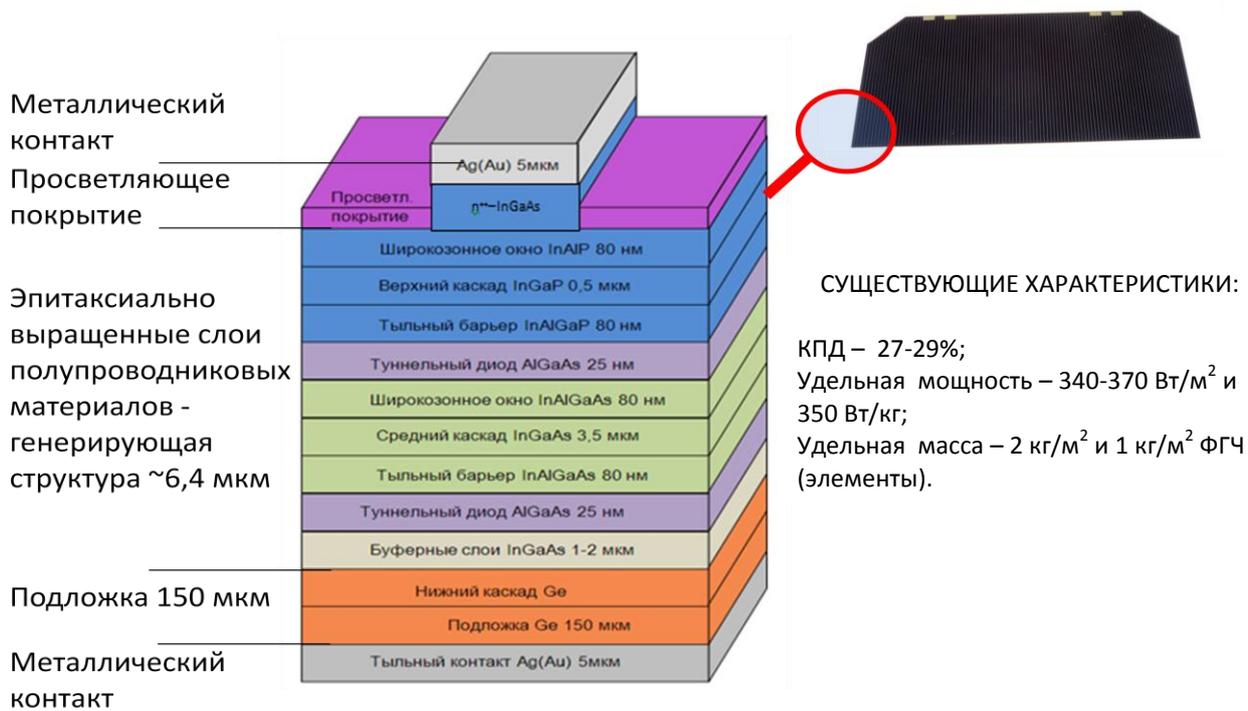


Рис. 5. Схема строения трехкаскадного ФП.

В подобных ФП повышенный к.п.д. достигается за счет того, что в каждом из входящих в структуру материалов образуется p-n переход, который преобразует отдельную часть спектра. Применение комбинации материалов с шириной запрещенной зоны 2; 1,4; 0,7 эВ позволяет преобразовывать значительную часть солнечного спектра.

Схематично общее строение трехкаскадного ФП на основе A_3B_5 представлено на рисунке 5.

Трехкаскадные ФП содержат в общей сложности до 30-ти слоев, половина из которых являются наноразмерными, в частности, туннельные диоды, буферные прослои, «окна», диффузионные барьеры и слои специального назначения. Получение столь сложного прибора с соответствующими характеристиками стало возможно только благодаря использованию технологии МОС-гидридной газофазовой эпитаксии, которая позволяет проводить контролируемый эпитаксиальный рост планарных наногетероструктур.

На рис. 6 приведены типовые спектральные характеристики для трехкаскадных наногетероструктурных ФП, показывающие квантовую эффективность отдельных каскадов, в сумме дающих наиболее полное использование излучения солнечного спектра для преобразования световой энергии в электрическую.

В приборах подобного рода происходит соединение каждого из элементов каскада друг с другом с помощью наноразмерных туннельных диодов. Такая конструкция определяет полную суммарную эффективность ФП, как прибора. Эффективность каждого слоя возрастает при применении дополнительного верхнего слоя каскада «окна», которое приводит к снижению уровня рекомбинации на поверхности каждого каскада. Создание специальных туннельных диодов дает возможность объединения слоев в единую электрическую цепь. Для снижения уровня рекомбинационных потерь необходимо выдерживать нанометровые размеры барьерных слоев.

Кроме рабочей наногетероструктуры, конструкция ФП должна содержать многослойные токосъемные контакты и функциональные покрытия, для получения которых применяется термовакуумное напыление с автоматизированным контролем толщины

напыляемых слоев. Наличие многослойности в контактной системе должно обеспечить надежность и долговечность в работе СБ в условиях космоса.

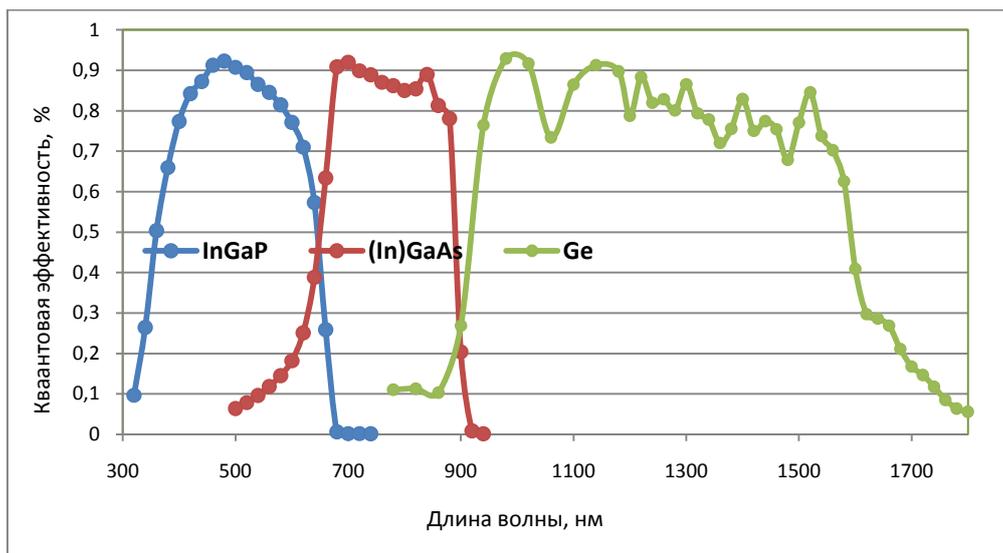


Рис. 6. Квантовые эффективности каскадов трехкаскадных и модифицированных трехкаскадных ФП от длины волны падающего излучения (данные АО «НПП «Квант»).

Типичная вольт-амперная характеристика трехкаскадных ФП, изготовленных в АО «НПП «Квант» приведена на рис. 7.

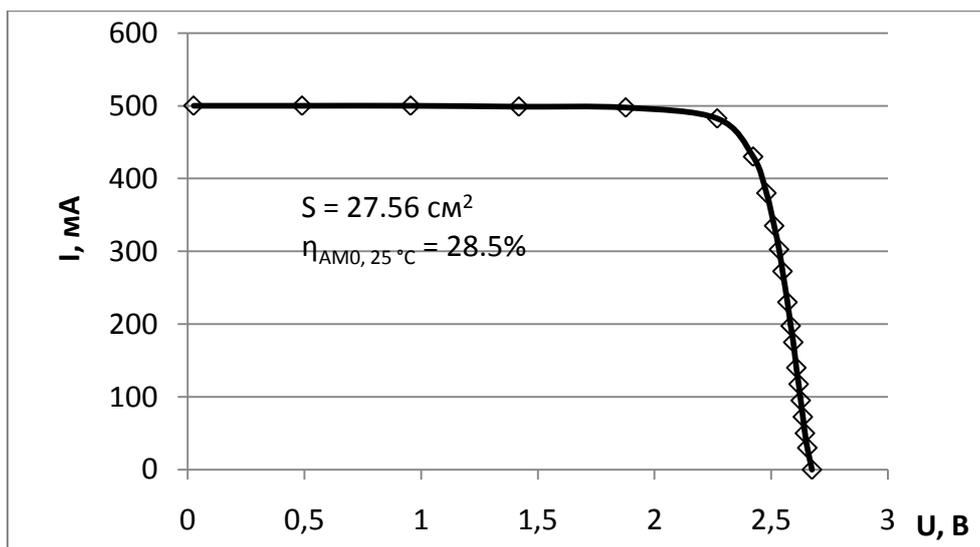


Рис. 7. Типичная вольт-амперная характеристика трехкаскадного ФП, изготовленного в АО «НПП «Квант».

Перспективы повышения эффективности СБ и их удельных энергетических характеристик и САС

С целью повышения эффективности СБ, их удельных энергетических характеристик и САС в мире в последнее время получили развитие следующие направления:

1. Повышение к.п.д. ФП и, соответственно удельной мощности СБ ($\text{Вт}/\text{м}^2$) за счет перехода на 4-х, 5-ти и 6-ти каскадные структуры.
2. Повышение удельной энергомассовой характеристики СБ ($\text{Вт}/\text{кг}$) за счет утонения ФП, перехода на облегченную подложку, например, кремний или стекло.
3. Усовершенствование моделей каскадных ФП с целью расширения спектрального диапазона за счет квантовых эффектов и изменения механизма поглощения.
4. Повышение САС > 15 лет за счет дополнительного снижения уровня радиационных потерь с помощью введения в структуру ФП специальных слоев.

На рис. 8 представлены новые перспективные модели ФП, соответствующие указанным направлениям.

Увеличение к.п.д. ФП до 32-35% можно достичь в случае увеличения числа каскадов за счет оптимизации токов и напряжений каскадов при их спектральном и электрическом согласовании.

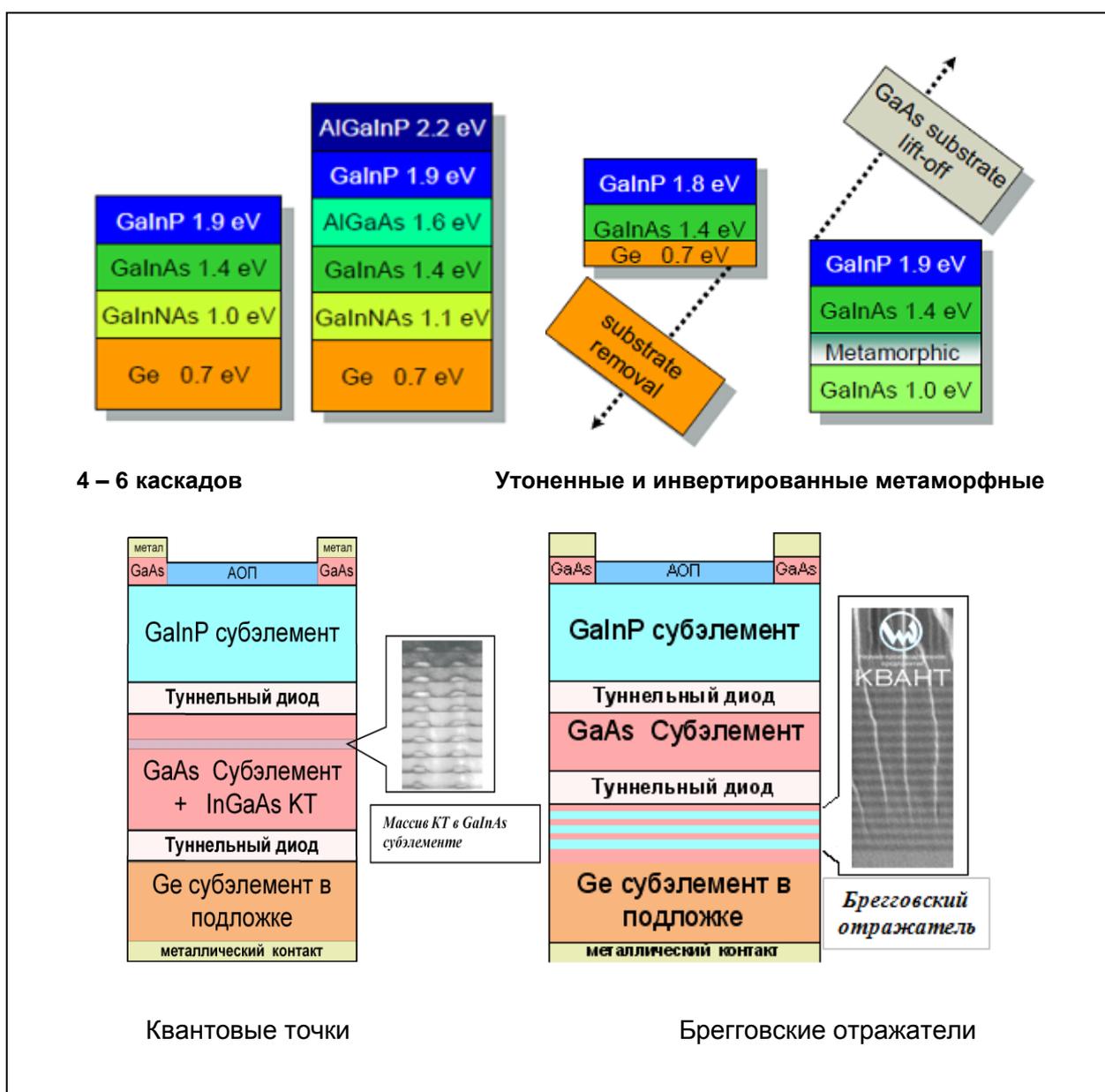


Рис. 8. Новые перспективные модели ФП.

Повышение удельной энергомассовой характеристики связано с уменьшением доли несущей германиевой подложки и соответственно с увеличением доли генерирующей части ФП. Внутри этого направления существует несколько подходов. Первый из них связан с частичным или полным удалением германиевой подложки и заменой ее на более легкий носитель – кремний, стекло, полимеры. Второй подход состоит в полном изменении порядка роста эпитаксиальных слоев. В этом случае подложка, используемая для эпитаксиального роста полностью удаляется, а структура переносится на облегченный носитель таким образом, что первый эпитаксиальный слой становится верхним каскадом ФП. Подобные ФП получили название инвертированных метаморфных из-за обратного порядка каскадов и рассогласования параметров кристаллической решетки эпитаксиальных слоев.

Направление, связанное с расширением спектрального диапазона за счет квантовых эффектов и изменения механизма поглощения реализуется за счет введения в структуру ФП квантовых точек и квантовых ям. Подобные квантоворазмерные объекты могут быть реализованы методом молекулярно-лучевой эпитаксии, а изготовление полной структуры ФП потребует комбинированного использования технологий молекулярно-лучевой и газофазовой эпитаксий.

Направление по увеличению радиационной стойкости ФП основывается на снижении количества дефектов за счет снижения толщин генерирующих слоев. Это может достигаться введением в структуру ФП дополнительных специальных слоев, например, брегговских отражателей.

Таким образом, по основным направлениям развития космической энергетики в части элементной базы на ближайшие 10-15 лет можно ожидать достижения эксплуатационных характеристик ФП с повышенными мощностными и удельными энергомассовыми параметрами на уровне СИС и ФГЧ (табл. 4).

Таблица 4

Оценка удельных энергомассовых характеристик на уровне СИС и ФГЧ

№	Тип ФП	η_{VOL} АМО (28°C)	Удельная мощность VOL Вт/м ²	Подложка ФП	Удельная ЭМХ, Вт/кг на уровне ФГЧ на уровне СИС	Удельная ЭМХ, Вт/кг на уровне ФГЧ
1.	Трехпереходный (современный уровень)	28%	380	Ge, 140мкм	260-314 (1.46 -1.2 кг/м ²)	228-271
2.	Трехпереходный (усовершенствованный)	30%	400	Ge, 140мкм	280-340 (1.46 -1.2 кг/м ²)	245-291
3.	Многoperеходный (4 каскадные)	33%	450	Ge, 140мкм	310 (1.46 -1.2 кг/м ²)	273-325
4.	Многoperеходный (6 каскадные)	37%	500	Ge, 140мкм	340 (1.46 -1.2 кг/м ²)	300-360
5.	Трехпереходный (утоненные)	28%	380	Ge, 75мкм	550 (0.69 кг/м ²)	426
6.	Трехпереходный (инвертерные)	33%	450	удаляемая подложка	1000 (0.45 кг/м ²)	690

Примечания: 1. СИС – солнечный элемент, снабженный выводами и покрытый стеклянным покрытием.
2. Толщина стеклянного покрытия лежит в пределах 100 – 200 мкм.
3. Удельный вес кабельной сети, развязывающих диодов и т.д. составляет 200 г/м² в сегодняшних конструкциях и может быть снижен примерно вдвое.

Перспективы развития элементной базы космической фотоэнергетики до 2025 года представлены на рис. 9.

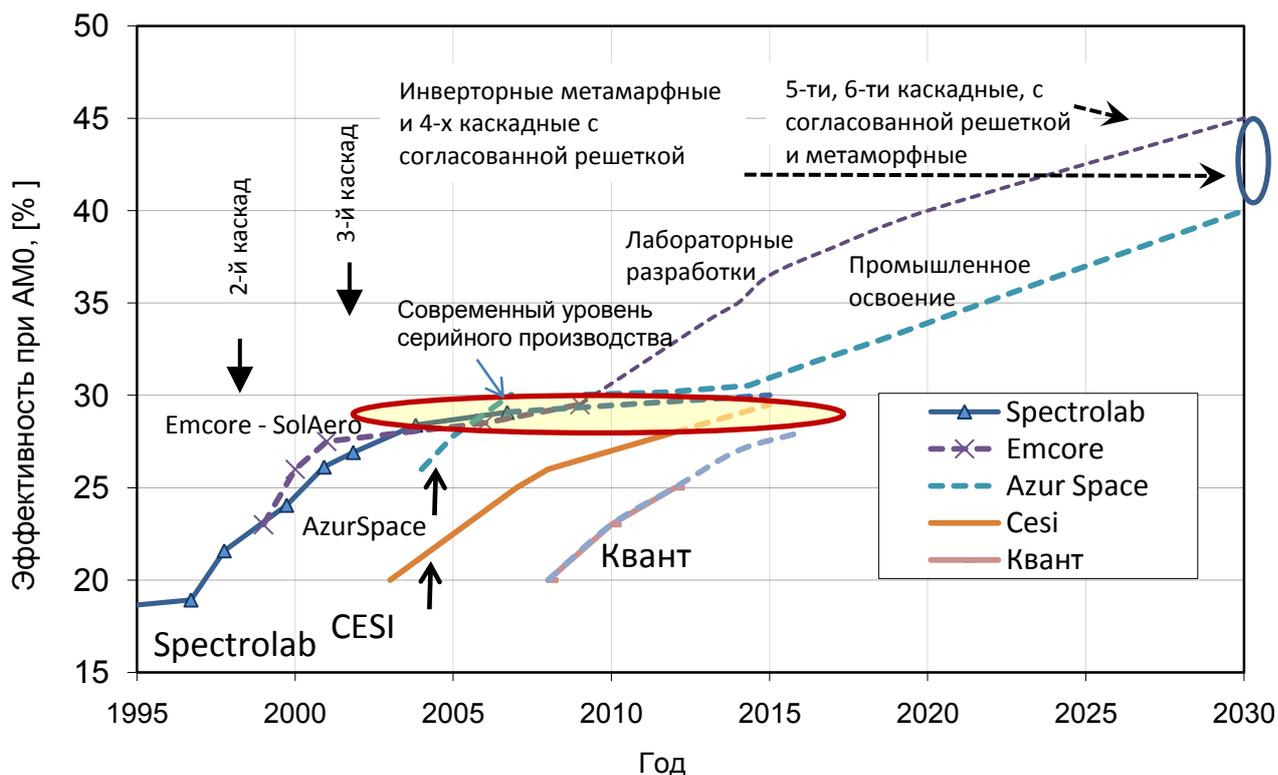


Рис. 9.

Видно, что, как правило, разработка трехкаскадных элементов занимает от 7 до 10 лет, причем темпы роста эффективности этих ФП снижаются, а величина эффективности достигает насыщения при значении 29%. Эта тенденция наблюдается практически для всех разработчиков и связана она как со сложностью самого прибора, так и со сложностью технологии его изготовления.

Следует отметить, что АО «НПП «Квант» также, как и все мировые фирмы в разработке и изготовлении ФП космического назначения, ведет научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по перспективным направлениям развития элементной базы для солнечной энергетики. Так, в 2015 году в АО «НПП «Квант» завершена работа по разработке технологии изготовления ФП космического назначения с удельными характеристиками до 400 Вт/кг и 400 Вт/кВ·м и получены первые опытные образцы. Разработаны образцы фотопреобразователей для концентрированного излучения, демонстрирующие к.п.д. > 36% при 150-кратном усилении солнечного спектра.

Автор выражает глубокую благодарность В.А. Унишкову, В.Ф. Иванову, М.И. Гайдару, Б.А. Холеву, А.Ф. Милованову, Г.М. Григорьевой, Т.П. Дорохиной за многолетнее сотрудничество, результаты которого во многом и нашли отражение в этой статье.

Особая благодарность новому поколению «космических фотоэнергетиков» во главе с Б.В. Жалниным и Е.В. Обручевой – А.А. Лебедеву, Е.В. Слыщенко, Н.Т. Вагаповой в представлении сегодняшнего дня и перспектив.

ТЕНДЕНЦИЯ РАЗРАБОТКИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ АО «НПП «КВАНТ»

М.В. Нестеришин, Н.В. Стадухин, Н.Ф. Макарова, Е.О. Воронцова
АО «ИСС» им. Академика М.Ф. Решетнева

АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» осуществляет разработку и изготовление космических комплексов связи, телевидения, ретрансляции и геодезии, а также в их эксплуатацию и управление.

Солнечная батарея (БС) является первичным источником электрической энергии на космическом аппарате (КА), предназначенным для питания служебных систем и полезной нагрузки. Энергопитание осуществляется за счёт преобразования солнечной энергии в электрическую.

Начиная с 1964 года под руководством Н.С. Лидоренко «Квант» являлся основным разработчиком и изготовителем солнечных космических батарей для КА. Совместно с нашими специалистами Г.Д. Эвеновым, В.С. Кудряшовым были проведены первые разработки солнечных батарей для КА, таких как Стрела, Молния, Циклон, Сфера и т.д.

Основной тенденцией развития солнечных батарей КА является увеличение их удельных энергетических характеристик и ресурса. В обеспечение удельной мощности и удельной массы НПП «Квант» в течение ряда лет проводил работу по поэтапному улучшению характеристик солнечных батарей БС.

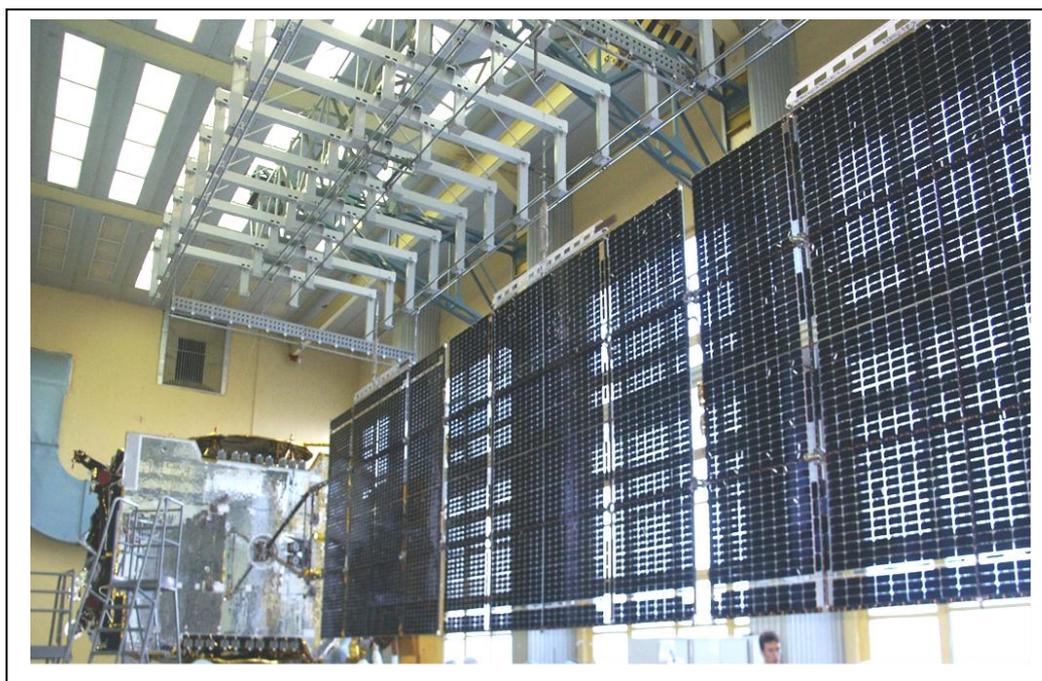


Рис. 1. Крыло солнечной батареи.

В 2000г. в НПО ПМ впервые в России был изготовлен и выведен на геостационарную орбиту (ГСО) первый КА с десятилетним сроком эксплуатации на орбите – КА «Sesat». БС,

установленная на КА, была разработана и изготовлена в ГНПП «Квант». Это была первая солнечная батарея рассчитанная на такой долгий срок.

Фотоэлектрические батареи «Sesat» были собраны с использованием кремниевых солнечных элементов. Материалом солнечных элементов был монокристаллический кремний из элементов фотопреобразователей (ФП) с изотопным переходом и тыльным отражателем (типа BSFR).

Удельная мощность БС с площади $61,2 \text{ м}^2$ в конце срока активного существования (САС) 10,5 лет составила $93,3 \text{ Вт/м}^2$.

Для следующего поколения серии КА «Экспресс-АМ» с гарантийным сроком эксплуатации 12,5 лет в НПП «Квант» был проведен комплекс мероприятий по унификации типоразмеров и по внедрению комбинированной диффузионно-эпионной технологии, позволяющих изготавливать кремниевые ФП размером $25 \times 50 \text{ мм}$ и обеспечивающие повышение КПД ФП.

Для серии КА «Экспресс-АМ» удельная мощность в конце САС 12,5 лет составила 111 Вт/м^2 .

В солнечных батареях КА SESAT и КА «Экспресс-АМ» применялся углепластиковый каркас с сеточной подложкой и солнечными элементами, прикрепленными к сетке посредством специальных металлических фиксаторов.

На конец 2015 г. КА «Sesat» эксплуатируется на орбите в течение 15,8 лет, КА «Экспресс-АМ» – в течение 12 лет.

В настоящее время, используемые на протяжении многих лет кремниевые БС по своей эффективности и ресурсным возможностям стали не в состоянии удовлетворять требования, предъявляемые к современным космическим аппаратам:

- максимальная выходная мощность ($> 20 \text{ кВт}$) БС при минимизации площади и веса;
- обеспечения срока активного существования 15 лет и более;
- минимальная деградация начальных характеристик за САС.



Рис. 2. Крыло солнечной батареи площадью 88 м^2 .

На протяжении последних 20 лет за рубежом интенсивно развивалось новое направление в космической фотоэнергетике: БС на основе наногетероструктурных каскадных ФП с эффективностью до 30%, использующих арсенид галлия и другие

соединения 3-ей и 5-ой групп периодической таблицы Менделеева (A_3B_5), выращиваемые на инородной подложке с помощью MOCVD – технологии.

Особенно актуальным является использование каскадных ФП при создании тяжелых спутников для геостационарной орбиты (ГСО) с требуемой мощностью более 14 кВт в конце САС, равного 15 лет, на которых использование существующих кремниевых батарей полностью неприемлемо.

Начиная с 2005 г. ОАО «НПП Квант» начал вести работы по созданию собственной элементной базы на основе наногетероструктурных фотопреобразователей.

С 2010 г. к телекоммуникационным космическим аппаратам ОАО «ИСС», предназначенным для функционирования на геостационарной орбите, начали предъявляться требования на уровне зарубежных стандартов в части:

- 1) жесткое ограничение массы со стороны средств выведения;
- 2) большая мощность полезной нагрузки
- 3) ресурс 15 лет.

Анализ тенденций развития космических телекоммуникационных систем показывает, что решающим конкурентным преимуществом КА является количество работающих на борту ретрансляторов (транспондеров). Как следствие, требуется постоянно повышать энерговооруженность КА и снижать массу его служебных систем (платформы).

Основным средством достижения конкурентного преимущества КА является улучшение удельных энергомассовых и ресурсных характеристик источников энергии бортовых систем – в частности, солнечных батарей. На пути к данной цели должны быть решены следующие задачи:

- а) повышение энергоэффективности ФП;
- б) снижение массы;
- в) повышение радиационной стойкости;
- г) повышение ресурса.

Для выполнения поставленных задач в 2010г ОАО «НПП «Квант» сделал мощный рывок в улучшении характеристик солнечных батарей, что позволило ОАО «ИСС» увеличить выходную мощность полезной нагрузки космических аппаратов с 4 кВт до 6 кВт для платформы типа «Экспресс-1000Н», а затем и до 12,5 кВт для платформы типа «Экспресс-2000».

Это оказалось возможным благодаря появлению на мировом рынке арсенид-галлиевых трехкаскадных ФП с КПД (28 - 29) %, что позволило ОАО «НПП «Квант» разработать солнечные батареи с удельными характеристиками фотогенерирующей части солнечных батарей на начало САС до 320 Вт/м².

Внешний вид солнечных батарей для платформы типа «Экспресс-1000Н» и платформы типа «Экспресс-2000» приведены на рисунках 1 и 2.

В настоящее время АО «НПП «Квант» изготовило солнечные батареи для КА разработки АО «ИСС», используя импортные трехкаскадные GaAs ФП для КА «Amos-5», «Telkom 3», «Ямал-300К», «Луч», «Ямал-401», «Экспресс-АТ1», «Экспресс-АТ2», «Kazsat-3» «Экспресс-АМ5», «Экспресс-АМ6», которые проходят лётные испытания в составе КА

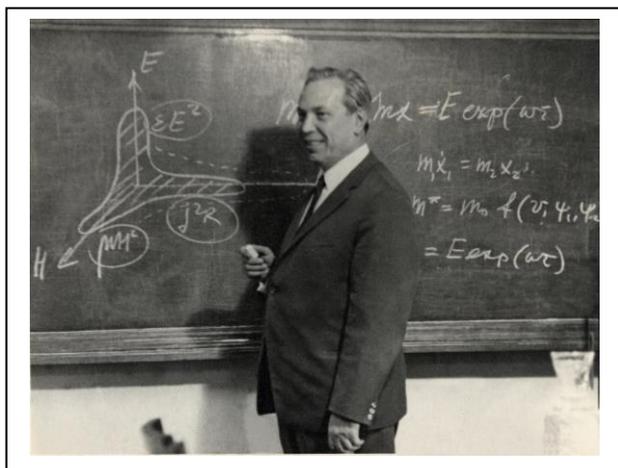
*М.В. Нестеришин, начальник отдела
Н.В. Стадухин, начальник сектора
Н.Ф. Макарова, ведущий инженер-конструктор
Е.О. Воронцова, инженер-конструктор*

ТЕРМОДИНАМИКА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

В.М. Евдокимов, академик РАН, д.ф-м.н., профессор

Преобразование электромагнитных излучений Солнца и других тепловых источников, а также различных лазерных излучений в технически наиболее удобный и экологически чистый вид энергии – электроэнергию или в другие эквивалентные виды энергии широко вошло практически во все сферы жизни и деятельности человечества. Теоретические и прикладные исследования механизмов преобразования светового излучения в электрическую энергию посредством фотовольтаического эффекта в полупроводниках позволили выявить физические условия повышения КПД фотопреобразователей (ФП) и наметить технологические пути их реализации [1, 2]. Они включают анализ механизмов кинетики и оптимизацию фотозлектрических эффектов в неоднородных полупроводниковых структурах, усовершенствование параметров исходных полупроводников и технологии создания этих структур, создание фотозлектрических устройств с концентраторами излучений; разработку новых систем и способов фотопреобразования, в том числе с использованием каскадных устройств из различных типов преобразователей.

Тем не менее, проблема установления перспектив повышения эффективности преобразования солнечного и других видов излучения в электроэнергию остается актуальной и вызывает дискуссии. Это касается, в частности, исследований преобразования на основе фотовольтаического эффекта в полупроводниковых структурах и предельных КПД конкретных типов ФП.



В данной работе развивается теория предельных значений эффективности преобразования светового излучения в электроэнергию или другие эквивалентные виды энергии, обусловленных проявлением фундаментальных законов физики, в первую очередь,

термодинамики, которая, не касаясь конкретных механизмов преобразования, тем не менее, позволяет определить их предельные характеристики и указать направления их достижения. Исследования термодинамики фотоэлектрического преобразования различных излучений были поставлены и проводились во ВНИИТ, НПО Квант под руководством Н.С. Лидоренко [3 - 6] и в настоящее время сформировались в важное научное направление.

Термодинамика обратимых процессов преобразования тепловых излучений в открытых системах

Основное положение, закладываемое в теорию, представляет принципиальная возможность реализации обратимого рабочего цикла в приемнике-преобразователе излучения, обеспечивающего бездиссипативный процесс совершения работы, т. е. генерации электроэнергии или других видов энергии. Уравнения I и II начал термодинамики обратимых процессов генерации энергии при освещении внешним источником излучения приемника-преобразователя, находящегося в тепловом обмене с окружающей средой, для стационарных условий формулируются, соответственно, как законы сохранения энергии и энтропии в приемнике-преобразователе. Для открытых термодинамических систем эти уравнения представляются в виде:

$$E_c + E_0 - E - Q - A = 0; \quad (1)$$

$$\Sigma_c + \Sigma_0 - \Sigma - Q/kT = 0, \quad (2)$$

где E_c и Σ_c – потоки энергии и энтропии от источника светового излучения, поглощаемые приемником; E_0 и Σ_0 – потоки энергии и энтропии излучения окружающей среды с температурой T_0 , поглощаемые приемником; E и Σ – потоки энергии и энтропии, излучаемые приемником при рабочей температуре T ; Q и Q/kT – потоки тепла и соответствующей энтропии от приемника (k - постоянная Больцмана); A – максимальная совершаемая работа.

Из этих уравнений следует, что основная причина ограничения величины выполняемой работы при использовании источника излучения обусловлена необходимостью траты энергии приемника для сброса поглощаемой им энтропии излучения.

Полученная система уравнений представляет термодинамическую основу определения параметров функционирования систем и выявления предельных возможностей преобразования различных видов излучений в электрическую энергию, например, с помощью фотоэлектрических преобразователей, или в другие эквивалентные виды энергии с помощью любых механизмов преобразования: физических, химических, биологических и др.

Она позволяет найти значение тепла Q , передаваемого преобразователем окружающей среде, и предельный термодинамический КПД η_T , определяемый как отношение максимальной совершаемой работы A к падающей энергии излучения E_c , для любого спектра электромагнитного излучения и любых оптических и температурных характеристик элементов системы преобразования при условии существования только обратимых процессов:

$$\eta_T = A/E_c. \quad (3)$$

Системы с равновесными тепловыми источниками и преобразователями излучения

В качестве модели удаленного источника теплового излучения обычно используется излучение "черного" тела с температурой T_c , причем спектральный состав излучения

Солнца достаточно хорошо представляет равновесное излучение с температурой $T_c \approx 6000$ К. Это дает выражения для интегральных падающих потоков энергии и энтропии при наличии концентрации излучения K [6]:

$$E_c = \sigma T_c^4 S_c; \quad (4)$$

$$\Sigma_c = \frac{4}{3} \frac{\sigma}{k} T_c^3 S_c, \quad (5)$$

где $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8}$ Вт·м²·К⁻⁴-константа Стефана-Больцмана, S_c – эффективная площадь поверхности поглощения приемником излучения удаленного источника, равная площади участка поверхности источника, излучение с которого поступает точно на площадь приемной поверхности преобразователя S_r :

$$S_c = K\gamma S_r; \quad (6)$$

γ – коэффициент ослабления потока из-за удаления источника от приемника (в частности, для солнечного излучения на Земле $\gamma = \sin^2(\theta/2)$, где θ – “угловой диаметр” Солнца, равный $\gamma = 2,2 \cdot 10^{-5}$. Максимальное значение концентрации равно $K_m = 1/\gamma$, для солнечного излучения $K_m = 4,5 \cdot 10^4$).

Если окружающая среда и приемник излучения – так же черные тела, то аналогичные выражения имеются для потоков E_0 и Σ_0 с температурой среды T_0 и площадью поверхности поглощения излучения приемником S_0 , а также для E и Σ с температурой T и площадью поверхности излучения приемника S .

Преобразование излучения на Земле в тепловом равновесии с окружающей средой

Если приемник-преобразователь излучения находится в тепловом равновесии с окружающей средой, соответствующем условиям:

$$T = T_0; \quad S_0 = S - S_c, \quad (7)$$

то решение системы уравнений (1) – (5) дает значения потока тепла, отводящегося от приемника в окружающую среду:

$$Q = \frac{4}{3} \sigma S_c T_0 (T_c^3 - T_0^3), \quad (8)$$

и предельного термодинамического КПД:

$$\eta_T = 1 - \frac{4T_0}{3T_c} + \frac{T_0^4}{3T_c^4}. \quad (9)$$

Данное значение меньше КПД цикла Карно для замкнутых систем, $\eta_k = 1 - T_0/T_c$, но близко к нему. При температуре Солнца $T_c = 6000$ К и комнатной температуре приемника $T_0 = 300$ К имеем: $\eta_T = 93\%$, $\eta_k = 95\%$.

Приведенный КПД является абсолютным максимумом для любых систем и способов преобразования теплового излучения в равновесных условиях. Для открытых термодинамических систем он имеет такое же значение, как КПД цикла Карно для замкнутых систем.

Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи излучения в равновесных условиях

Термодинамическая теория преобразования излучения в селективных приемниках, которые обладают “красной границей” фоточувствительности, соответствующей энергии кванта излучения E_g (для полупроводников это – минимальная ширина запрещенной зоны),

основывается на условии полного поглощения фотонов с энергией $\hbar\omega > E_g$ и полной прозрачности для фотонов с энергией $\hbar\omega < E_g$ (ω - круговая частота фотонов излучения, $\hbar = 1,0545887 \cdot 10^{-34}$ Дж.с - постоянная Планка), так что, с учетом спектральных распределений энергии и энтропии равновесных излучений [7], интегральные потоки для ФП получают следующие выражения:

$$E_c = \int_{E_g/\hbar}^{\infty} n_{\omega, T_c} \frac{S_c \hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} d\omega; \quad (10)$$

$$\Sigma_c = \int_{E_g/\hbar}^{\infty} [(1+n_{\omega, T_c}) \ln(1+n_{\omega, T_c}) - n_{\omega, T_c} \ln n_{\omega, T_c}] \frac{S_c \omega^2}{4\pi^2 c k} d\omega, \quad (11)$$

и аналогично для E_o, Σ_o, S_o и $E, \Sigma S$, где c – скорость света, $n_{\omega, T}$ – число фотонов в состоянии с энергией $\hbar\omega$

$$n_{\omega, T} = 1/[\exp(\hbar\omega/kT) - 1]. \quad (12)$$

Тогда предельный термодинамический КПД с использованием выражений (10) – (11) и уравнений (1), (2) получает следующее выражение:

$$\eta_1 = (1 - \frac{4T_0}{3T_c})v(E_g/T_c) + \frac{T_0^4}{3T_c^4}v(E_g/T_0) + \frac{5T_0E_g^3}{\pi^4 k^3 T_c^4} \ln \frac{1 - \exp(-E_g/kT_0)}{1 - \exp(-E_g/kT_c)}, \quad (13)$$

где $v(E_g/T)$ – доля энергии теплового излучения с температурой T , поглощаемая преобразователем,

$$v(E_g/T) = \frac{15}{\pi^4} \int_{E_g/kT}^{\infty} \frac{x^3 dx}{\exp(x) - 1}. \quad (14)$$

Зависимость η_1 от относительной ширины запрещенной зоны E_g/kT_c представлена на рис. 1.

КПД имеет значение (9) при $E_g = 0$ и монотонно падает при её увеличении. В асимптотическом пределе, $E_g/kT_c \gg 1$, КПД равен:

$$\eta_1 = (1 - \frac{T_0}{T_c}) \frac{15E_g^3}{\pi^4 k^3 T_c^3} \cdot e^{-E_g/kT_c} = (1 - \frac{T_0}{T_c}) \cdot v(E_g/T_c), \quad (15)$$

т.е. оказывается равным КПД цикла Карно от поглощаемой преобразователем доли энергии.

Для сравнения на рис. 1 приведены также значения предельного теоретического КПД полупроводниковых ФП η_0 [2], соответствующих максимально возможному значению этого параметра в ФП с p - n переходом:

$$\eta_0 = \frac{15}{\pi^4} \frac{E_g}{kT_c} \int_{E_g/kT_c}^{\infty} \frac{x^2 dx}{\exp(x) - 1}. \quad (16)$$

Как видно, предельный теоретический КПД η_0 практически во всей области значений E_g меньше предельного термодинамического КПД η_1 и имеет немонотонную зависимость от E_g с максимумом $\eta_0 = 44,5$ % при $E_{g0}/kT_c = 2,2$. Для $T_c = 6000$ К это соответствует значению $E_{g0} = 1,1$ эВ, т. е. кремнию.

Предельный термодинамический КПД системы с любым числом независимых ФП равен предельному термодинамическому КПД самостоятельного ФП с минимальной шириной запрещенной зоны в системе и соответствует кривой η_1 на рис. 1.

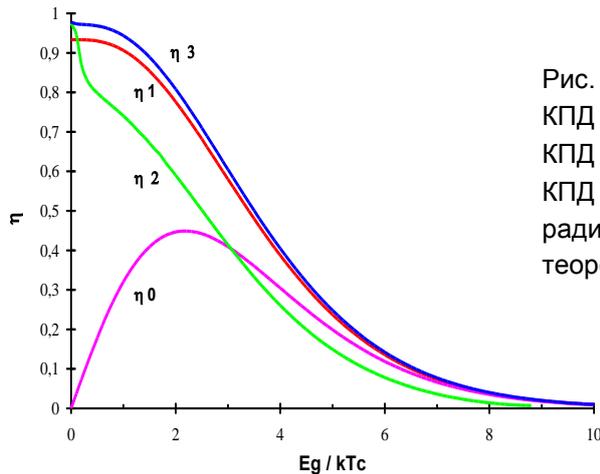
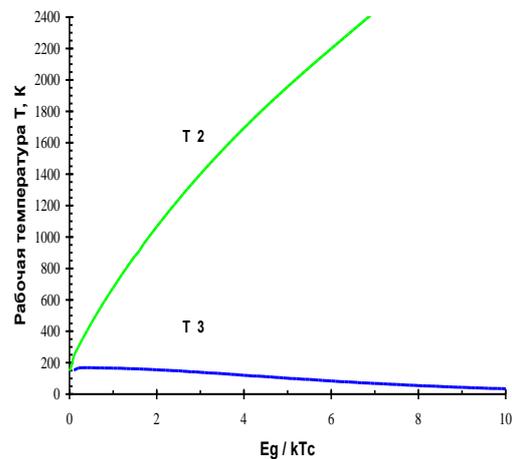


Рис. 1. Зависимость предельных термодинамических КПД ФП от E_g в системе E_g/kT_c при $T_c = 6000$ К. η_1 – КПД на Земле (13) при температуре $T_0 = 300$ К; η_2 – КПД прозрачных ФП в космосе (26); η_3 – КПД ФП с радиаторами в космосе (32); η_0 – предельный теоретический КПД обычных ФП с p - n переходом (16).

Рис. 2. Зависимость предельных рабочих температур ФП в космосе от минимальной относительной ширины запрещенной зоны в системе E_g/kT_c . T_2 – температура прозрачных ФП, уравнение (24); T_3 – температура ФП с радиаторами, уравнение (28).



Преобразование в условиях отсутствия теплового контакта приемника с окружающей средой

При отсутствии конвективного теплового обмена преобразователя с окружающей средой ($Q = 0$), из уравнений (1), (2), видно что температура приемника T будет больше температуры среды T_0 , а предельный термодинамический КПД – меньше значения (13) при преобразовании в равновесных условиях.

Для преобразователя – черного тела:

$$T = T_0 \left[1 + \left(\frac{T_c^3}{T_0^3} - 1 \right) \frac{K\gamma S_r}{S} \right]^{1/3} > T_0, \quad (17)$$

$$\eta_T = 1 - \left(\frac{K\gamma S_r}{S} \right)^{1/3} \left[1 + \frac{T_0^3}{T_c^3} \left(\frac{S}{K\gamma S_r} - 1 \right) \right]^{4/3} + \frac{T_0^4}{T_c^4} \left(\frac{S}{K\gamma S_r} - 1 \right). \quad (18)$$

Обычно площади освещаемой поверхности S_r и полной излучающей поверхности S имеют один и тот же порядок величины, так что $S/(K\gamma S_r) \sim 10^5/K \gg 1$ и температура T оказывается порядка T_0 фактически при любых реальных концентрациях солнечного излучения. При уменьшении отношения S_r/S T минимально падает до значения T_0 , КПД растет до значения (13), т. е.

$$T = T_0 \left[1 + \left(\frac{T_c^3}{T_0^3} - 1 \right) \frac{K\gamma S_r}{3S} \right]; \quad S_r/S \ll 1. \quad (19)$$

Наоборот, при увеличении отношения S_r/S или концентрации излучения K рабочая температура растет, а КПД падает. При $S_r/S = 1$, при $K \sim 1$ и углах лучистого обмена в пределах углового диаметра Солнца θ или при $K \sim K_m \sim \gamma^{-1}$ в широких диапазонах углов лучистого обмена из (17), (18) следует, что температура приемника приближается к температуре Солнца, а КПД – к нулю.

Термодинамика необратимых процессов при конвективном тепловом обмене преобразователя с окружающей средой

Практически наиболее реальной представляется система, в которой преобразователь находится не только в лучистом, но и в конвективном тепловом обмене со средой, рабочее тело с температурой T испытывает необратимое охлаждение, описываемое уравнением:

$$Q = \lambda(T - T_0)S, \quad (20)$$

где λ - коэффициент конвекции. В общем случае данный вариант представляет необратимый термодинамический процесс преобразования излучения, в котором неизменным остается только I закон термодинамики, соответствующий уравнению (1), а II закон формулируется как закон возрастания энтропии в необратимых процессах преобразования излучения, так что уравнение (2) заменяется следующим:

$$\Sigma_c + \Sigma_0 \leq \Sigma + \lambda(T - T_0)S/kT. \quad (2')$$

Уравнения (1), (2') позволяют определить нижнюю границу рабочей температуры преобразователя T и верхнюю границу термодинамического КПД в зависимости от λ . При малой интенсивности конвекции, $\lambda \ll \sigma T_c^3 K\gamma S_r/S \sim 0,1 \text{ К Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$, нижняя граница температуры T будет соответствовать значению (17), а с ее увеличением – падать, так что при $\lambda \rightarrow \infty$ система приближается к равновесию линейно по $1/\lambda$: для ФП-черного тела $T \rightarrow T_0$ как:

$$T \geq T_0 \left[1 + 4\sigma(T_c^3 + T_0^3) \frac{K\gamma S_r}{3\lambda S} \right]. \quad (21)$$

В воздушной атмосфере Земли второй член при $K \sim 1$ составляет всего несколько процентов, так что это приближение достаточно хорошо представляет реальную температуру преобразователя.

Преобразование солнечного излучения в космическом пространстве

Преобразование солнечного излучения в электроэнергию впервые использовано для энергообеспечения искусственных спутников Земли, автоматических межпланетных аппаратов, пилотируемых кораблей и орбитальных станций. До настоящего времени эта задача решается, в основном, с помощью ФП.

При этом очень важным для космической солнечной энергетики является использование еще и солнечного потока, отраженного от поверхности Земли, что делает перспективным создание прозрачных конструкций ФП с двухсторонней чувствительностью.

Преобразователь – “черное” тело

Для ФП - черного тела в соответствии с уравнением (2) рабочая температура T_2 оказывается равной:

$$T_2 = \left(\frac{(K + \alpha)\gamma S_r}{S} \right)^{1/3} T_c \quad (22)$$

и растет пропорционально параметру $((K + \alpha)S_r/S)^{1/3}$, а уравнение (1) дает значение предельного термодинамического КПД (отнесенного к суммарной падающей солнечной энергии), представляющее КПД цикла Карно:

$$\eta_2 = 1 - \frac{T_2}{T_c}. \quad (23)$$

Для преобразования солнечной энергии с двухсторонним охлаждением плоского приемника-преобразователя излучением при $S = 2S_r$, $\gamma = 2,2 \cdot 10^{-5}$ и $T_c = 6000$ К в обычном случае однократного солнечного потока ($K = 1$) получаем низкую рабочую температуру $T_2 \approx 148$ К, что обеспечивает очень высокое значение предельного КПД, $\eta_2 \approx 97,5$ %, а при невысоких значениях концентрации получаем приемлемую рабочую температуру. Например, при $K \leq 50$ получаем: $T_2 \leq 490$ К, что обеспечивает сохранность полупроводниковой структуры, контактной системы и основных фотоэлектрических характеристик ФП, а предельный КПД является достаточно высоким, $\eta_2 \geq 92\%$.

Прозрачные конструкции полупроводниковых фотопреобразователей

В качестве ФП, пропускающих (и не излучающих) длинноволновые фотоны с энергией $\hbar\omega < E_g$, перспективными для использования в космосе являются прозрачные конструкции систем, например прозрачные ФП с двухсторонней чувствительностью на прозрачной (или сетчатой подложке), не имеющие теплового контакта с массивной тепловой емкостью (термостатом). Здесь рабочая температура T_2 определяется из уравнения (2) баланса потоков энтропии солнечного и собственного излучений ФП в рабочей области, $\hbar\omega > E_g$, которое приобретает вид:

$$\frac{(K + \alpha)\gamma S_r}{S} \left\{ \frac{4T_c^3}{15} \nu(E_g/T_c) + \frac{E_g^3}{\pi^4 k^3} \ln(1 - e^{-E_g/kT_c}) \right\} = \frac{4T_2^3}{15} \nu(E_g/T_2) + \frac{E_g^3}{\pi^4 k^3} \ln(1 - e^{-E_g/kT_2}). \quad (24)$$

Зависимость рабочей температуры T_2 от E_g/kT_c для ФП с излучающей поверхностью $S = 2S_r$ при обычном солнечном излучении ($K = 1$, $\gamma = 2,2 \cdot 10^{-5}$) представлена на рис. 2. Температура растет, начиная от значения (22) при $E_g = 0$ ($T_2 \ll T_c$), и в асимптотическом пределе при больших E_g равна:

$$T_2 = \frac{T_c}{1 + \frac{kT_c}{E_g} \ln \frac{S}{(K + \alpha)\gamma S_r}}; \quad E_g/kT_c \gg 1. \quad (25)$$

При этом рабочая температура T_2 оказывается довольно большой, что обусловлено необходимостью отвода энтропии излучением только в узкой области спектра солнечного излучения $\hbar\omega > E_g > kT_c$, слабо растет с увеличением относительной площади поглощающей поверхности S_r/S или концентрации K и при $E_g \rightarrow \infty$ стремится к T_c . При любых реальных значениях этих параметров температура T_2 оказывается недопустимо большой, препятствующей физическому сохранению конструкции ФП.

Предельный термодинамический КПД прозрачного ФП из уравнения (1) равно:

$$\eta_2 = \nu(E_g/T_c) - \frac{ST_2^4}{(K + \alpha)\gamma S_r T_c^4} \nu(E_g/T_2). \quad (26)$$

Его зависимость от E_g/kT_c при обычном солнечном излучении представлена на рис. 1 при $K = 1$ и $S = 2S_r$. Для приемника-черного тела ($E_g = 0$) КПД имеет значение (22), которое выше, чем КПД в равновесной среде с $T_0 = 300$ К. Однако с ростом E_g происходит резкое падение КПД до значений в асимптотическом пределе больших E_g :

$$\eta_2 = v(E_g/T_c)\left(1 - \frac{T_2}{T_c}\right); \quad E_g/kT_c \gg 1. \quad (27)$$

При этом предельный термодинамический КПД представляет КПД цикла Карно от поглощенной доли солнечного излучения аналогично выражению (15). КПД довольно мал, что определяется как малой долей энергии солнечного излучения в коротковолновой области спектра $\hbar\omega > kT_c$, так и большой рабочей температурой T_2 , сравнимой с T_c , и падает с увеличением S_r/S или концентрации солнечного излучения K . Поэтому использование в космическом вакууме прозрачных конструкций широкозонных ФП с двухсторонней чувствительностью, особенно при концентрации излучения, нецелесообразно.

Прозрачные фотопреобразователи с подложкой-радиатором

Термодинамически наиболее перспективной для космоса является конструкция плоского прозрачного ФП на подложке-радиаторе, внутренняя сторона которой отражает солнечное излучение во всем спектре или, по крайней мере, в его нерабочей длинноволновой части, а внешняя сторона является "черной" поверхностью с площадью S_R , поглощающей и излучающей во всем спектре. С учетом потока излучения, падающего на радиатор от Земли, уравнение (2) получает вид:

$$\begin{aligned} K \left\{ \frac{4T_c^3}{15} v(E_g/T_c) + \frac{E_g^3}{\pi^4 k^3} \ln(1 - e^{-E_g/kT_c}) \right\} + \kappa\alpha \frac{4T_c^3}{15} \frac{S_R}{S_r} = \\ = \frac{4T_3^3}{15\gamma} \left\{ \frac{S_R}{S_r} + v(E_g/T_3) \right\} + \frac{E_g^3}{\pi^4 k^3} \ln(1 - e^{-E_g/kT_3}), \end{aligned} \quad (28)$$

где κ – доля падающего излучения; $0 \leq \kappa \leq 1$ в зависимости от расстояния до Земли и ориентации ФП.

Для ФП-черного тела ($E_g = 0$) температура равна

$$T_3 = \left(\frac{\gamma(KS_r + \kappa\alpha S_R)}{S_R + S_r} \right)^{1/3} T_c, \quad (29)$$

что при $K = 1$, $\alpha = 0,37$ и $S_R = S_r$ дает: $T_3 = 133$ К для $\kappa = 0$ и $T_3 = 148$ К для $\kappa = 1$.

Для широкозонных ФП при $E_g/kT_c \gg 1$ температура при $\kappa = 0$ стремится к нулю экспоненциально:

$$T_3 = \frac{E_g}{k} e^{-E_g/3kT_c} \left(\frac{45 \cdot \gamma K}{4\pi^4} \right)^{1/3}; \quad \kappa = 0, \quad (30)$$

хотя при этом увеличивается с ростом концентрации излучения пропорционально $K^{1/3}$, а при $\kappa \neq 0$ стремится к низкому насыщающему значению, не зависящему от K :

$$T_3 = (\kappa\alpha\gamma)^{1/3} T_c; \quad \kappa \neq 0, \quad (31)$$

что при $\kappa = 1$ дает: $T_3 = 120$ К. Таким образом, при любых значениях E_g величина T_3 во всей области параметра конструкции $0 \leq \kappa \leq 1$ оказывается меньше значения $T_0 = 300$ К для равновесных земных условий и значения T_2 для прозрачных конструкций ФП в космосе,

причем, в отличие от этих случаев, она падает с ростом ширины запрещенной зоны, кроме очень узкой области вблизи $E_g = 0$.

Минимальная рабочая температура T_3 , соответствующая $\kappa = 0$, в зависимости от относительной ширины запрещенной зоны E_g/kT_c представлена на рис. 2 при $S_R = S_r$.

Предельный термодинамический КПД η_3 оказывается наибольшим для рассмотренных вариантов систем преобразования солнечной энергии. Его максимальные значения, достигаемые при $\kappa = 0$, даются выражением:

$$\eta_3 = v(E_g / T_c) - \frac{T_3^4}{K\gamma T_c^4} \{1 + v(E_g / T_3)\}, \quad (32)$$

и представлены на рис. 1 в зависимости от параметра E_g/kT_c . С его ростом η_3 падает и в асимптотическом пределе оказывается, при практически нулевой рабочей температуре T_3 , равным доле поглощенного солнечного излучения $v(E_g/T_c)$ и, соответственно, асимптотическому значению предельного теоретического КПД η_0 . Это обусловлено тем, что при установлении величины η_0 рабочая температура изначально принималась равной нулю, а для рассматриваемого предельного термодинамического КПД η_3 это реализуется именно в асимптотическом пределе больших E_g .

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ

*С.В. Чижевский, ген. директор «МНПО «ЭКОНД»,
Б.Н. Артеменко, зам. ген. директора «МНПО «ЭКОНД»*

В ходе разработки высокопористых электродов топливных элементов (ТЭ), проводившейся во Всесоюзном институте источников тока (ВНИИТ) в начале 1970-х годов, внимание исследователей во главе с Н.С. Лидоренко привлекла необычайно большая величина электрической емкости, возникающей при контакте пористой среды электродов ТЭ с электролитом в результате эффекта двойного электрического слоя.

Н.С. Лидоренко не оставил в стороне этот побочный результат и, со свойственным ему сочетанием научной любознательности и предприимчивости, приступил к исследованию и реализации использования этого эффекта.

В публикации «Аномальная емкость и экспериментальные модели гиперпроводимости» [1] он сообщает о получении макроскопических образований – пленок, волокон, лент и т.п., обладающих аномально высокими значениями электрических емкостей $\sim 1 \text{ Ф/см}^3$. Далее он предлагает широко использовать обнаруженный эффект для построения локальных или встроенных в схему конденсаторов, электрических фильтров-ограничителей экстремальных токов, возникающих при размыкании высоковольтных сетей под нагрузкой или коммутационной аппаратуры, линий задержки, в схемах компенсации $\cos \phi$, безиндуктивных проводах и линиях электропередач, а также в других перспективных схемах преобразования энергии [1, 2].

У истоков этого инновационного направления стояли такие известные личности, как Председатель Совета министров СССР А.Н. Косыгин, Президент АН СССР А.П. Александров, Президент Международного электротехнического общества академик В.И. Попков, лауреаты Нобелевской премии академики П.Л. Капица, Н.Г. Басов, А.М. Прохоров, поддержавших целесообразность разработки и внедрения изделий на основе эффекта двойного электрического слоя.

Изделия, соответствующие вышеупомянутым областям применения, которые Н.С. Лидоренко объединял единым названием – молекулярная электроника и электротехника - получили название молекулярные конденсаторы (МК) или молекулярные накопители энергоемкие (МНЭ) и, в дальнейшем, после организации серийного производства уже в РФ, импульсные конденсаторы энергоемкие (ИКЭ), относящиеся в современной терминологии к области нанотехнологий. В последующие годы подобные устройства за рубежом называли «золотыми конденсаторами», ультраконденсаторами, а в последнее время за ними закрепилось название «суперконденсаторы».

Эффект двойного электрического слоя был известен с середины XIX века. Об этом эффекте знали многие ученые, были запатентованы конденсаторы с двойным электрическим слоем (ДЭС-конденсаторы), но выпускались только их маломощные образцы, преимущественно для бытовой электроники. И только Н.С. Лидоренко увидел перспективу использования этого эффекта именно в мощных энергетических системах, убедил научное сообщество и руководство страны в необходимости финансирования научных и опытно-конструкторских разработок в этой сфере.

Эти новые устройства по удельным энергетическим и мощностным характеристикам заняли нишу между классическими «обычными» конденсаторами и химическими источниками тока (ХИТ), имея величину постоянной времени разряда $\tau = RC$ порядка $\sim 0,1 \div 1,0$ с.

Следует отметить, что именно благодаря тому, что в свое время Н.С. Лидоренко добился стратегически выверенного статуса НПО «Квант», головным институтом которого являлся ВНИИТ, прикладные научные исследования по молекулярным конденсаторам были успешно доведены до опытно-конструкторских разработок конкретных изделий и технологий их производства (рис. 1 - 3).

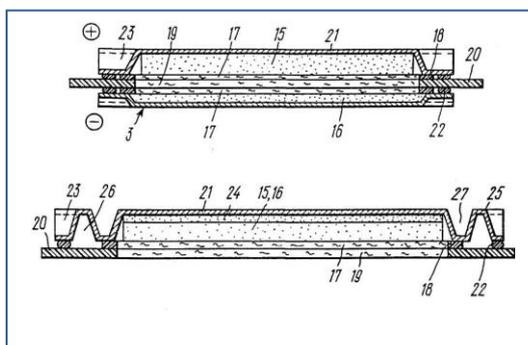


Рис. 1 Конструкция элемента суперконденсатора [3].

Конструкция наборного суперконденсатора

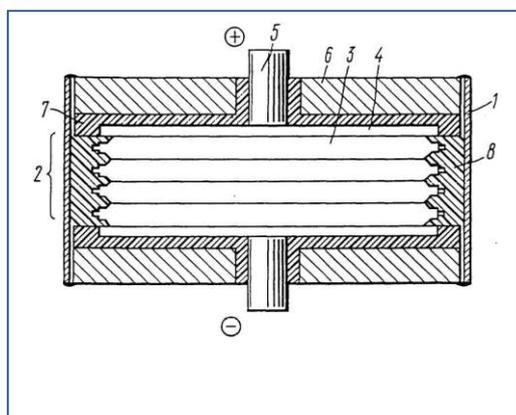


Рис. 2. Схема без внутренней коммутации.

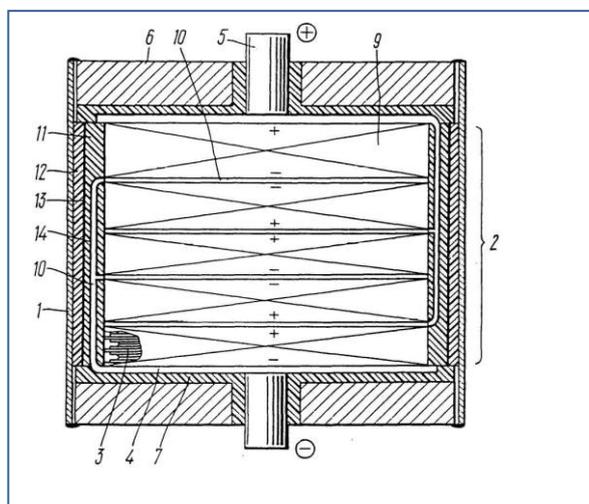


Рис.3. Схема с внутренней коммутацией.

НПО «Квант» и ВНИИТ были многофункциональными организациями, являющимися ведущими в области разработки и производства автономных источников питания и прямых преобразователей энергии. Так молекулярный конденсатор и «вырос» из одного из них - топливного элемента. Структура ВНИИТ позволяла осуществлять безбарьерное и безболезненное перемещение технологий и кадров из одного подразделения в другое и концентрацию в одном месте всех необходимых ресурсов для решения поставленной задачи. Именно это обстоятельство обеспечило высокие темпы разработки суперконденсатора.

К тому же следует учесть, что развитые академические и отраслевые научные структуры позволяли разрабатывать и производить в СССР первоклассные конструкторские и технологические материалы, например, лучшие в то время активированные углеродные

материалы, позволившие обеспечить высокие удельные характеристики суперконденсаторов.

Первым крупным прорывом была успешная разработка мобильной импульсной технологической установки со следующими основными параметрами: энергоемкостью до 10 МДж, напряжением 1000 В, временем импульсного разряда ~ 0,1 с. Установка такой энергоемкости в нашей стране (а, может быть, и в мире) была создана впервые. К разработке и созданию комплекса были привлечены крупные институты и предприятия страны. Ядром комплекса была батарея МК (суперконденсаторов). В течение 5-ти лет комплекс был разработан, создан и, в дальнейшем, проработал более 10 лет. Главным исполнителем этой масштабной работы был НПО «Квант» [4].

Следует отметить, что разработкой молекулярных конденсаторов Н.С. Лидоренко занялся практически в 60 лет. И хотя средний возраст коллектива разработчиков составлял в то время 30 лет, именно Николай Степанович был реальной движущей силой процесса создания суперконденсатора, настоящим «Лидером», как мы его между собой называли.

В 1991 году в связи с политическими изменениями и последующей реструктуризацией НПО «Квант» возникла необходимость в создании специализированного научно-технического предприятия по разработке и производству ИКЭ и систем на их основе, для чего коллективом разработчиков и исследователей ИКЭ была образована фирма ООО «МНПО «ЭКОНД». При этом отметим, справедливости ради, что вплоть до своей кончины Н.С. Лидоренко интересовался ситуацией в этой фирме обращался в правительственные органы с предложениями по применению суперконденсаторов.

С момента создания ООО «МНПО «ЭКОНД» и до настоящего времени проводимые научно-технические, технологические исследования и опытно-конструкторские разработки позволили определить, что использование ИКЭ наиболее эффективно тогда, когда, требуется отдача в нагрузку большой мощности и/или, что особенно важно, необходимо накопление энергии за относительно короткий промежуток времени величиной ~ 0,1÷10 с:

– в бортовом источнике импульсной мощности для разгона электротранспорта и гибридного транспорта за счет регенерации энергии, накапливаемой при торможении.

В 1988 г. NASA спроектировало первый в мире эффективный по потреблению топлива, экологически чистый, гибридный электрический городской автобус с системой накопления из батареи ИКЭ.

В качестве первичного источника энергии в автобусе использовался турбогенератор средней мощности 25 кВт. Пиковая мощность разряда накопительной емкости при разгоне автобуса составляла 70 кВт, а пиковая мощность заряда при торможении – 90 кВт. Время разгона автобуса до рейсовой скорости не превышало 12 с, время торможения – 4 с. Автобус весом 900 кг был оснащен батареей из 30-ти ИКЭ, суммарная энергоемкость которой составляла 1,5 МДж (электрическая емкость ~19 Ф) при максимальном напряжении 400 В.

В 2000 г. в качестве опытного образца изготовлен гибридный электропривод метровагона, обеспечивающий кроме регенерации энергии в цикле торможение-разгон аварийную транспортировку метровагона до ближайшей станции метро.

Технические характеристики электропривода метровагона

– Источник питания	– 640 В;
– Емкость батареи	– 5,6 Ф;
– Энергия батареи	– 1,3 МДж;
– Количество ИКЭ-90/320	– 14;
– Вес батареи	– 530 кг.

С 1980-х годов и до настоящего времени серийно выпускаются конденсаторные системы пуска (КСП) различного типа и назначения двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Технические характеристики некоторых ИКЭ, входящих в состав КСП

Тип ИКЭ, кДж/В	U, В	C, Ф	P_{max} , кВт	I_{max} , А	Объем, дм	Масса ИКЭ, кг	Примечания
25/14	14	255	16,3	2300	11,4	27,0	Пуск двигателей легковых и грузовых автомобилей, лодочных моторов, тракторов, автобусов, комбайнов, рефрижераторных вагонов.
40/28	28	100	39,2	2800	15,0	32,0	
60/28	28	160	65,3	4600	18,7	38,0	
40/64	64	23,0	93,8	2125	17,2	38,0	Пуск двигателей локомотивов, дизельных поездов.
40/96	96	8,50	86,4	1300	16,2	34,0	

Изготовленный полноразмерный опытный образец системы накопления энергии газотурбовоза ТЭМ-1 состоит из 18-ти модулей 6×ИКЭ-108/400. Каждый модуль содержит 108 конденсаторов на напряжение 400 В, по 108 кДж каждый, с параллельно-последовательной коммутацией на суммарное напряжение 1200 В (рис.4), обеспечивающих:

- повышение пиковой мощности за счёт одновременного питания тяговых двигателей от ГТД и накопителей энергии (11,7 МДж);
- рекуперацию энергии торможения в накопителях энергии: 15% от номинальной мощности турбины;

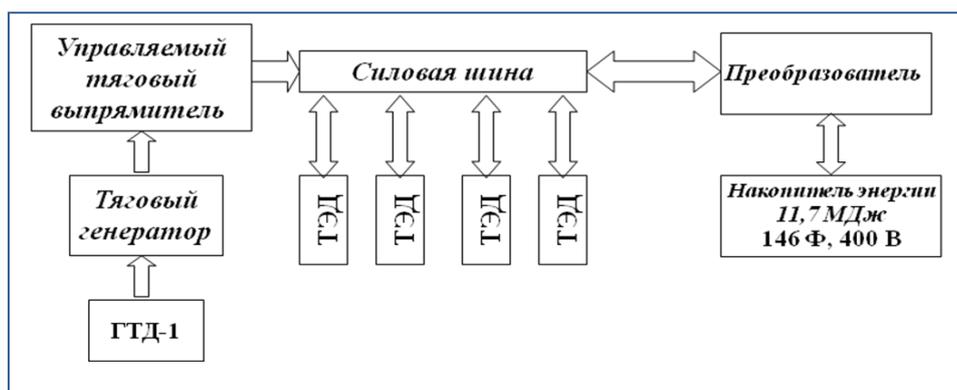


Рис. 4. Функциональная схема электропитания газотурбовоза ТЭМ-1с турбогенератором и системой накопления энергии на основе ИКЭ.

- ИКЭ используются также для обеспечения импульсного энергопотребления и/или импульсной отдачи мощности в нагрузку технического и технологического оборудования, такого как различные электроприводы, рентгеновские аппараты, аппараты точечной сварки, например, в качестве преобразователя мощности блока питания (БП) флюорографического передвижного рентгеновского кабинета «Проскан-7000»;
- в системах бесперебойного электропитания ответственных потребителей (вычислительная техника, системы управления и связи, непрерывные производства и др.);
- в буферных накопителях энергии для снятия пиковых нагрузок электрических подстанций, прямых преобразователях энергии (топливных элементов, ветро- и гидрогенераторов, солнечных батарей и т.п.) как, например, в качестве дополнительного мощного импульсного источника питания для цепей собственных нужд подстанций, или

источника питания цепей собственных нужд подстанции, включающего в себя накопитель энергии в виде батареи ИКЭ и зарядного устройства, соединенных с основной схемой вследствие чего:

- существенно повышается надежность работы цепей собственных нужд подстанций благодаря использованию дополнительного источника энергии, способного самостоятельно и независимо обеспечить срабатывание даже самого мощного выключателя высокого напряжения на подстанции;

- появляется возможность использования аккумуляторных батарей, имеющих низкие стартерные характеристики, меньшую емкость и повышенное внутреннее сопротивление там, где требуются периодическая и/или однократная отдача в нагрузку мощности по величине значительно большей той, которую в состоянии обеспечить автономный химический источник питания или прямой преобразователь электрической энергии, например:

- в схемах преобразования мощности источников питания автономных навигационных устройств наземного или подводного базирования;

- в схемах преобразования мощности источников питания автономных средств связи наземного базирования;

- в схемах преобразования мощности источников питания автономных охранных устройств наземного или подводного базирования там, где требуются периодическое или однократное обеспечение электрическим питанием устройств в ограниченный период времени, по длительности ~ 100 с, например:

- в схемах преобразования мощности бортовых и/или стационарных источников питания автономных устройств однократного использования;

- в схемах питания электропривода электротранспортных средствах с заданным маршрутом на ограниченных площадях (цехах, складах, теплицах, птицефабриках, животноводческих фермах, экологических зонах и т.п.).

За 24 года, прошедшие с момента создания «МНПО «ЭКОНД», доказаны не только технические возможности проекта «молекулярный конденсатор - суперконденсатор», но и его коммерческая реализуемость. Созданный в СССР в условиях командно-административной системы с, практически, в то время неограниченным финансированием, суперконденсатор выжил в условиях самой жесткой рыночной системы. Аналогичные программы Департамента энергетики США и программа разработки суперконденсаторов, в рамках системы «Star Wars». Ни одна из них не была доведена до коммерческого продукта [4].

В настоящее время «МНПО «ЭКОНД», как продолжатель исследований и разработок суперконденсаторов, заложенных Н.С. Лидоренко, осваивает их применение в новых областях, в качестве:

- ✓ бортового источника импульсной мощности для разгона электротранспорта (трамваев, троллейбусов, метро-вагонов, пригородных электропоездов) и гибридного транспорта за счет использования энергии, накапливаемой при торможении;

- ✓ базового устройства для обеспечения импульсного энергопотребления и/или импульсной отдачи мощности в нагрузку технического и технологического оборудования (стационарные и передвижные аппараты точечной сварки), а также оборудования ЖКХ (лифты, агрегаты гарантированного питания);

- ✓ буферного накопителя энергии для сглаживания пиковых нагрузок электрических подстанций, прямых преобразователей энергии (топливных элементов, альтернативных источников энергии: ветровых электрогенераторов и гидрогенераторов, солнечных батарей, геотермальных, прибойных, приливоотливных электрогенераторов и т.п.);

- ✓ альтернативного устройства аккумуляторным батареям в электрическом транспорте по заданному маршруту (электрокарах) в том числе в закрытых помещениях (магазинах,

складах, оранжереях, животноводческих фермах и птицефермах, экологических зонах, детских аттракционах и т.п.).

Литература

1. Аномальная емкость и экспериментальные модели гиперпроводимости, «Доклады АН СССР» 1974 г., т. 216, № 6.
2. Лидоренко Н.С. Об электрической природе материи и перспективах электротехники, М.: Электричество, № 7, 1976.
3. Богницкий И.Я., Фомин А.В., Чижевский С.В. и др. Международная заявка PCT/SU 90/00292 от 29.12.1990 г. Оpubл. 23.07.1992 г., номер международной публикации WO 92/12521, заявитель НПО «Квант», МКИ H01G 9/00.
4. Иванов А.М., «Молекулярные конденсаторы. От НПО «Квант» до МНПО «Эконд» - 30 лет», Москва, Квант-Эконд, 2008.

ДАТЧИКИ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ

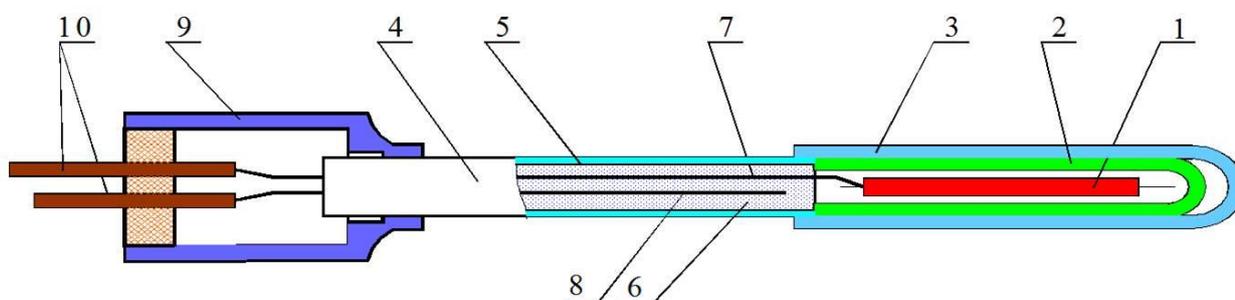
В.М. Троценко, ген. директор ООО НТП «Инкор»

В конце 50-х годов в НПП «КВАНТ» распоряжением Н.С. Лидоренко был создан отдел с новым направлением – атомная энергетика, которому было поручено вести работы по изучению и контролю электрофизических параметров реакторных установок АЭС. Эти работы Николай Степанович поручил вести своему ученику – молодому талантливому инженеру Мительману М.Г., специалисты лаборатории которого в кратчайшие сроки (1959-1960 гг.) разработали и теоретически обосновали принципиально новую конструкцию преобразователя потока заряженных частиц в ток-детекторы прямого заряда (ДПЗ).

До создания ДПЗ физические характеристики измерялись активационными методами. Из специальных материалов (Au, Cu, Mn, V, Lu, Eu, S, Ni и др.) применялись фольги, которые предварительно калибровались в эталонных полях нейтронов. Калиброванные фольги облучались заданное время в изучаемом поле, извлекались, измерялась на спектрометрических установках величина их радиоактивности, производился пересчет результатов измерений в активации насыщения и далее, сопоставлением с эталонным потоком, рассчитывались параметры поля нейтронов в месте облучения. Проволочными индикаторами измерялось распределение плотности потока нейтронов по высоте и радиусу активной зоны реактора.

ДПЗ представляют собой физический источник тока, в котором измеряемый ток возникает за счет использования кинетической энергии заряженных частиц. В отличие от обычных источников питания основным параметром у него является электрический ток, а не ЭДС. Напряжение у него определяется сопротивлением нагрузки и принципиально может достигать сотен кВ.

Устройство ДПЗ



1 – Эмиттер, 2 – Изолятор, 3 – Коллектор, 4 – Линия связи, 5 – Оболочка, 6 – Изоляция кабеля, 7 – Токовая жила, 8 – Фоновая жила, 9 – Гермоввод, 10 – Токовыводы.

ДПЗ состоит из эмиттера, коллектора, разделяющего их изолятора и линии связи. В качестве эмиттера используются вещества, эмитирующие заряженные частицы при взаимодействии с нейтронами. Проходя через изолятор и собираясь на коллекторе, эти частицы создают разность потенциалов между эмиттером и коллектором. Второй электрод ДПЗ-коллектор обычно заземляется. Конструкция и материалы изолятора, коллектора и

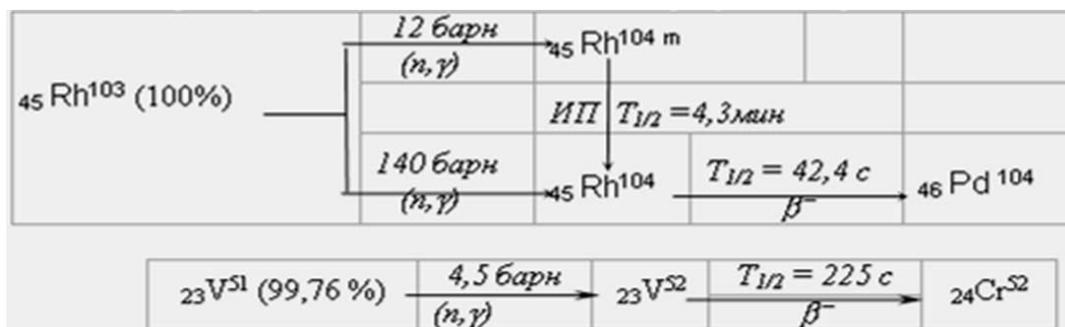
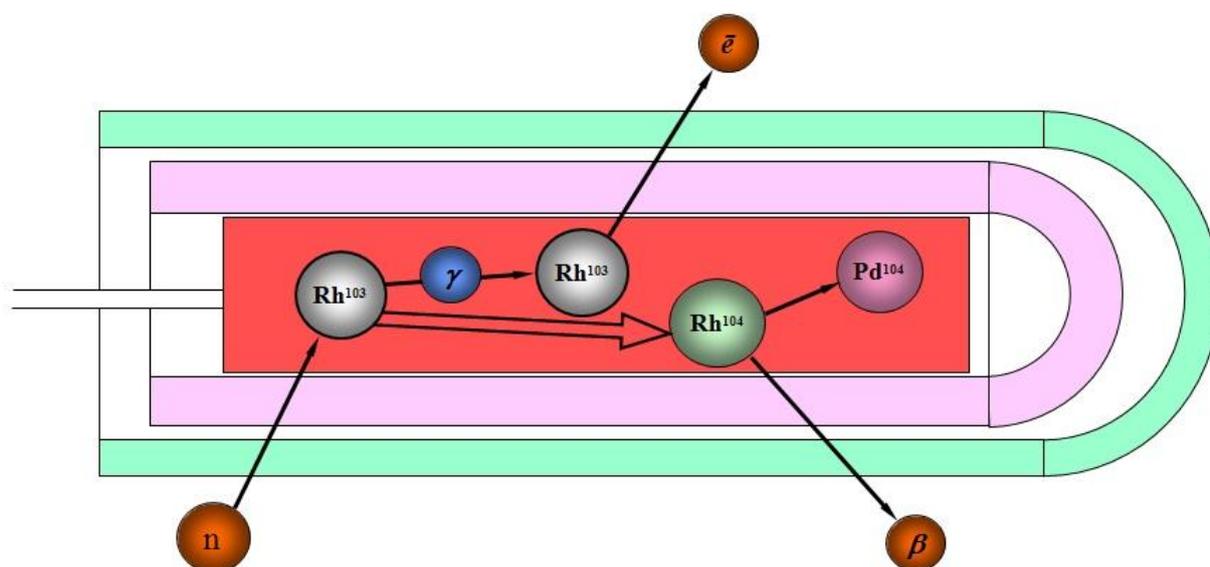
линии связи должны быть такими, чтобы влияние токов, генерируемых в них под воздействием измеряемых излучений, а также условий окружающей среды, на работу ДПЗ было минимальным.

В стационарном режиме полезный сигнал ДПЗ определяется по формуле:

$$I_0 = I_c(1+r/R_1+2r/R_{1-2}) - I_\phi(1+r/r_2+2r/r_{1-2}), \text{ где}$$

- I_0 – ток заряженных частиц, образующихся в эмиттере;
- I_c и I_ϕ – токи приборов, измеряющих сигналы токовой и фоновой жил;
- $I_{лс}$ – ток линии связи;
- R_1 и R_2 – сопротивление изоляции между корпусом и сигнальной жилой и между корпусом и фоновой жилой ДПЗ соответственно;
- R_{1-2} – сопротивление изоляции между жилами.
- $r_1 \cong r_2 \cong r$ – последовательное сопротивление сигнальной и фоновой жил, включая входное сопротивление измерительного прибора;
- I_1, I_2, I_{1-2} – токи утечки.

Основные токообразующие процессы в ДПЗ



Уравнение нейтронного тока родиового ДПЗ в нестационарном режиме имеет вид:

$$I_n + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{dI_n}{dt} + \frac{1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{d^2 I_n}{dt^2} = \eta_n \varphi + \left[\frac{\eta_{n\gamma} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} + \frac{\eta_{акт}}{\lambda_2} \right] \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\eta_{n\gamma}}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

где η_n - нейтронная чувствительность детектора; φ - плотность потока нейтронов в месте установки детектора; $\eta_{n\gamma}$ - мгновенная составляющая нейтронной чувствительности; η_{1a} -

активационная составляющая нейтронной чувствительности, определяемая прямым образованием Rh^{104} , λ_1 и λ_2 - постоянные распада нуклидов Rh^{104} и Rh^{104m} ; t - время.

При нормальном течении обстоятельств эта работа была бы засекречена и, скорее всего, погибла бы в архивах. К счастью, она была направлена на отзыв в ИАЭ имени И.В. Курчатова. В отзыве было сказано примерно следующее: «Поскольку это сделали не мы, то это - чепуха». А раз чепуха, то можно и статью в журнале опубликовать, и патент получить... и главное – работать! Этот отзыв позволил опубликовать статью в журнале «Атомная Энергия» (1961, т. 10, № 1, с. 72). Закономерно, что в СССР на эту статью не обратили внимания. Что касается Запада, то уже через несколько месяцев, со ссылкой на советскую работу, были опубликованы статьи ряда зарубежных авторов, повторяющие исследования по ДПЗ, и, как оказалось, позволившие в дальнейшем продолжить эту работу. При посещении одной из атомных станций во Франции, одному из наших высоких руководителей А.И. Чурину рассказали, что они используют для внутриреакторного контроля «ваши, советские детекторы». Реакция последовала мгновенная: Н.С. Лидоренко поручили безотлагательно начать работы по использованию ДПЗ на промышленных уран-графитовых реакторах.

Интерес к ДПЗ и его быстрое распространение определялось, в первую очередь, необходимостью контроля распределения поля нейтронов (энерговыведения) по объему активной зоны, актуальность которого резко возрастает по мере увеличения объема и энергонапряженности зоны.

В начале 60-х годов на канальных уран-графитовых реакторах разного технического назначения участились аварии, так называемые «козлы», определяемые пережогом технологических каналов реакторов.

С пуском энергетических канальных уран-графитовых реакторов Белоярской АЭС АМБ-100 и АМБ-200, обнаружилось, что без надежной системы внутриреакторного контроля они просто не могут выйти на номинальную мощность.

Таким образом, «появление» ДПЗ произошло в нужное время, тем более, что до появления ДПЗ все попытки создать детектор непрерывного действия для системы внутриреакторного контроля не привели к положительному результату.

В дальнейшем начались работы по внедрению ДПЗ на энергетических реакторах. В работах принимало участие большое количество предприятий, в том числе Сибирский химкомбинат, ФЭИ (г. Обнинск), ИАЭ им И.В. Курчатова (г. Москва), СНИИП (г. Москва), ПИАР (г. Мелекесс) и другие. Научно-методическое руководство работами осуществляли классики атомной техники, участники пуска первого реактора в СССР, Е.Н. Бабулевич и Б.Г. Дубовский, что обеспечивало высочайший уровень работ.

На реакторе филиала института им. Карпова (г. Обнинск) в 1963 - 64 гг. в первом приближении были определены основные характеристики ДПЗ как датчика контроля плотности потока нейтронов. Там же была показана возможность коррекции инерционности ДПЗ, определяемая периодом полураспада родия, что открывало возможность использования ДПЗ в системах автоматического управления и защиты реакторной установки.

Важнейший шаг в истории создания нового датчика – это организация конструкторского отдела по оформлению КД в полном объеме, а также технологического подразделения изготовления ДПЗ. Н.С. Лидоренко, как никто понимал важность выпуска технической документации и следил за нами очень строго.

В 1968 г. была принята межведомственной комиссией и введена в эксплуатацию система внутриреакторного контроля (СВРК) для реакторов 1 и 2 блоков Белоярской АЭС, что впервые обеспечило выход установок на номинальную мощность. В качестве датчиков использовалось 96 ДПЗ с длиной эмиттера, равной высоте активной зоны. СВРК обеспечивала контроль распределения энерговыведения по радиусу активной зоны, игнорируя распределение по высоте.

Одновременно, были разработаны сборки ДПЗ (первые прототипы современных сборок), которые обеспечивали надежный контроль распределения энерговыделения как по радиусу, так и по высоте активной зоны, но они так и не стали основным методом контроля для энергетических уран-графитовых реакторов. А зря... Представляется, что если бы реактор Чернобыльской АЭС был оснащен таким средством контроля энерговыделения по высоте активной зоны, то вероятность катастрофы могла существенно уменьшиться, а может ее вообще бы не было.

Преимуществами, обеспечивающими активное развитие и внедрение ДПЗ, являются:

- простота конструкции и, как следствие, ее высокая надежность;
- возможность работы в условиях внутри активной зоны работающего ядерного реактора;
- возможность получения сигнала о физических характеристиках активной зоны в режиме реального времени (on-line).

К недостаткам можно отнести низкий сигнал тока, который выдавал ДПЗ на выходе. Из технических средств на тот период времени доступны были только стрелочные приборы и уникальные электронные электрометры. Использование таких средств для исследований было естественным, но для создания систем, да еще многоканальных и автоматизированных, время еще не наступило.

В период 1965 - 1970 были разработаны и введены в эксплуатацию системы внутри-реакторного контроля на ДПЗ на промышленных и энергетических уран-графитовых реакторах (Белоярская АЭС, Билибинская АЭС, Смоленская АЭС).

Наряду с этим проводились работы по дальнейшему усовершенствованию ДПЗ. В частности, были определены основные метрологические характеристики ДПЗ с родиевым эмиттером, разработан и успешно испытан ДПЗ с ванадиевым эмиттером, создан метод спектральных характеристик нейтронов с использованием двух ДПЗ с родиевым и ванадиевым эмиттерами и др.

С 1970-1986 в НПО «КВАНТ» был сформирован отдел, специализирующийся на реализации средств контроля нейтронного поля на действующих и строящихся АЭС, обеспечивший завершение НИОКР на сборки ДПЗ с присвоением литеры серийного производства для уран-графитовых реакторных установок. После этого на филиале «КВАНТ» - заводе «ПОЗИТ» освоено серийное производство «Сборок ДПЗ», для реакторов типа РБМК Белоярской и Билибинской АЭС. В этот же период завершена разработка, проведены испытания и передача в серийное производство «Каналы нейтронные измерительные» с 7-ю ДПЗ для контроля плотности нейтронного потоков реакторных установках типа ВВЭР. Кроме того были переданы в серийное производство, разработанные отделом огнестойкие, радиационно-стойкие линии связи для систем ВРК реакторных установок типа ВВЭР. Специалисты НПО «КВАНТ» принимали участие в пуско-наладочных работах и техническое сопровождение эксплуатации датчиков с линиями связи на многих отечественных и зарубежных АЭС. После взрыва на Чернобыльской АЭС сотрудниками отдела совместно со специалистами из ИАЭ имени Курчатова проведена работа по определению наличия топлива в поврежденном реакторе. Тогда же была создана система контроля за радиационной обстановкой и температурой в активной зоне.

После аварий на Чернобыльской АЭС и на АЭС «Три Майл Айленд» (США) МАГАТЕ выработало рекомендации по оснащению АЭС дополнительными системами безопасности, что дало толчок к разработке новых и модернизации используемых средств контроля электрофизических параметров реакторной установки.

В связи с этим в НПП «КВАНТ» начинается новый этап по реализации мероприятий, связанных с внедрением на АЭС датчиков контроля параметров активной зоны нового поколения. К началу 90-х годов для реакторов типа ВВЭР разрабатывается новая сборка ДПЗ с контролем температуры теплоносителя на выходе из тепловыделяющей сборки,

позволяющая в одной кассете одновременно контролировать и плотность нейтронного потока по высоте, и температуру теплоносителя.

Тогда же были разработаны и успешно внедрены для реакторов РБМК на Ленинградской и Курской АЭС (аналоги Чернобыльской АЭС) новые датчики – «Каналы нейтронные измерительные КНИ-7» с огнестойкими линиями связи, позволившие надежно контролировать активную зону установок и продлить сроки их эксплуатации. К сожалению, финансирование по этим важнейшим работам с начала 90-х годов было прекращено.

С середины 90-х годов начался новый виток бурного роста атомной энергетики. Появились новые проекты строительства АЭС в Словакии, Китае, Иране, Индии и несколько позже в России, в которых заложены еще более жесткие требования к эксплуатации станций, и соответственно, к средствам контроля за технологическим процессом. В связи с этим была разработана и внедрена в эксплуатацию целая серия новых датчиков внутриреакторного контроля – СВРД, которая отвечает всем требованиям эксплуатации АЭС с ВВЭР, обеспечивая контроль:

- Плотности нейтронного потока по высоте и радиусу активной зоны;
- Температуры теплоносителя на входе и выходе из ТВС;
- Температуры теплоносителя под крышкой реактора;
- Аварийной температуры активной зоны;
- Аварийного уровня теплоносителя в корпусе реактора.

СВРД серийно выпускаются и находятся в промышленной эксплуатации на всех действующих станциях, в т.ч. на всех Российских АЭС; на Ровенской и Запорожской АЭС (Украина); АЭС «Козлодуй» (Болгария); АЭС «Моховце» и «Богунце» (Словакия); Тяньваньская АЭС (Китай); АЭС «Куданкулам» (Индия); АЭС «Бушер» (Иран) и др.

СВРД обладают стойкостью к условиям эксплуатации, соответствующим как проектным авариям (LOCA), так и запроектным («тяжелым» авариям), требования к которым были сформулированы после аварии на АЭС «Фукусима» (Япония).

В настоящее время СВРД полностью сертифицированы (включая сертификат TUF); на детекторы (ДПЗ, термодары, термометры сопротивления), входящие в состав СВРД, получены свидетельства об утверждении типа средства измерений.

Хочется подчеркнуть, что достигнутые успехи в области ДПЗ свидетельствуют об удивительном таланте Н.С. Лидоренко увидеть новое перспективное направление в развитии науки и техники, привлечь молодых – талантливых людей для его реализации и помочь им обязательно довести результаты проведенных НИОКР до внедрения в промышленное производство.

ВКЛАД ЧЛЕНА- КОРРЕСПОНДЕНТА РАН Н.С. ЛИДОРЕНКО В РАЗВИТИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВА В РОССИИ

*А.Я. Терекзов, к.т.н., член-корреспондент
Международной термоэлектрической академии*

Возглавляемый свыше трех десятилетий Николаем Степановичем Лидоренко Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока - ВНИИТ (в настоящее время АО «НПП «Квант») являлся в стране ведущим предприятием по созданию автономных источников электрической энергии космического и наземного применения и, в частности, термоэлектрических преобразователей тепловой энергии в электрическую с рабочей температурой по горячему спаю от 100 до 1000°С.

В этой связи, необходимо отметить роль и значение Н.С. Лидоренко, не только как крупного ученого в области прямого преобразования различных видов энергии в электрическую (д.т.н., профессора, члена-корреспондента РАН), но и как выдающегося организатора науки.

Н.С. Лидоренко возглавил институт в самый разгар «холодной» войны, когда для всех видов военной техники потребовались надежные автономные источники электрической энергии, причем особенно жесткие требования предъявлялись к ним в области ракетно-космической техники.

Это было непростое время, когда от Н.С. Лидоренко требовалось создание новых научных направлений в автономной энергетике, реализация смелых инженерных решений, поиск талантливых ученых, умелое руководство большим коллективом работников института и опытного производства.

Запущенный 4 октября 1957 г. первый искусственный спутник Земли был оснащен блоком электропитания, состоящим из разработанных и созданных во ВНИИТе под руководством Н.С. Лидоренко аккумуляторных серебряно-цинковых батарей повышенной емкости. Тогда весь мир, затаив дыхание, слушал «энергичный» голос первого спутника, и Н.С. Лидоренко вполне заслуженно получил ученую степень доктора технических наук.

В это время им был создан коллектив из талантливых ученых (А.П. Ландсман, затем М.Б. Каган и др.), которые начали работать над созданием качественно новых источников электрической энергии, и уже на третьем спутнике, выведенном на орбиту 15 мая 1958 г., были установлены солнечные батареи, которые затем работали на всех выводимых в космос объектах.

Системы энергообеспечения, разработанные под руководством Н.С. Лидоренко, находились и на космическом корабле «Восток», на котором 12 апреля 1961 г. совершил полет Ю.А. Гагарин.

В 1960 - 70-х гг. ВНИИТ представлял собой огромную научно-производственную организацию, состоящую из нескольких сотен лабораторий, более десятка филиалов,

работавших по всей стране, где выполнялись исследования по десяткам направлений и тематик. Только на московской территории института трудились 11 тысяч сотрудников, в том числе около 5 тысяч ученых и инженеров. Многие работы института были отмечены государственными премиями, большое количество сотрудников института и его филиалов успешно защитили кандидатские и докторские диссертации, а Н.С. Лидоренко в 1965 г. был избран членом-корреспондентом АН СССР.

В дальнейшем объем выполняемых институтом научных работ шел по возрастающей. Были начаты работы по реализации идеи Н.С. Лидоренко об использовании энергии двойного электрического слоя в гетерогенных системах, что привело к созданию нового электротехнического устройства – молекулярного конденсатора, занявшего промежуточное место между аккумуляторной батареей и традиционным конденсатором. Сегодня эти устройства, получившие название «суперконденсаторов» широко используются во всем мире.

Не менее впечатляющих результатов удалось достичь Н.С. Лидоренко и при создании электрохимических генераторов, которые были установлены к Московской Олимпиаде на нескольких микроавтобусах вместо бензиновых двигателей внутреннего сгорания.

Однако научный и творческий портрет Н.С. Лидоренко был бы неполным, если бы мы не отметили его вклад в становление и развитие работ по термоэлектричеству.

Не будет преувеличением сказать, что именно Россия стала тем местом, где термоэлектричество было впервые продемонстрировано в виде эффектного лабораторного эксперимента.

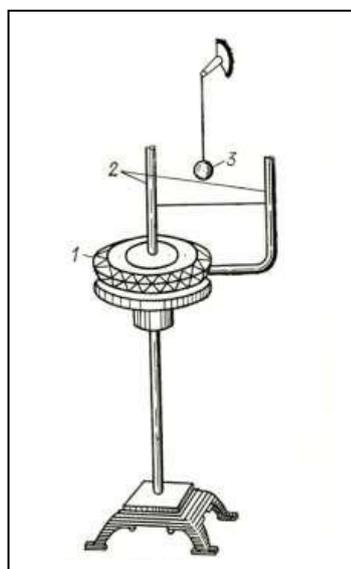


Схема термоэлектрического маятника Эпинуса.

В предложенном петербургским академиком Ф. Эпинусом термоэлектрическом маятнике, пробковый шарик совершал колебательные движения под воздействием электрического потенциала создаваемого нагретым термоэлектрическим материалом – турмалином (природный материал, использующийся как полудрагоценный камень на украшения), обладающим большим коэффициентом термо-э.д.с., свойственным полупроводниковым соединениям. Это позволяло при небольшом перепаде температуры на турмалине, получать значительный электрический потенциал.

Это было сделано за 60 лет до известных исследований немецкого физика Зеебека, установившего, что в электрической цепи, состоящей из разнородных проводников, при нагреве одного спая и охлаждении другого появляется электрический ток. Это явление получило в науке и технике название термоэлектрического эффекта Зеебека.

Интенсивное развитие радиосвязи в первой половине XX века потребовало создания

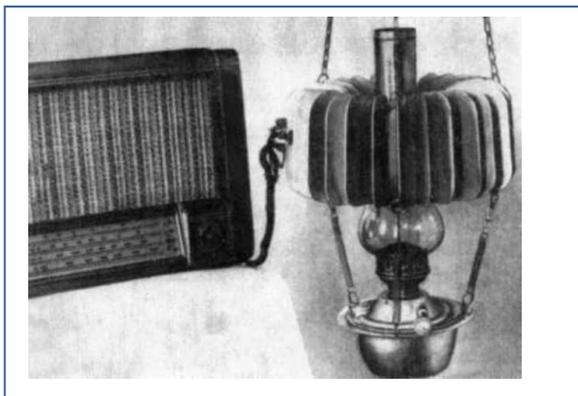
новых автономных источников электропитания. Одним из них стал, разработанный в годы Великой Отечественной войны сотрудниками Ленинградского Физико-технического института, руководимого А.Ф. Иоффе, автономный переносной термоэлектрический источник питания для партизанских радиостанций, получивший известность как «партизанский котелок». В нем горячие спаи термоэлементов нагревались от пламени костра, а холодные спаи охлаждались кипящей водой.

В 1948 г. сотрудник Ленинградского Физтеха Ю.П. Маслаковец создал источник электропитания, работающий от тепла керосиновой лампы.

В необходимости их промышленного освоения академик А.Ф. Иоффе, предвидевший большие перспективы для практического использования термогенераторов в народном хозяйстве, смог убедить в этом руководителя страны И.В. Сталина во время личной встречи, состоявшейся в 1951 г. В этот же день М.Г. Первухин, заместитель председателя Совета Министров СССР и председатель бюро по химии и электростанциям при Совете Министров СССР, вызвал к себе в кабинет Николая Степановича Лидоренко, незадолго до этого назначенного директором Элементно-электроугольного института (НИЭЭИ) и поручил ему наладить промышленный выпуск источников питания на основе термоэлементов.

Рассказывая об этой истории, Николай Степанович вспоминал: «Я стал возражать, объяснять, что институт занимается совсем другими элементами!», но тут из-за бокового столика, стоявшего в кабинете М.Г. Первухина, встал академик А.Ф. Иоффе и сказал: «Николай Степанович! В этом кабинете не говорят слова нет!»

На следующий день Н.С. Лидоренко и А.Ф. Иоффе поехали в подмосковный поселок Правдинский, где находилась мастерская по выпуску керосиновых ламп, где уже через месяц был налажен выпуск термоэлектрических генераторов (ТЭГ) с нагревом от керосиновой лампы.



ТЭГ с нагревом от керосиновой лампы.

Благодаря организаторским способностям Н.С. Лидоренко и его умению подбирать кадры керосиновая мастерская быстро превратилась в завод «Термогенератор», выпускавший термоэлектрические генераторы в количестве, которое удовлетворяло потребности огромной страны. Вскоре его продукция получила широкое распространение не только в нашей стране, но и за рубежом. По инициативе Н.С. Лидоренко здесь был начат выпуск и второго изделия – усовершенствованного «партизанского котелка», который продолжался в течение нескольких десятков лет.

Со временем Н.С. Лидоренко при поддержке руководства страны был создан во ВНИИТе (г. Москва) большой научный центр с термоэлектрическими филиалами в Ленинграде, Кишиневе, выполнявшими работы по следующим направлениям: материаловедение термоэлектрических материалов, элементная база термоэлектричества, технология термоэлектрических материалов, термоэлементов и термобатарей, разработка конструкций термоэлектрических генераторов и испытания на срок службы, дальнейшее развитие получила теория термоэлектрических явлений.

Коллективом ученых термоэлектрического направления ВНИИТ, которые последовательно возглавлялись д.т.н. проф. А.С. Охотиным, д.т.н. М.А. Ханиным, д.т.н. проф. Н.В. Коломойцем, создавалась промышленная технология изготовления металло-керамических термоэлементов и термобатарей, решались вопросы физикохимической совместимости полупроводниковых материалов с коммутационными слоями и токовыми шинами, разрабатывались различные типы антисублимационных покрытий для термоэлементов. Одновременно с материаловедческими и технологическими подразделениями и опытным производством (не считая завод «Термогенератор») было создано конструкторское подразделение, которым последовательно руководили д.т.н., профессор В.Ф. Лебедев, д.т.н., проф. В.П. Проценко, д.т.н., проф. А.З. Кулиев.

На предприятии велась большая научная работа по исследованию новых термоэлектрических материалов, при этом молодые ученые имели все условия для плодотворной творческой работы, а руководство института приобретало современное оборудование, как в нашей стране, так и за рубежом для выполнения исследовательских и технологических работ и их метрологического обеспечения.

В 1962 г. коллективом ученых ВНИИТа была создана высокопроизводительная технология получения металлокерамических термоэлементов и термобатарей с температурой эксплуатации по горячему теплоносителю около 300°C.

Эти успехи позволили институту и его опытному производству создать уникальную, даже по сегодняшнему уровню, термоэлектрическую бортовую электростанцию – ТЭГ-150 с атомно-реакторным нагревом мощностью 150 кВт для атомной подводной лодки.

Следует отметить, что продолжавшиеся в США несколько лет работы по созданию бортовой термоэлектрической установки с атомно-реакторным нагревом мощностью 100 кВт (SNAP-100) так и не были завершены.

В 1963 г. во ВНИИТе началось выполнение большого объема научно – исследовательских работ по созданию среднетемпературных термоэлементов и термобатарей с температурой эксплуатации 650 - 700°C. В качестве перспективных исследовались свойства термоэлектрических материалов на основе PbSe, PbTe, GeTe.

Были определены их термоэлектрические характеристики в зависимости от состава и количества легирующих компонентов и температуры, разрабатывались варианты коммутации полупроводниковых ветвей термоэлементов с токовыми шинами, изготовленными из серебра, меди, никеля и других металлов и сплавов на их основе. Были разработаны материалы и технологии для антисублимационных покрытий термоэлементов и термобатарей, технологии компактирования ветвей методом порошковой металлургии. Исследовались скорости сублимации материалов термоэлементов при различных температурах в вакууме, аргоне, гелии, взаимодействие полупроводниковых материалов с антисублимационными покрытиями в зависимости от состава и технологии нанесения.

В результате реализации ряда новаторских технологических и конструкторских решений на заводе «Термогенератор» были разработаны и внедрены в серийное производство новые термогенераторы (ТЭГ) типа УГМ-80 мощностью 80 Вт с напряжением на нагрузке 24 - 26 В, работающие на природном газе.

Они использовались в качестве автономных источников электропитания для радиорелейных линий магистральных трубопроводов в районах Крайнего Севера, Сибири, в труднодоступных районах центра России и пустынях Средней Азии.

Были получены аналитические выражения, позволяющие рассчитать основные параметры термогенератора, исходя из конкретных конструктивных параметров и свойств полупроводника, в частности, удельную мощность ТЭГ, к.п.д. преобразования.

Позднее Р.В. Ковальским была предложена уточненная методика подсчета параметров ТЭГ с учетом тепловых утечек по межэлементной изоляции, которые могут быть значительными.

Разработанная методика инженерного расчета и математический анализ работы термоэлектрического генератора с переменной нагрузкой позволили существенно сократить сроки проектирования и создания термоэлектрических преобразователей.

Конструкция УГМ-80 обеспечивала его работоспособность при температуре окружающей среды $-60 \div +50^{\circ}\text{C}$, относительной влажности 95%, при любой ветровой и снеговой нагрузке. В свою очередь, конвейерная сборка, использование прессов автоматов при изготовлении ветвей термоэлементов обеспечивали высокую производительность и низкую себестоимость продукции. Термогенераторы продавались «Газпрому» в количестве 700 - 750 штук в год по цене 70 - 80 руб. за ватт (1970 - 80 гг.).

Н.С. Лидоренко уделял большое внимание работе по развитию теории термоэлектричества. Под его руководством было выполнено теоретическое исследование возможности повышения добротности путем создания термоэлектрического материала с необычной структурой, в котором происходит туннелирование электронов через вакуумный зазор, но при этом фононная составляющая через вакуумный зазор не пропускается. Это теоретическое предсказание в настоящее время реализуется в современных наноструктурированных материалах.

На предприятии были проведены исследования, результатом которых явилась разработка технологии получения мелкодисперсных (тогда не было термина – наноразмерных) порошкообразных термоэлектрических материалов методом сверхбыстрого охлаждения или, как это сейчас принято называть, методом закалки из жидкого состояния – ЗЖС. Он позволил достичь добротности на халькогениде висмута (p -тип) равной 1,2 при комнатной температуре, с одновременным увеличением механической прочности скомпактированного материала в 4 - 5 раз. Аналогичные результаты были достигнуты зарубежными и отечественными исследователями спустя 25 лет.

Результатом большой научной и практической деятельности ВНИИТа и его филиалов стало избрание Н.С. Лидоренко членом-корреспондентом Академии Наук СССР (1966 г.), он стал председателем многих научных советов и комиссий при Академии Наук, главным редактором журнала «Новые методы получения электроэнергии» и ряда других специализированных изданий.

Еще в середине 1950-х годов С.П. Королев подключил Н.С. Лидоренко и ВНИИТ к космическим делам. Как вспоминал Николай Степанович: «Связь с Королевым у нас была непрерывная. Обсуждали проекты и идеи; ругались, когда культурно проваливали сроки. Но никто не помнил никаких обид. Дело было впереди!».

Н.С. Лидоренко прекрасно понимал, что прогресс в космонавтике неразрывно связан с состоянием бортовых систем электропитания. Действительно, анализируя более чем полувековой опыт освоения космического пространства, следует отметить, что история развития космонавтики неразрывно связана с поиском новых источников электроэнергии, совершенствованием технологических и конструктивных решений, обеспечением возрастающих требований к их к.п.д., сроку службы, удельной мощности.

Академик РАН Б.Е. Черток один из пионеров отечественной космонавтики и заместитель С.П. Королева вспоминал: «Между Н.С. Лидоренко и руководителем Совета часто возникали жаркие споры!» Н.С. Лидоренко умел отстаивать свою точку зрения на технические проблемы космической энергетики в споре с руководителями любого уровня.

По заданию правительства, возглавляемый Н.С. Лидоренко коллектив термоэлектрического направления приступил к созданию термоэлектрического генератора с атомно-реакторным нагревом для космического аппарата радиолокационной разведки системы МКРЦ (морской космической разведки и целеуказания). Энергоустановка состояла из малогабаритного ядерного реактора на быстрых нейтронах с тепловой мощностью 100 кВт.

Для нагрева горячих спаев термобатарей до температуры $650 - 670^{\circ}\text{C}$ был использован жидкометаллический теплоноситель, который с более низкой температурой $350 -$

400°С применялся и для охлаждения холодных спаев, отвод тепла с которых был затруднен возможностью его сброса в космическое пространство только за счет излучения. Предстояло решить непростую техническую задачу по созданию термоэлектрического генератора большой мощности в столь жестких температурных условиях.



Термоэлектрический генератор с реакторный нагревом.

В итоге во ВНИИТе был создан термоэлектрический генератор «4Я20» электрической мощностью 2,8 кВт состоял из плоских термобатарей, выполненных на основе полупроводниковых материалов – халькогенидов свинца и германия и размещенных внутри герметичного цилиндрического контейнера с горячим и холодным теплопроводами, заполненного инертным газом.

При проведении работ по изготовлению термогенератора «4Я20» получила дальнейшее развитие технологическая база предприятия, был выполнен большой объем научно-исследовательских работ по термоэлектрическому материаловедению, разработан эффективный антидиффузионный барьер для решения проблемы коммутации каскадной p -ветви на основе халькогенида германия с токоведущими металлическими шинами, внедрена высокопроизводительная технология получения методом порошковой металлургии термоэлементов и термобатарей путем их компактирования с последующим прессованием на воздухе.

Опыт работ над термогенератором «4Я20» в дальнейшем послужил основой для создания более эффективных (по сравнению с УГМ-80) среднетемпературных, с температурой эксплуатации до 650°С, термоэлектрических генераторов типа УГМ-200, ГТГ-150. Используемые в них термобатареи обеспечивали генерацию электрической энергии с одного см² рабочей поверхности 0,9 - 1,0 Вт. Одновременно удалось увеличить срок службы низкотемпературных генераторов типа УГМ-80М до 25 лет, а температуру эксплуатации поднять до 380°С. В результате мощность генератора увеличилась на 25% при сохранении показателей по сроку службы.

Одновременно с изделием «4Я20» был разработан термоэлектрический высокоточный источник питания ТЭГ «КЗ» мощностью 0,5 кВт (ток 1500 А) выполненный по безизоляционной схеме. Ветви n - и p -типа проводимости имели размеры 40x40 нм и их сопротивление составляло 40-10⁻⁶ Ом при 650°С. ТЭГ «КЗ» использовался для питания электромагнитного насоса, который осуществлял прокачку жидкометаллических теплоносителей реакторных систем. Насос обеспечивал функционирование системы в штатном режиме и осуществлял расхолаживание реактора при аварийном отключении бортового электропитания. Отсутствие электрической изоляции позволяет получить к.п.д. термогенератора практически равный к.п.д. термоэлектрического материала и предельно высокую удельную мощность (Вт/кг), что особенно важно для космических аппаратов.

При разработке конструкций термоэлектрических генераторов Н.С. Лидоренко уделял особое внимание их надежности. Для этого он расширил отдел ресурсных испытаний термоэлементов и термобатарей (ТЭБ). Одним из результатов его работы было

установление влияния на ресурсные и энергетические характеристики ТЭБ усилия их одностороннего сжатия, т.е. усилия поджатия к теплоприемнику и радиатору (Р), показанного в табл. 1.

Таблица 1

Электрическая мощность ТЭБ	Напряжение холостого хода	Внутреннее сопротивление ТЭБ	Сопротивление изоляции	Усилия одностороннего сжатия
W (Вт)	Шх (В)	R (ом)	R _{го} (ом)	Р кг/см ²
8,23	5,05	0,775	100	4
15,06	6,55	0,699	100	35

Видно, что при изменении усилия одностороннего сжатия с 4 до 35 кг/см², мощность меняется почти в два раза для одной и той же ТЭБ, увеличивается и напряжение холостого хода при одновременном уменьшении внутреннего сопротивления, что справедливо для всех ТЭБ плоской «сэндвичевой» конструкции.

После этого Н.С. Лидоренко поставил перед конструкторами ТЭГ задачу резкого увеличения усилия поджатия ТЭБ к теплоприемнику и радиаторам, которая была успешно решена созданием прижимных устройств, которые используются уже три десятилетия во всех ТЭГ, разработанных НПП «Квант», в том числе и современном генераторе ГТГ-150Н.

В начале 1970-х годов директору ВНИИТ Н.С. Лидоренко правительство страны поручает создание термостатирующего устройства для саркофага В.И. Ленина в Мавзолее. Для решения этой задачи потребовалось создать надежные и эффективные термоэлектрические батареи обеспечивающие однородность температурного поля в конструкции саркофага в пределах 0,1 - 0,2°С.



Посещение ВНИИТ А.Н. Косыгиным.

Решением этой сложной конструкторской и технологической задачи под руководством Н.С. Лидоренко занимался большой коллектив ученых, технологов и конструкторов во главе с д.т.н. С.В. Рябиковым. На заводе «Термогенератор» в крайне сжатые сроки было налажено производство новых холодильных модулей, и в 1975 г. после длительных испытаний вся система термостатирования саркофага была принята в эксплуатацию. В дальнейшем была разработана безвентиляторная система термостатирования с использованием в тепловой цепи эффективных теплопередающих элементов на основе низкотемпературных двухфазных термосифонов, которая в 1977 г. была запущена в штатную эксплуатацию. Аналогичные системы были установлены в мавзолеях Г. Димитрова (Болгария), Агостиньо Нето (Ангола) и Хо Ши Мина (СРВ), в последнем из них она успешно эксплуатируется до настоящего времени.

Большое внимание Н.С. Лидоренко уделял экологии нашей планеты. По его инициативе были созданы солнечные термоэлектрические генераторы (СТЭГ) наземного и космического базирования, работающие за счет нагрева от использования солнечной

энергии. Такой источник электрической энергии не наносит вреда экологии и представляет новый этап развития автономной энергетики.

СТЭГ был впервые испытан в СССР в наземных условиях в 1955 г. и в космосе в 1961 г.

К этому времени была разработана технология изготовления низкотемпературных трубных модулей с температурой эксплуатации 320°C (по теплоносителю) и сроком службы 25 лет, в которых нагрев горячих спаев осуществлялся с помощью тепловых труб различного конструктивного исполнения. Такой СТЭГ мощностью 40 Вт был продемонстрирован председателю Совета Министров СССР А.Н. Косыгину.

СТЭГ имел к.п.д. преобразования 3,8 – 4% при сроке службы 25 лет, удельную электрическую мощность 62 Вт/кг и по последнему показателю превосходил аналогичный модуль фирмы Westinghouse.

Достижению столь высоких показателей способствовало использование в качестве р-ветви материала $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$, который с 1949 г. используется во всем мире в миллионах модулях Пельтье и в несколько более скромных количествах в генераторных модулях. До сих пор никто из исследователей пока не смог получить промышленный материал с более высокими термоэлектрическими свойствами.

Следует особо отметить, что частыми гостями во ВНИИТе были выдающиеся личности из числа ученых, например, академики Н.Н. Семенов, П.Л. Капица, Е.О. Патон и президент Академии Наук СССР академик А.П. Александров, который активно интересовался успехами в области автономной энергетики и особенно в термоэлектричестве, в области которого Н.С. Лидоренко было, что показать.



Посещение ВНИИТ А.П. Александровым.

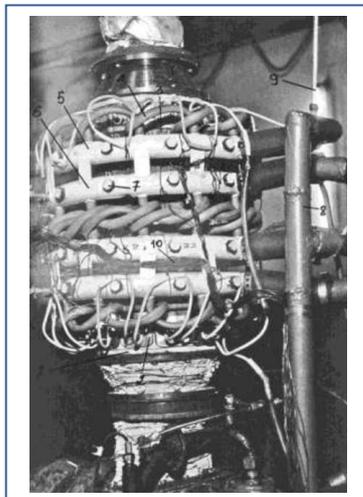
Разработанные во ВНИИТе трубные модули использовались для утилизации тепла геотермальных источников в Долине гейзеров на Камчатке и для питания научной аппаратуры, установленной там же на склоне действующего вулкана. Геотермальный ТЭГ обеспечивал электроснабжение научной аппаратуры института Вулканологии АН СССР в течение многих лет.

Дальнейшим развитием работ по созданию трубных термоэлектрических модулей стали исследования по созданию установки «Гамма», для которого были изготовлены модули мощностью 210 Вт с высокопрочным наружным титановым корпусом способным выдержать погружение на дно океана на глубину до 6000 м. Длительные стендовые испытания во ВНИИТе такого модуля, снабженного тепловой гравитационной трубой, показали стабильность его энергетических характеристик при температуре эксплуатации по горячей стороне равной 320°C .

Под руководством Н.С. Лидоренко также активно велись работы по утилизации тепла

двигателей внутреннего сгорания. Наиболее успешной разработкой в этой области стал компактный утилизационный термогенератор (УТЭГ) мощностью 500 Вт с напряжением 220 В, который устанавливался на выхлопной трубе дизельной судовой установки. Охлаждение холодных спаев ($T_x = 40^\circ\text{C}$) осуществлялось забортной водой.

Одновременно с проведением вышеназванных исследовательских работ постоянно возрастал выпуск ТЭГ на заводе «Термогенератор». К этому времени на газовых магистралях страны бесперебойно работали около 10 тысяч термогенераторов различной мощности, средняя выработка экологически чистой электроэнергии в год составляла около 8 млн. кВт/час.



Утилизационный термоэлектрический генератор (УТЭГ) мощностью 500 Вт.

Затем для решения ряда технических задач возникла необходимость в разработке термоэлектрического источника тока, у которого внутреннее сопротивление стремится к нулю, насколько это технически возможно. Н.С. Лидоренко с сотрудниками термоэлектрического направления была разработана теория, показавшая необходимость специальной оптимизации материалов, существенно отличающихся от их выбора по критерию Иоффе. Изготовленные с использованием этой теории термоэлектрические источники тока на основе металлических сплавов вырабатывали ток в тысячи ампер.

Большое внимание Н.С. Лидоренко уделял экономическим аспектам производства ТЭГ. В свое время под его руководством были начаты работы по замене дорогостоящих теллура и германия более дешевым сульфидом свинца, в изобилии имеющиеся на территории нашей страны в виде минерала галенита, которые продолжались и после его ухода.

ВЗГЛЯД ЧЕРЕЗ ЗАБОР. СПОСОБНОСТЬ ПРЕДВИДЕТЬ

З.Р. Каричев, академик РАН

В 1972 году было подготовлено Постановление Правительства СССР по разработке и организации производства электромобилей для городских пассажирских перевозок и доставки мелких партий грузов в сфере торговли и обслуживания. К этим работам были привлечены профильные предприятия министерств автомобильной и электротехнической промышленности. Ключевой проблемой тогда, как впрочем, во многом и сегодня, остаются несообразные характеристики бортового источника электроэнергии. В 70-е годы единственным его вариантом были тяжелые свинцово-кислотные батареи, ограничивавшие дальность пробега и динамические характеристики электромобилей. К тому же их зарядка занимала много времени, а механическая замена разряженного комплекта батарей заряженным оказалась делом хлопотным и развития не получила.

В этот период во Всесоюзном институте источников тока велась разработка мощной энергоустановки для подводных лодок на водородно-кислородных топливных элементах. И Николай Степанович Лидоренко поручил разработчикам дать предложения по использованию этой технологии для создания энергоустановок пассажирских электробусов. Для достижения максимальных мощностных характеристик, было предложено использовать водородно-кислородные топливные элементы. Ответ Лидоренко был категоричным: – никогда чистый кислород не будет использоваться на пассажирском транспорте. Разработчики были поставлены перед выбором – либо они найдут вариант электрода, позволяющего использовать кислород воздуха, либо работа будет прекращена. Проблема заключалась в том, что уже давно, разработанные и успешно применяемые в металловоздушных источниках тока свободно дышащие воздушные электроды, не обеспечивали эффективный сброс избыточного тепла топливных элементов при их работе в транспортном средстве.

На начальном этапе создание такого электрода казалась невыполнимой задачей. Однако уже через полгода было найдено решение проблемы создания избыточного давления газа над циркулирующим щелочным электролитом, а спустя еще полгода, в течение которого проводилось совершенствование активного слоя, был создан катод, поляризационные характеристики которого при использовании воздуха были лишь на 10% ниже тех, которые достигались при использовании чистого кислорода.

После этого разработчики получили согласие и интенсивную поддержку в инициативной работе по созданию водородно-воздушных энергоустановок, получивших рабочее название «Исток». Это была просто аббревиатура из двух слов: – источник тока, но будущее показало, что это было действительно началом процесса получившего позже колоссальное развитие. Хотя, довольно долго даже не только на стороне, но и среди ряда ведущих сотрудников отделения электрохимических генераторов эта работа называлась «забавой Лидоренко», привлекшего себе в помощники энтузиаста Каричева. Сказанное не более чем иллюстрация отличительной способности Николая Степановича предвидеть возможное будущее развитие, поэтому с самого начала в разработке было задействовано большое количество квалифицированных сотрудников.

Каричев З.Р., зам. главного конструктора, Лидоренко Н.С., генеральный директор и Тейшев Е.А. нач. лаб. по разработке воздушных электродов (снимок 2003 г.).



На начальном этапе были созданы два лабораторных образца водородно-воздушных электрохимических генераторов и проведены их стендовые испытания. Чтобы убедиться, что энергоустановка с жидким циркулирующим электролитом останется работоспособной в движении, будучи установленной на транспортном средстве, было решено изготовить и испытать примитивный прототип микроэлектробуса. Для этого использовали электромобиль, предназначенный для перевозки пассажиров по территории выставочных комплексов. В его кузове были демонтированы пассажирские сидения, установлен генератор мощностью 5 кВт, для питания которого на полу салона положили два стандартных баллона с водородом. Генератор через преобразователь напряжения был подключен к буферной свинцово-кислотной аккумуляторной батарее. Этому чуду техники, получившему у его создателей шуточное прозвище «катафалк», не было разрешено выезжать за пределы территории предприятия, поэтому для демонстрации на различных электромобильных смотринах он доставлялся путем буксировки.



Демонстрация электромобилей
руководству МК КПСС.
Москва, 1980 год, 34-автокомбинат.

Тем не менее, стало понятно, что концептуальные решения найдены и можно было приступить к проектированию полноценного прототипа. Николай Степанович, по его словам «через забор», договорился о сотрудничестве с Евгением Артемовичем Башинджаганом, первым заместителем министра автомобильной промышленности по новой технике. Фразу «через забор» можно понимать буквально, поскольку их дачи располагались по соседству. В то время никаких руководящих решений по созданию микроэлектробуса на топливных элементах не существовало, и начало работ было личной инициативой Лидоренко, чаще всего встречавшей непонимание. Однажды при техническом обсуждении один из автомобильных чиновников даже заявил, что сделает все от него зависящее, чтобы эта «водородная бомба» никогда не появилась на автотранспорте. Время, как всегда, расставила все по своим местам.

Минавтопром привлек к созданию микроэлектробуса Рижское СКБ завода РАФ. Оно уже имело опыт создания электробусов на базе микроавтобуса «Латвия» и располагало высококвалифицированными инженерами и рабочими, мастерами своего дела. Из разработчиков КВАНТ и Рижского СКБ в короткий срок удалось сформировать действительно творческий коллектив, который внес существенные изменения в кузов микроавтобуса, расположив оптимальным образом для равномерного распределения веса по осям основные компоненты энергоустановки. Особое внимание было уделено безопасности. Электрохимический генератор «Исток 4», баллоны с водородом и буферная аккумуляторная батарея размещались в герметично изолированных от пассажирского салона отсеках и были снабжены активной системой вентиляции.



Пассажирский салон по тем временам выглядел замечательно. Мягкие сидения с качественной тканевой обивкой и даже небольшой откидной столик для ведения записей в процессе ходовых испытаний и последующего дружеского обсуждения их результатов. В отличие от электромобилей того времени внутри микроэлектробуса в зимнее время было тепло, что достигалось совмещением системы охлаждения генератора жидким циркулирующим электролитом с воздушными радиаторами для нагрева воздуха.

Первая публичная демонстрация микроэлектробуса состоялась летом 1982 года на Международной выставке «Электро-82». Впервые в мире был показан полностью завершённый концепт электробуса с гибридной энергоустановкой на основе электрохимического генератора, водородно-воздушных топливных элементов и буферной аккумуляторной батареи, опередивший более чем на десятилетие аналогичные разработки зарубежных автопроизводителей.

Хотя на борту микроэлектробуса и находилось такое экзотическое по тем временам топливо, как водород, он получил от Государственной автомобильной инспекции разрешение на проведение испытаний на улицах Москвы и имел стандартный номерной знак. Его появление на улицах вызывало интерес окружающих, прежде всего, благодаря эффектной окраске.

Художник, работник «КВАНТ», а также реставрационных мастерских Кремля, использовал для цветового решения цвета будущего флага России. Об этом он никому не сказал, иначе, скорее всего, машина выглядела бы по-другому. По результатам ходовых испытаний внесены изменения в конструкцию энергоустановки, позволившие увеличить мощность генератора, сделать его более компактным и снабдить системой автоматического управления. Новая конструкция получила индекс «Исток 5». Новый генератор был изготовлен и прошел стендовые испытания, а со специалистами СКБ РАФ интенсивно

обсуждалось усовершенствование кузова. Однако решения о начале работ по второй фазе проекта все не было и разработчикам это было непонятно. Глубокой осенью этого же года на Старой Площади в Москве состоялась демонстрация различных электромобилей руководителям государства. Был там и наш микроэлектробус. Я оказался рядом с



начальником управления конструкторско-экспериментальных работ Минавтопрома Титковым А.И. и, решив воспользоваться случаем, спросил его о том, когда начнется работа над следующим образцом. Его ответ был жестким и категоричным. Он сказал: «Зия, второй машины не будет. Ваши руководители должны были вести себя как порядочные партнеры». Оказалось, что во время моего отпуска, в нарушение приказа заместителя директора по науке, запрещавшего выезд электромобиля за пределы предприятия, его вывезли на Новую площадь для показа МК КПСС в целях какой-то личной корысти. Во время демонстрации машины представители «Кванта» не только умолили роль Минавтопрома в разработке электромобиля, но и

указывали на непонимание значимости этой работы и отсутствие должного к ним внимания, что было неправдой. После этого Минавтопром запретил изготовление следующего образца. В результате труд и творческое взаимодействие большого количества людей пали жертвой личной корысти одного человека.

Продолжение разработки вновь стало возможным благодаря имени и авторитету Н.С. Лидоренко. На следующий год, ему, используя хорошие взаимоотношения с членом венгерской АН, директором Института электротехники Лукачем, удалось включить эту разработку в Программу научно-технического сотрудничества стран СЭВ. Кроме Института электротехники с венгерской стороны активным участником работ стало подразделение одного из крупнейших в то время изготовителей автобусов в Европе – Производственного объединения ИКАРУС, находящийся в городе Секешвехерваре и занимавшееся разработкой и изготовлением комфортабельных автобусов по специальным заказам. Около двух лет велись проработки различных вариантов новой модификации электробуса, который должен был превосходить наш РАФик по вместимости пассажиров и занять конкретный сегмент рынка. Главной проблемой было отсутствие приемлемой по весу, габаритом и сроку службы буферной аккумуляторной батареи. Чтобы обеспечить допустимый температурный режим и эффективную рекуперацию энергии торможения приходилось существенно увеличивать емкость батареи по отношению к тому, что требовалось с учетом движения в городском цикле. Венгерскими партнерами было предложено отказаться от электропривода и использовать гидростатическую трансмиссию. Она включала электродвигатель, вращающий основной гидронасос, обратимый гидромотор, приводящий во вращение ведущие колеса и работающий в режиме торможения, как гидронасос и буферный гидрогазовый аккумулятор. Такая система обеспечивала идеальные тяговые характеристики, мощность 98 кВт и КПД преобразования давления жидкости в механическую работу превышавший 90%. Все основные узлы и устройства управления были изготовлены немецкой фирмой Mannesmann Rexroth. Такое решение позволило снизить вес привода на 900 кг и отказаться от необходимости использовать высокое электрическое напряжение на борту транспортного средства, что значительно повышало безопасность его использования. Московское подразделение «КВАНТ» разработало электрохимический генератор мощностью 40 кВт на новых, существенно более мощных топливных элементах,

для которого в его краснодарском подразделении на заводе САТУРН, были разработаны и изготовлены агрегаты пневмоавтоматики, по функциональным и техническим характеристикам не уступающие и сегодня продукции ведущих производителей. К сожалению, формат краткого очерка не позволяет назвать имена многих талантливых специалистов, принимавших участие в этом проекте.

В качестве базовой модели использовался Ikarus 543.50. Даже при хранении водорода на борту в 6 стандартных стальных 50-и литровых баллонах при давлении водорода 200 атм. удельная энергоемкость энергоустановки составляла 150 Вт·ч/кг, что обеспечивало дальность пробега 200 км. Другим важным достоинством энергоустановки было то, что она в холодное время года предоставляла 16 кВт тепла для отопления пассажирского салона, что фактически увеличивало ее энергоемкость. Проект успешно продвигался и находился в стадии изготовления, но в его дальнейшую судьбу вмешались обстоятельства непреодолимой силы. Нарастающий экономический и политический кризис, как в Венгрии, так и в СССР привел к прекращению государственного финансирования и свертыванию работ по созданию электробуса.

Летом 2015 года я находился в служебной поездке в Бельгии по приглашению г-на Advin Martens, директора Waterstof Net, организации содействующей инновациям и раннему рыночному применению водородных технологий во Фландрии и южной Голландии. Перед зданием организации стоял автомобиль Hyundai 35, предоставленный ему компанией производителем, который по его словам, он использовал постоянно, проехав уже более 2500 км. Под капотом этого автомобиля находился электрохимический генератор на топливных элементах мощностью 100 кВт, а в багажнике металлопластиковый баллон с водородом под давлением 700 атм. Сев за руль я спросил: – «А что дальше?» – «Нажмите кнопку «пуск». Внешне ничего не изменилось. – «А что теперь?». – «Езжайте». Те же органы управления, но слышен только шум шин и поражает способность практически мгновенно ускоряться. Выйдя из машины, я испытал смешанное чувство восхищения и сожаления. Подумалось, жаль, что время распорядилось таким образом, что аналогичная машина с другим названием не стала служебным автомобилем Николая Степановича Лидоренко, который стоя у истоков создания этого нового плана транспортных средств.

СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ УСТРОЙСТВ

Б.Э. Павлушков, к.т.н., начальник отдела АО «НПП «Квант»

Воспоминания о том, что...

Николай Степанович Лидоренко был инициатором развития тематики создания отечественных электромобилей на основе объединения научно-технических достижений в области автомобильных источников и систем преобразования энергии для транспорта и стационарного назначения.

С этой целью по его предложению было принято решение Минэлектротехпрома о переводе Отдела 19 тяговых электроприводов (в настоящее время Отдел преобразователей электроэнергии АО «НПП «Квант») из ВНИИЭМ в НПО «Квант» и после этого организации работ совместно с предприятиями Минавтотранса и Мосавтотранса по государственной программе 1980 - 1985 гг. создания электромобилей городского применения. За этот период были созданы совместно с УАЗ и РАФ более 100 электромобилей, фото которых представлены на рис. 1 и 2. Организована и оснащена база опытной эксплуатации электромобилей на Автокомбинате № 34 Мосавтотранса, обеспечивающая ремонт и техническое сопровождение электромобилей, включая пункты ускоренного заряда аккумуляторных батарей.



Рис. 1. Электромобиль на базе автомобиля УАЗ: грузоподъемность 800 кг, максимальная скорость 70 км/ч.

Рис. 2. Электромобиль на базе автомобиля РАФ: вместимость 10 пассажиров, макс. скорость 70 км/ч.



Ежедневно в течение 5 лет электромобили осуществляли перевозку продуктов по установленным маршрутам с мест хранения в торговые сети г. Москвы.

Сотрудники Отдела 19 обеспечивали техническое сопровождение, профилактику и ремонт устройств электроэнергетического комплекса электромобилей.



Рис. 3. Миниэлектромобиль с солнечными батареями.



Рис. 4. Электромобиль на базе автомобиля «Москвич»: грузоподъемность 500 кг.

По инициативе Н.С. Лидоренко были разработаны и изготовлены грузовые электромобили на базе автомобилей «Москвич» и «Газель», миниэлектромобиль с солнечными батареями (рис. 3, 4), электробус для ВДНХ (рис. 5), ряд грузовых платформ с электроприводом, а также системы электропривода для железнодорожного транспорта, примененные в Московской монорельсовой дороге.

Рис. 5. Электромобиль на базе автомобиля ГАЗ 2705 «Газель»: грузоподъемность 1300 кг, максимальная скорость 70 км/ч.



Результаты разработок систем преобразования, включая хранение электроэнергии, и электроприводов, были использованы в автономной энергосистеме на базе емкостных накопителей и солнечных батарей НПО «Квант», в том числе в научно-исследовательской лаборатории, расположенной в Голубой бухте Черного моря рядом с г. Геленджик. Там была создана автономная энергоустановка (АЭУ) с насосной станцией, обеспечивающей добычу пресной воды с автоматическим заполнением и контролем уровня воды в специальной водонапорной башне.

И хотя планы разработки и эксплуатации электромобилей, проводившиеся в 80 - 85 гг., равно как и программа создание коммерческого электромобиля, сформированная в 1986 г., не были реализованы из-за извечных финансовых затруднений, возникших в СССР, хочется надеяться, что результаты реализации этих работ, осуществленных по инициативе и при участии Н.С. Лидоренко, найдут применение в трудах новых поколений ученых и инженерах НПП «Квант».

РОЛЬ Н.С. ЛИДОРЕНКО В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (ХЕМОТРОНИКИ)

Г.Я. Воронков, д.т.н., сотрудник ВНИИТа

Исследования в области создания и использования электрохимических преобразователей были начаты во ВНИИТе по инициативе Николая Степановича еще в 1953 г. Эти работы были одобрены и поддерживались академиками А.Н. Фрумкиным, А.И. Бергом, В.А. Котельниковым и другими крупными учеными.

Некоторые электрохимические принципы уже давно использовались в различных приборах, например, в кулометрах. Первые работы Н.С. Лидоренко и Т.А. Крюковой показали возможность применения других электрохимических систем для построения хемотронных приборов. Эффективность использования таких приборов Н.С. неоднократно отмечал, сопровождая своими остроумными комментариями.

Например, он отмечал такой пример использования электрохимических преобразователей. В ночь с 12 на 13 июня 1944 году немецкие дальнебойные артиллерийские батареи открыли по английскому побережью сильный и продолжительный огонь. Через несколько минут после окончания обстрела наблюдатели на постах противовоздушной обороны заметили странные самолеты, летевшие через Ла-Манш. Они издавали звук, не похожий на звук обычных самолетов, из их хвостовой части вырывалось пламя. Это были снаряды Фау-1. Через три месяца над Лондоном раздался мощный гул, напоминающий раскаты грома, и на город упала первая баллистическая ракета Фау-2. Всего на территории Лондона взорвалось около двух с половиной тысяч снарядов Фау-1 и Фау-2. Они разрушили несколько тысяч домов. Потери гражданского населения превысили 43 тыс. человек. «Эта новая форма атаки возложила на жителей Лондона бремя, пожалуй, еще более тяжелое, чем воздушные налеты 1940 и 1941 годов, – писал потом У. Черчилль. – Состояние неизвестности и напряженности становилось более сильным. Ни наступление дня, ни облачность не приносили утешения.... Слепая сила этого снаряда внушала человеку чувство беспомощности». Для управления дальностью полета ракет применялись дискретные электрохимические интеграторы, работа которых основана на законах электролиза. Так фашисты использовали научное открытие М. Фарадея против его соотечественников.

Способность приборов интегрировать входной электрический сигнал по времени вытекает из закона: масса образовавшегося или растворившегося вещества на электроде пропорциональна силе тока и времени его прохождения. По окончании процесса растворения вещества на электроде его поверхность мгновенно изменяет свой потенциал, что является сигналом для выполнения какой-либо операции.

Дискретные хлор-серебряные интеграторы, имеющие вид малогабаритных радиоламп (они-то и работали на Фау), дают в зависимости от величины тока временные

интервалы от нескольких секунд до нескольких недель. Погрешность работы при этом не превышает нескольких процентов.

Н.С. поставил задачу, оптимизировать концентрацию раствора и рабочее вещество (серебро), подобрать материал электродов, чтобы во время процесса напряжения на ячейке было ниже 100 мВ, а по окончании процесса переноса вещества напряжения резко возрастало до тех пор, пока не начнется газовыделение. Необходимо было разработать устройство, ограничивающее напряжения на ячейке до величины не более 0,5 В. Возрастающее напряжение на ячейке сигнализирует о полном переносе вещества с одного электрода на другой. Это напряжение можно использовать для отпириания транзистора или кремниевого управляемого выпрямителя. Меняя силу тока в цепи ячейки, можно получить различные временные интервалы переноса вещества, величина которых обратно пропорциональна силе тока. Кроме того необходимо было разработать такую систему, чтобы интегратор хранил проинтегрированную величину в течение длительного срока (несколько суток и даже недель) без потерь.

Был создан дискретный хлор-серебряный интегратор (сотрудники ВНИИТа Ю.Г. Сивер, А.И. Зак, О.Г. Звагельская). При использовании элемента с ёмкостью 0,432 кул задержка сигнала во времени составляет 24 часа при токе 5 мкА и 2 часа при токе 60 мкА. Прибор может работать на токах величиной от 0,01 до 1000 мкА и может генерировать сигналы со временем задержки от нескольких секунд до нескольких недель с точностью от 1-5% (при работе в диапазоне температур от -55 до +75°C). При выполнении соответствующих условий точность прибора может быть увеличена до 0,1%. Отличаясь малыми габаритами, высокой точностью, незначительным потреблением энергии, работоспособностью при низких температурах, электрохимический дискретный хлор-серебряный интегратор мог заменить более дорогие и менее надежные механические и электрические устройства, выполняющие те же функции.

Н.С. Лидоренко постоянно стремился расширить число электрохимических процессов для создания электрохимических преобразователей. Он, оказалось, был прав. В 1965 году впервые в СССР под его редакцией вышла книга (Г.Я. Воронков, М.А. Гуревич, В.А. Федорин. ХЕМОТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА (электрохимические преобразователи), М., 165 стр., илл., 1965 г.). Наряду с использованием обратимых фазовых переходов на электродах, стали использоваться и необратимые фазовые переходы на электродах. Но особенное внимание стали уделять диффузионным электрохимическим датчикам, позволяющим регистрировать неэлектрические сигналы. Ассортимент электрохимических преобразователей значительно расширился.

Электрохимические диоды могут использоваться в схемах, в которых возможно применение туннельного диода, например, в усилителях, генераторах, переключателях и логических элементах. Такие диоды могут применяться для стабилизации малых токов.

Были разработаны управляемые электрохимические сопротивления ЭСУ (в зарубежной литературе мемистор – активное сопротивление с памятью) (М.А. Гуревич, Г.Я. Воронков, В.А. Федорин, В.В. Соболев, А.И. Матвеев). В ячейке в качестве рабочего резистивного электрода использовали подложку графита или окисной пленки металлов. Основным компонентом электролита была серноокислая медь (кроме того электролит содержал кислоту и некоторые добавки, улучшающие качество осадка). Находящийся в ячейке медный управляющий электрод позволял проводить осаждение меди на резистивный электрод, что позволяло менять его активное сопротивление. Сопротивление менялось в пределах от нескольких ом до 100 ом. Время полного изменения сопротивления колебалась в зависимости от тока управления (до 10 мА) от 10 до 60 сек. ЭСУ выдерживал большое число циклов, длительное время хранил установленное значение сопротивления (потеря хранимой величины составляла менее 1% в неделю). ЭСУ устойчиво к действию ударных и вибрационных нагрузок. Основное применение ЭСУ нашел в мостовых схемах.

Рассматривался вопрос использования ЭСУ в потенциометрах с заменой моторного привода и редуктора, в аналоговых вычислительных машинах. Однако длительные испытания ЭСУ показали его недостатки – малый верхний предел сопротивления (сотни ом). Тем не менее, применение ЭСУ как высокоточного интегратора с длительным сроком хранения интегрированной величины сигнала, позволяло его использовать в элементах памяти в самовосстанавливающихся и др. системах.

Обратимые электрохимические фазовые переходы использовались в счетчиках машинного времени. Известно, что количество выделившегося на электроде вещества при пропускании тока пропорционально силе тока и времени его пропускания. При постоянном значении тока, количество осажденного металла пропорционально времени пропускания тока. Это позволило создать ртутный счетчик времени (В.А. Сиротенко, Г.Я. Воронков, В.В. Соболев). Счетчик времени состоит из тонкого стеклянного капилляра строго постоянного диаметра. Капилляр заполнен двумя столбиками ртути, разделенными промежутком, заполненным электролитом, содержащим соединения двух или одновалентной ртути. Токоотводами служат никелевые электроды, вставленные в капилляр, на концах трубка с отводами герметизируется эпоксидным клеем. Рабочие токи до 400 а/дм². Счетчики работоспособны в интервале температур от +120 до -20°С. Хранение допустимо при температуре до -65°С. Счетчик выдерживает удары до 50g, вибрацию от 5 до 2000 гц при 15 g. Срок хранения элемента исчисляется годами.

Ртутный кулометр в основном использовался как счетчик времени работы различных машин, механизмов. Элемент монтируется со шкалой в корпус, где располагается электрическая схема. Скорость перемещения на определенное расстояние, определяемое по шкале, пропорционально времени, которое регулируется током. Например, при токе 1000 мка время перемещения зазора на 50 мм (общая величина шкалы) составляет 20 часов, а при токе 10 мка – 2000 час, по шкале возможны промежуточные считывания времени работы какого-либо механизма на электрическом приводе. Разрабатывалось фотоэлектрическое считывание информации на счетчике, расположенном в недоступном месте для визуального считывания.

По указанию Н.С. на Краснодарском филиале ВНИИТа был создан цех, выпускающий счетчики времени (Ю.Н. Калугин). Небольшими партиями счетчики поставляли заказчикам. Впоследствии в некоторых институтах и ОАО по технологии, разработанной во ВНИИТе, выпускались счетчики времени для учета времени наработки горношахтного, карьерного и другого оборудования.

На базе ртутного кулометра разрабатывались элементы для циклических реле. Токоподводящие контакты в этом случае изготавливались из благородных металлов. При продвижении промежутка к платиновому контакту резко повышалось напряжение на элементе. Этот скачок напряжения может использоваться для приведения в действие триггерных цепей переключения полярности и т.д. Чтобы создать циклическое реле необходим второй кулометр, включенный навстречу друг другу и работающих как циклирующий таймер. Еще более удачное решение для создания циклического реле было реализовано при создании в конце капиллярной трубки расширения, при входе в которое мениски ртути соприкасаются, что приводит к резкому возрастанию тока. Это может служить сигналом для переключения полярности. Если полярность не изменять то, благодаря поверхностному натяжению ртути зазор электролита мгновенно перескакивает цилиндрическую часть капилляра, что сопровождается восстановлением рабочего тока, с последующим его возрастанием тока до соприкосновения менисков, т. е. следующего цикла изменения сопротивления элемента.

Электрохимический перенос металла с одного электрода на другой сопровождается перемещением центра тяжести системы. Это явление было использовано при

конструировании миниатюрного прибора для точной балансировки гироскопа. Материал электродов – медь.

На основе закономерностей необратимых фазовых переходов на электродах были проведены принципиальные эксперименты по созданию электрического аналога аксона - нейристора и электрохимического аналога нейрона.

Наибольший интерес Н.С. проявлял к работе над хемотронными датчиками неэлектрических сигналов. В таких датчиках использованы принципы диффузионной кинетики в электрохимических процессах. Это позволяет регистрировать и измерять механические сигналы различного характера: акустические, гидроакустические, вибрационные, сейсмические и др. При воздействии механического импульса происходят диффузионные изменения в объеме электролита датчика. Поэтому, меняя режим движения электролита относительно одного из рабочих электродов, а, следовательно, и режим конвективной диффузии, можно влиять на скорость электрохимических реакций, показателем которой является ток, протекающий через электрохимическую ячейку. В самом простом виде такой датчик представляет собой двухкамерный плоский цилиндр, с обеих сторон имеющий тонкие мембраны, цилиндр разделен перегородкой на две камеры, в которых находятся сетчатые платиновые электроды. В перегородке имеется узкий канал, в котором находится платиновый катод. На ячейку подается постоянное напряжение, ток в цепи прибора регистрируется микроамперметром. Ячейка заполнена электролитом, образующим с рабочими электродами обратимую электрохимическую окислительно-восстановительную систему, раствор йода и йодистого калия.

Работы над такими датчиками были начаты в начале шестидесятых годов (В.А. Федорин, Г.Я. Воронков). Была отработана концентрация составляющих электролита, позволяющая получать поляризационную кривую в широком диапазоне рабочих напряжений. Было рассмотрено влияние конструктивных параметров катода, мембран и пр., на работу датчика.

Впоследствии разработчикам пришлось столкнуться с трудностями, которыми пришлось столкнуться при создании технологии первых полупроводниковых приборов. Трудности эти вызваны необходимостью тщательной очистки материалов, воспроизводимости технологических операций, подбора материалов, конструктивное и технологическое оформление, электротехническое обеспечение и пр.

На Севастопольском филиале ВНИИТа была освоены технология и выпуск ряда модификаций диффузионных датчиков и приборов на их основе (В.А. Федорин, В.М. Иволгин, Б.М. Костенко). Это были скважинные микробарографы, регистрирующие акустические сигналы в диапазоне частот 0,003-0,3 Гц, комплекты скважиной сейсмической короткопериодной аппаратуры, работающей в диапазоне 0,3-3,0 Гц, и скважинной длиннопериодной аппаратуры, регистрирующие сигналы в 10-40 сек. Были созданы блоки управления и др. Все изделия отвечали всем требованиям, предъявляемым к особой аппаратуре, принимались и использовались заказчиками (Средмаш и др.). Известно, что с помощью таких приборов регистрировались землетрясения и ядерные воздушные и подземные взрывы в том числе на другом полушарии земли.

В период перестройки практически все работы по исследованию, разработке и созданию электрохимических преобразователей были прекращены. За рубежом по многим хемотронам ведутся.

Как научный руководитель работ по хемотронике, Николай Степанович, будучи невероятно занятым руководителем огромного комплекса работ, крупного НИИ, заведующий кафедрой молекулярной электроники в МФТИ, находил время постоянно участвовал в разработке, создании и практическом использовании электрохимических преобразователей, инициировал широкое освещение результатов работ на различных Всесоюзных, региональных и внутренних конференциях в Москве, Казани, Севастополе, Краснодаре,

Тбилиси, Ленинграде. Было зарегистрировано около сотни авторских свидетельств, несколько десятков публикаций в журналах и пр., под его руководством защищались диссертации. В работе Н.С. был строг и немногословен и говорил только о деле. Не любил неконкретных и общего вида ответов, не любил оправданий за промахи в работе и ошибки. Он не производил впечатления невероятно занятого человека, все успевал и был пунктуален. Уважал хороший результат и правильное толкование работы, исполнительность. В неофициальной обстановке (в перерывах на конференциях, в поездках) был весьма демократичен, в меру прост и ироничен, но также импозантен и собран, что, впрочем, не мешало нам, его сотрудникам, видеть перед собой выдающегося ученого, умелого руководителя крупнейшего института, глубокоуважаемую личность.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ХЕМОТРОННЫЕ ПРИБОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Б.Б. Кузьменко, к.х.н., ген.директор ЗАО НТП «Горизонт»

По инициативе Николая Степановича Лидоренко, начиная с 60-х годов, в НПО «Квант» развивалось научно-техническое направление - «Хемотроника», связанное с разработкой первичных электрохимических преобразователей (ПП) информации (электрохимических датчиков).

На базе этих первичных преобразователей (ПП) в НПО «Квант» также разрабатывались и изготавливались приборы и измерительные системы, которые, кроме ПП, содержали оболочку (корпус) для установки ПП и приёма измеряемого сигнала, вторичный электронный преобразователь, коммуникационные линии, а также программное обеспечение.

Николай Степанович дал развиваемой НПО «Квант» хемотронике альтернативное название-«Молекулярная электроника». По-видимому, с его точки зрения, это название более полно учитывало весь цикл преобразования информационного сигнала разрабатываемыми конечными приборами, охватывающий как первичное электрохимическое преобразование, так и вторичное преобразование с использованием электронного блока.

Основным элементом ПП, является электрохимическая ячейка, в которой перенос электрического заряда производится заряженными молекулами ионами.

В электрохимической ячейке ПП происходит преобразование энергии информационного сигнала или модуляция информационным сигналом энергии, закачиваемой извне в ячейку.

Хемотронные приборы отличает многообразие предложенных устройств [1-5]. Это связано с возможностью варьирования составом и формой элементов электрохимической ячейки, находящихся в различных фазовых состояниях, возможностью ионообменного взаимодействия электрохимической ячейки с окружающей средой, особенностями передачи импульса движения в жидкой фазе, обратимостью процессов, идущих в электрохимической ячейке.

Многие из этих устройств, предназначенных для различных областей применения, конкурентноспособны и решают задачи измерительной техники, которые трудно было бы решить приборами, работающими на других принципах.

Следует отметить, что, поскольку в основе устройств хемотроники (молекулярной электроники) лежит электрохимическая ячейка, то процесс производства электрохимических преобразователей, технологически совместим с процессом производства химических источников тока (ХИТ), что было немаловажным для НПО «Квант», специализирующегося на ХИТ.

Хемотроника как научно-техническое направление включает в себя следующие основные разделы: электрохимические преобразователи механических величин в электрические величины; матричная хемотроника (гигролаготермометрия, ионометрия); электрохимические преобразователи электрических величин в электрические величины (потенциометрия, гальванометрия, кулонометрия).

Все эти разделы активно поддерживались в НПО «Квант» генеральным директором Н.С. Лидоренко.

Электрохимические преобразователи механических величин и приборы на их основе по объёму вложений, а также вниманию Николая Степановича, могут быть поставлены на первое место среди других видов электрохимических преобразователей.

Над их созданием под руководством Н.С. Лидоренко работали большие коллективы, включающие в себя научных работников, инженеров, технологов, электронщиков на Московской площадке Севастопольском и Краснодарском отделениях НПО «Квант». Курировал направление заместитель генерального директора НПО «Квант» Б.И. Ильин, научное руководство осуществлял начальник отделения выпускник Московского физико-технического института Н.В. Петькин.

Приборы на основе электрохимических преобразователей механических величин в настоящее время продолжают разрабатываться и выпускаться в России.

По своему принципу работы, электрохимические преобразователи механических величин могут быть разделены на электрокинетические, диффузионные и электролитические, в настоящей статье будут рассмотрены только электрокинетические и электролитические преобразователи, в разработке которых автор статьи принимал непосредственное участие.

Если сравнивать электрохимические преобразователи механических величин с преобразователями механических величин, на основе современных твёрдотельных полупроводниковых технологий «Микро Электро Механические Системы» (МЭМС), то, благодаря текучести и наличию электрохимического ионообменного процесса, хемотронные приборы обладают более высокой чувствительностью, чем приборы МЭМС.

Электрокинетические преобразователи и приборы на их основе

Электрокинетические преобразователи (ЭКП) преобразуют перепад давления или ускорение в электрический сигнал решают задачи нереализуемые другими методами обладают высокой чувствительностью и быстродействием.

В НПО «Квант» разрабатывались приборы на основе ЭКП, имеющих преобразующие элементы со стеклянным и металлическим корпусом среди них:

- измерители угловых ускорений,
- высокочувствительные ударопрочные сейсмоприёмники,
- высокочувствительные сейсмоприёмники широкого применения,
- морские гидроакустические приёмники.

Преимуществами ЭКП являются:

1. Преобразование ускорения и давления в электрический сигнал.
2. Высокая чувствительность/быстродействие.
3. Возможность решения задач, нереализуемых другими методами.

Принцип действия и решение проблем электрокинетического преобразователя

Преобразующий элемент электрокинетического преобразователя со стеклянным корпусом (рис. 1) содержит стеклянный корпус, преобразующую мембрану, представляющую собой стеклянную капиллярно-пористую перегородку, электроды, рабочую жидкость-электролит.

При заполнении преобразующего элемента рабочей жидкостью в капиллярах мембраны на поверхности раздела фаз, например, на поверхности жидкость-стекло, возникает двойной электрический слой, обусловленный стремлением к минимуму свободной поверхностной энергии. Часть положительных зарядов двойного электрического слоя, благодаря тепловому движению находится в жидкости в капилляре в несвязанном жёстко с твердой стенкой капилляра подвижном состоянии.

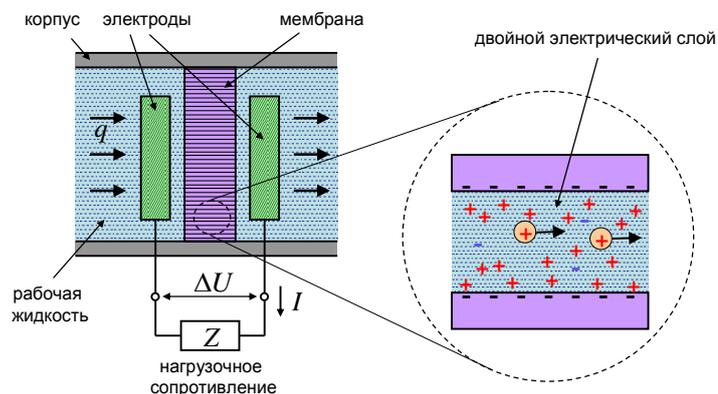


Рис.1. Преобразующий элемент электрокинетического преобразователя со стеклянным корпусом.

При наложении перепада давления на преобразующую мембрану (ΔP) эти избыточные заряды увлекаются движущейся жидкостью и, тем самым, создаётся электрический ионный ток, который, благодаря электрохимической реакции на электродах или путём перезарядки двуслойной электродной ёмкости, переходит в электрический ток металлического проводника, создающий на сопротивлении Z -электрическое напряжение ΔU которое и считывается вторичным электронным прибором.

Принцип действия ЭКП угловых ускорений реализован природой в вестибулярном аппарате живых существ, в том числе, в вестибулярном аппарате человека.

В описанных в литературе преобразующих элементах ЭКП [6], и в первых конструкциях ЭКП, изготовленных в НПО «Квант», корпус выполнялся из диэлектрического материала: стекла, керамики, полиэтилена, что создавало большие технологические трудности. Поэтому существенным продвижением в разработке ЭКП было создание преобразующего элемента с металлическим корпусом.

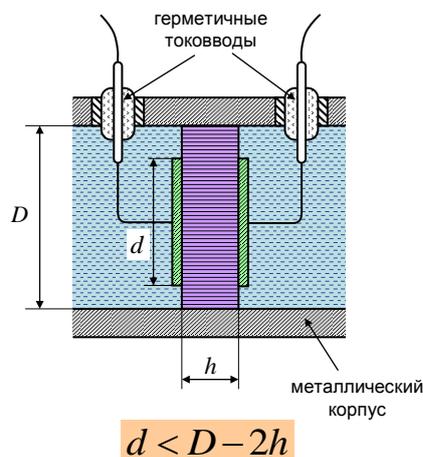
На рис. 2 [7] показана конструкция преобразующего элемента, в котором корпус выполнен из металла, электроды расположены на поверхности преобразующей мембраны по её центру и отдалены от корпуса, а сигнал выводится через стеклянные или керамические гермовыводы установленными в корпусе.

Такое решение преобразующего элемента позволило создать электрокинетические преобразователи со сварным корпусом из нержавеющей стали, а гибкие воспринимающие элементы выполнить в виде тонкостенных металлических мембран или сильфонов, непроницаемых для компонент рабочей жидкости – летучих органических растворителей.

Для обеспечения широкого применения ЭКП нужно было существенно увеличить их коэффициент преобразования и снизить их порог чувствительности.

Первоначально получаемый коэффициент преобразования (S) был относительно невысоким, его максимальное значение не превышало на ацетоне 0,05мВ/Па. В лаборатории преобразующих элементов была разработана методика обработки стеклянной пористой преобразующей мембраны концентрированной серной кислотой, нагретой до 160 градусов, в результате которой коэффициент преобразования увеличился более, чем в 10 раз и составил 0,5 мВ/Па.

Рис. 2. Преобразующий элемент электрокинетического преобразователя с металлическим корпусом.



Дальнейшая работа по увеличению коэффициента преобразования и пороговой чувствительности шла по пути оптимизации размера пор и состава рабочей жидкости.

Порог чувствительности преобразователя при оптимальном схемном решении электронного усилителя, в конечном счёте, зависит от мощности электрического сигнала, идущего с преобразователя, которая должна превышать мощность электрических шумов, а, следовательно, от КПД преобразования энергии.

Основываясь на соотношениях взаимности термодинамической теории необратимых процессов в уравнениях переноса, автору удалось получить аналитическое выражение, связывающее коэффициент полезного действия преобразования энергии $\eta = \frac{I \times \Delta U}{q \times \Delta P}$ параметрами электрокинетического торможения жидкости в капиллярах, играющим важную роль в работе электроосмотических фильтров воды.

$$\eta = \frac{1 - \sqrt{q^\infty / q^0}}{1 + \sqrt{q^\infty / q^0}},$$

где q^∞ - скорость жидкости при наличии обратного электроосмоса (электроды разомкнуты), q^0 - скорость жидкости без обратного электроосмоса (электроды замкнуты), а затем, на основании этой зависимости, используя известные решения электрогидродинамической задачи переноса конвективного заряда в капиллярах, получить зависимости КПД преобразования от радиуса пор, радиуса Дебая, характеризующего толщину двойного электрического слоя, поверхностного потенциала – дзета-потенциала, электропроводности, диэлектрической постоянной и вязкости жидкости.

На рис. 3 показаны расчётные зависимости КПД преобразования механической энергии в электрическую от безразмерного радиуса пор и поверхностного потенциала (дзета-потенциала). Видим кривые с максимумами, из них видно, что максимальное значение КПД достигается на узких порах, когда их радиус становится соизмеримым с радиусом Дебая, а значения дзета-потенциалов лежат в диапазоне 120-170 мВ.

Более подробно результаты работы представлены в разделах 5.1 - 5.5 главы 5 монографии [1] «Введение в молекулярную электронику», вышедшей в 1984 году под редакцией Н.С. Лидоренко.

Для того, чтобы увеличить толщину подвижной части двойного электрического слоя и, тем самым, КПД преобразования, было предложено использовать в качестве рабочей жидкости преобразователя бинарные растворы полярных и неполярных органических жидкостей. Была сконструирована, изготовлена и испытана установка для изучения

электрокинетического эффекта и проверки преобразующей пары: рабочая жидкость-преобразующая мембрана.

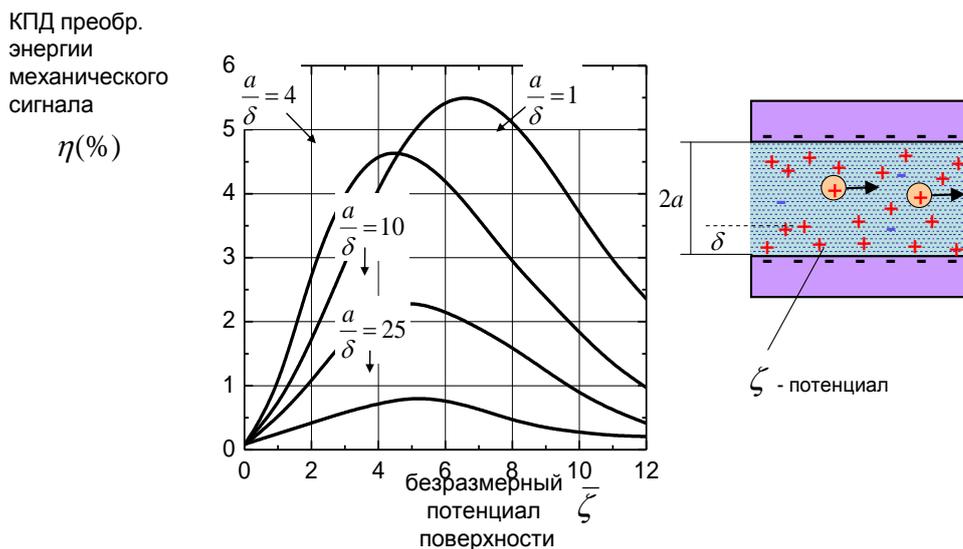


Рис. 3. Расчётные зависимости КПД преобразования энергии в электрокинетическом преобразующем элементе.

Первые же измерения, проведённые на системе ацетон-толуол показали её эффективность [8].



Рис. 4. Влияние толщины двойного электрического слоя и содержания неполярного компонента в рабочей жидкости на эффективность электрокинетического преобразования.

На рис. 4 представлены экспериментально полученные зависимости коэффициента преобразования по напряжению, и КПД преобразования энергии преобразователя от объёмной концентрации толуола в рабочей жидкости – бинарный раствор ацетона и толуола. Мы видим значительный рост чувствительности и выходной мощности электрического сигнала при добавлении неполярного толуола в полярный ацетон, что обусловлено увеличением толщины двойного электрического слоя, вызванного снижением

диэлектрической постоянной жидкости. Экспериментально полученные зависимости, также, как и приведённые выше расчётные кривые, имеют максимум, который лежит при концентрации толуола в районе 60%.

Добавление неполярного компонента даёт возможность контролируемо изменять электрическое сопротивление преобразователя, что важно для его согласования с электронным усилителем.

Поскольку неполярные органические жидкости значительно меньше, чем полярные, взаимодействуют с неорганическими конструкционными материалами, наличие неполярной компоненты повышает временную стабильность преобразователя.

В течение 1983,1984г.г. сотрудниками лаборатории преобразующих элементов Грачёвой Н.П., Кудашкиным Б.В. и Образцовым Э.А. под руководством Кузьменко Б.Б. было исследован ряд составов бинарных растворов на различных типах мембран. Результаты исследований дали возможность, в ряде случаев, заменить токсичный толуол на другие неполярные органические жидкости, получить эффективно работающие вязкие составы, расширяющие рабочий частотный диапазон преобразователя.

В таблице представлены результаты внедрения методик по повышению эффективности электрокинетического преобразования, в число которых входит:

- химическая обработка мембраны;
- использование бинарных растворов;
- оптимизация размера пор

Характеристика преобразования	До внедрения методик	После внедрения методик
Коэффициент преобразования по напряжению	0,05 мВ/Па	10 мВ/Па
КПД преобразования энергии информационного сигнала.	0,0001%	0,3%

На основании полученных результатов была разработана технология изготовления ЭКП, которая была внедрена в экспериментальном производстве НПО «Квант» в Москве и его Севастопольском и Краснодарском отделениях.

Корпус преобразующего элемента (рис. 5) закрывается с двух сторон тороидальной трубой, заполненной рабочей жидкостью. Тороидальный канал трубы и внутренние полости преобразующего элемента образуют замкнутый жидкостной контур. При измерении угловых ускорений преобразователь совершает вращательное движение вокруг ось Z. Инерционная сила, пропорциональная измеряемому угловому ускорению, создаёт перепад давления на пористой мембране.

Электрокинетический преобразователь угловых ускорений

Исходя из принципа работы, ЭКП угловых ускорений имеет существенное преимущество по сравнению с преобразователями другого типа, например, электромеханическими. Оно обусловлено тем, что преобразователь из-за невозможности создания крутящегося момента в элементарном объёме жидкости принципиально не чувствует линейных ускорений вызванных несимметрией конструкции, а, следовательно, сохраняет свою работоспособность в условиях сильной вибрации ударных перегрузок.

В 1973 году был изготовлен первый в НПО «Квант» лабораторный образец ЭКП угловых ускорений. В качестве преобразующей мембраны использовался взятый из химической воронки пористый стеклянный фильтр, в качестве рабочей жидкости – ацетон. Экспериментальная проверка образца показала его работоспособность.

Преобразователь отслеживал крутящие колебания вала, снимаемый электрический сигнал был, при постоянной частоте, пропорционален амплитуде колебаний, а следовательно, угловым ускорениям.

Разработка технологии изготовления измерителей угловых ускорений, включающих как преобразователь, так и электронный блок, была передана созданному Н.С Лидоренко Севастопольскому отделению НПО «Квант», которая была создана в течение нескольких лет благодаря усилиям большого коллектива и лично Николая Степановича Лидоренко, была создана.

- ✚ нечувствителен к линейным ускорениям
- ✚ применение: летательные аппараты, инерциальные системы навигации

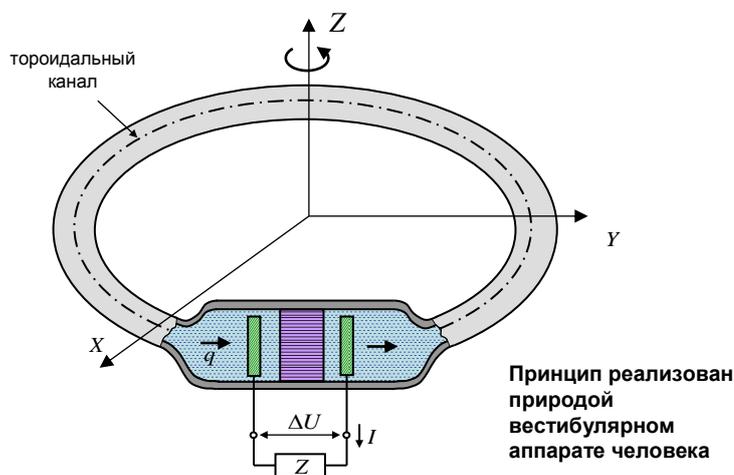


Рис. 5. Электрокинетический преобразователь угловых ускорений.

Заметный вклад, в технологию ЭКП угловых ускорений был сделан сотрудником СО НПО «Квант» Лисовым В.Н., предложившим способ повышения временной стабильности выходных параметров электрокинетического преобразователя путём добавления бензойных кислот в рабочую жидкость ЭКП.

Измеритель используется в отечественных летательных аппаратах и, в настоящее время, выпускается серийно в г. Севастополе предприятием ООО «ЭЛЕКТРОН-ЗВЕЗДА».

Высокочувствительные ударопрочные сейсмоприёмники

Принципиальная схема ударопрочного ЭКП линейных ускорений представлена на рис. 6.

Толстостенный корпус преобразователя выполнен из нержавеющей стали. Преобразующая мембрана изготавливалась из стеклоткани повышенной плотности, полученной на основании конверсионной программы «Буран», лежащей между двумя толстыми пористыми титановыми дисками, прижатыми друг к другу с усилием примерно 70 кг.

Преобразователь содержит инерционную массу, разделительный сильфон, который обеспечивает возникновение перепада давления на мембране при движении инерционной массы. Рабочая жидкость – бинарный раствор полярной и неполярной жидкости.

Компенсатором температурных расширений жидкости служит газовый пузырь. Для того, чтобы газовый пузырь не создавал искажений амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) преобразователя была разработана специальная технология герметизации. В момент герметизации, в заливочную трубку подавалось давление в 10 атмосфер. Под этим

давлением, которое делает пузырь жёстким и не влияющим на АЧХ, находятся внутренние полости преобразователя при его эксплуатации.

Плата электрокинетического высокочувствительного ударопрочного сейсмоприёмника (ЭКС) устанавливалась в дополнительном стальном корпусе запрессованном на первичном преобразователе и заливалась пеноуританом.

На стадии ОКР были изготовлены опытная и установочная партия ЭКС с приёмкой представителя заказчика.

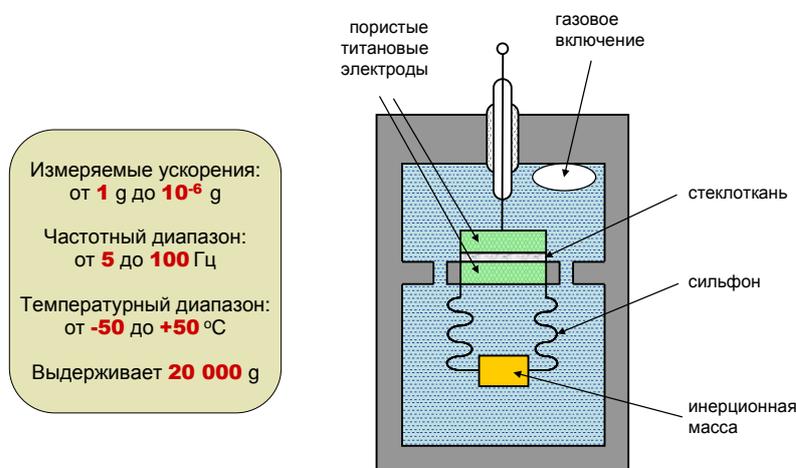


Рис. 6. Электрокинетический ударопрочный преобразователь.

Назначение преобразователя – после падения в составе снаряда регистрировать микросейсмические колебания почвы, обусловленные перемещениями людей и техники.

Высокочувствительные сейсмоприёмники широкого применения

Конструкция электрокинетических преобразователей сейсмоприёмников широкого применения близка к конструкции ударопрочного преобразователя. Отличие состоит в том, что в качестве преобразующей мембраны используется не стеклоткань, а клеенная в обойму стеклянная пористая перегородка, электродами являются не толстостенные пористые металлические пластины, а металлическое покрытие, нанесённое на поверхности мембраны.

Сейсмоприёмники широкого применения относительно крупными партиями устанавливались на Камчатке, они имеют достаточно высокую ударную прочность (3000 г) и могут сбрасываться с парашютом.

При гражданском применении, сейсмоприёмники используются в системе защиты атомных электростанций от землетрясений. Головной организацией при разработке этой системы был НПО «Квант».

Морские гидроакустические приёмники

Чувствительным элементом гидроакустического приёмника является высокочувствительный электрокинетический преобразователь перепада давления с металлическим корпусом, работающий в диапазоне от 5 до 100 Гц.

В качестве преобразующей мембраны использовались гомопористые стеклянные пластины, содержащие по несколько миллионов капилляров правильной цилиндрической формы. Давление воспринимается тонкостенными металлическими сильфонами. Поскольку акустические импедансы морской воды и рабочей жидкости преобразователя по своей величине близки, то преобразователь, фактически, является датчиком колебательной скорости гидроакустической волны.



Рис. 7. Измерители механических величин, изготовленных на основе электрокинетического преобразователя с металлическим корпусом, и выпущенные опытным и мелкосерийным производством НПО «Квант».

Электролитические преобразователи и приборы на их основе

Принцип действия электролитического преобразователя

Принцип работы электролитических преобразователей (ЭЛП) достаточно прост. Базовым элементом преобразователя является электрохимическая ячейка, внутри которой имеется подвижный элемент, которым может быть газовый пузырь или электрод.

При механическом воздействии на преобразователь подвижный элемент перемещается и изменяются электрические сопротивления заполненных электролитом межэлектродных полостей, являющихся выходными электрическими параметрами первичного преобразователя.

Электролитический преобразователь угла наклона маятникового типа

Электролитический преобразователь угла наклона (рис. 8) содержит корпус, рабочую жидкость – электролит, боковые электроды и подвешенный на гибкой металлической нити центральный электрод (груз) представляющий собой маятник.

При наклоне преобразователя за счёт действия силы тяжести изменяются расстояния между центральным и боковыми электродами и, соответственно, изменяются электрические сопротивление между ними.

Такая конструкция сочетает в себе преимущества известных пузырьковых электролитических датчиков угла наклона и электромеханических маятниковых ёмкостных или индукционных преобразователей.

Первый электролитический преобразователь маятникового типа был разработан в НИИ Прикладной механики Министерства среднего машиностроения группой В.Ф. Астрединова.

Чувствительность прибора составляла 1 угловую секунду. Однако гражданского применения этот преобразователь не получил, поскольку имел узкий диапазон измеряемых углов, работал в термостатированных условиях, и дорого стоил. Последнее обусловлено тем, что технология включала в себя очень точное изготовление деталей и использование высокотемпературных металлокерамических соединений.

В НПО «Квант» первоначально разработка электролитических преобразователей угла наклона проводилась как инициативная работа автора. Работа затем заметно ускорилась, когда появились первые результаты и обнаружилась новая область их применения – оптико-электронные геодезические приборы. Заказчиком был ПО «Уральский оптико-механический завод», который в 1989 году предоставил НПО «Квант» небольшое, по тем временам, финансирование.

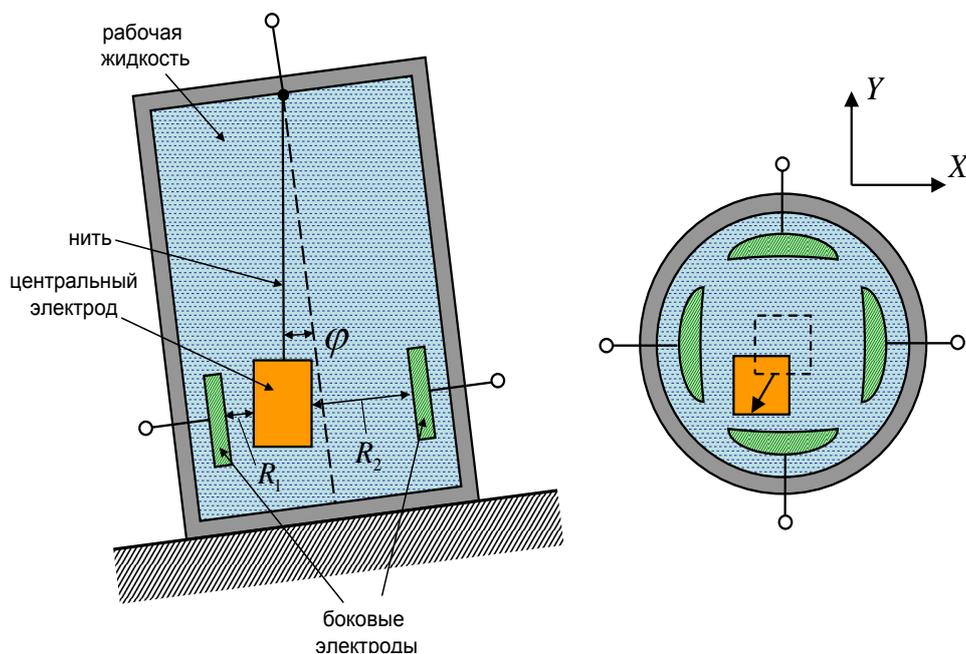


Рис. 8. Принципиальная схема электролитического преобразователя угла наклона.

Задача состояла в том, чтобы создать технологичный, относительно недорогой, высокочувствительный и высокоточный, малогабаритный преобразователь, работающий в полевых условиях в температурном диапазоне от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$. В 1990 году, в результате проведения НИОКР был разработан преобразователь ПНПЭ-1 (преобразователь наклона первичный электролитический).

Несмотря на относительно большие габариты ПНПЭ-1, относительно узкий рабочий температурный диапазон и необходимость периодической юстировки, ПНПЭ-1 всё же был востребован и использован в простых оптико-электронных теодолитах.

Дальнейшая разработка электролитического преобразователя угла наклона проводилась на малом предприятии ЗАО «НТП «Горизонт» за счёт поступления средств от продажи изделий без какого либо стороннего финансирования НИОКР.

Николай Степанович, беспокоясь за направление на протяжении длительного времени морально и организационно поддерживал это предприятие.

Были усовершенствованы способ подвешивания груза, оптимизирован электродный узел, переделана общая компоновка изделия. В результате, была разработана технологическая оснастка и создана относительно недорогостоящая технология, позволяющая наладить мелкосерийное производство преобразователей угла наклона.

Серьёзным продвижением было создание новой рабочей жидкости ЭЛП, у которой за счёт подбора ионного состава и растворителя удалось значительно снизить температурный коэффициент электропроводности.

В температурном диапазоне от -50°C до $+60^{\circ}\text{C}$ электропроводность рабочей жидкости электролитического преобразователя угла наклона изменяется всего лишь на 4,5%. Для сравнения, у обычных растворов электролитов, например у водного 0,001н раствора KCl электропроводность в более узком температурном диапазоне от 0°C до 50°C изменяется более, чем 200%.

Снижение температурного коэффициент электропроводности рабочей жидкости ЭЛП позволило увеличить стабильность выходных параметров ЭЛП и получить высокочувствительные, высокоточные приборы.

Двухкоординатные электролитические преобразователи угла наклона ПН-3

Преобразователь угла наклона ПН-3 представляет собой осе симметричную, заполненную электролитом металлическую ампулу с пятью токовыводами и содержит центральный подвижный электрод, играющий роль сильно демпфированного маятника и четыре боковых электрода.

При наклоне первичного преобразователя за счёт действия силы тяжести центральный подвижный электрод изменяет своё положение относительно боковых электродов, что приводит к изменению межэлектродных электрических сопротивлений (R_1, R_2, R_3, R_4) (рис. 9), заполненных электролитом. Эти изменения преобразуются электронной платой в выходные электрические сигналы измерителя.

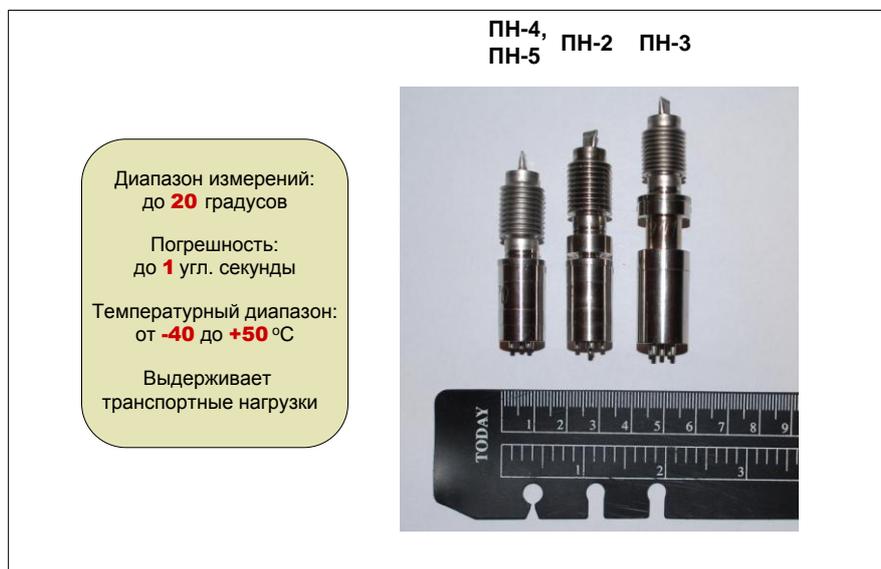


Рис. 9. Двухкоординатные электролитические преобразователи угла наклона.

Двухкоординатный преобразователь угла наклона ПН-3 и его модификация уменьшенных размеров – преобразователь ПН-4 используются в качестве компенсаторов углов наклона в многофункциональных оптико-электронных геодезических приборах – тахеометрах 2Та5, 3Та5, 4Та5, 5Та5, выпускаемых АО «ПО УОМЗ». Цифровая компенсация углов наклона геодезических приборов при их ручной установке позволяет значительно ускорять процесс геодезической съёмки. Всего ЗАО «НТП «Горизонт» изготовлено более 9, 5 тысяч ПН-3, ПН-4.

Кроме ПН-3 и ПН-4 были созданы электролитические преобразователи угла наклона ПН-5 и ПН-6 рассчитанные на диапазоны до $\pm 6^\circ$ (± 21600 угловых секунд), а также преобразователь ПН-2 на диапазон $\pm 20^\circ$, предназначенный для наклономеров широкого применения.

Поскольку преобразователи ПН-2, ПН-3, ПН-4, ПН-5, ПН-6 имеют хорошее быстродействие, они могут использоваться также для измерения низкочастотных и сейсмических колебаний объектов [8].

Преобразователи ПН-3, ПН-4 имеют следующие основные технические характеристики:

Рабочий диапазон преобразуемых углов наклона, углов, град.	± 360
Рабочий температурный диапазон, °С	от -50 до $+50$

Рабочий частотный диапазон, Гц	от 0 до 3
Отклонение функции преобразования от линейного закона в рабочем диапазоне преобразуемых углов, с:	
• у преобразователя ПН-3	не более 1
• у преобразователя ПН-4	не более 2
Угол между радиальными измерительными осями, град	90±1
Устойчивость к механическим и климатическим воздействиям: согласно ГОСТ 23543-88 «Приборы геодезические»	
Показатели надежности	
• ресурс, ч	100000
• средний срок службы, год	15
Масса, г	
у преобразователя ПН-3	48
у преобразователя ПН-4.	32

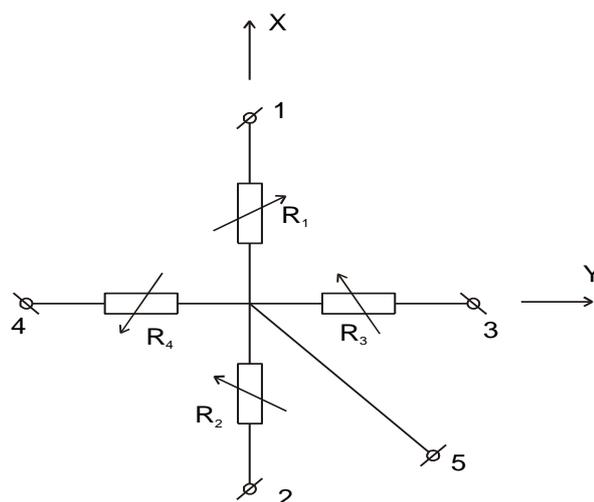


Рис. 10. Эквивалентная электрическая цепь первичного преобразователя ПН-3.

Двухкоординатный измеритель угла наклона ИН-Д3

Одновременно с совершенствованием первичного преобразователя в ЗАО «НТП «Горизонт» было создано отечественное средство измерения малых углов наклона двухкоординатный измеритель угла наклона ИН-Д3, предназначенного для измерения: малых углов наклона и наклонных перемещений объекта по двум координатам; горизонтальных ускорений и низкочастотных сейсмических колебаний.

Основными областями применения ИН-Д3 являются: мониторинг строительных и технических сооружений и природных объектов, горных выработок; исследование деформаций изгиба элементов строительных и других конструкций; системы ориентации, компенсации и стабилизации положения платформ, приборов, инструмента.

Измеритель (рис. 11) содержит металлический корпус, имеющий осевую симметрию, верхнюю крышку, выполненную в виде цилиндра, заканчивающегося шестигранником, нижнюю крышку, выполненного в виде плоского диска.

Корпус измерителя имеет выполненные из нержавеющей стали три базовых опоры и три опорных винта. Первые служат для проверки смещения собственного нуля измерителя, вторые – для регулирования наклона измерителя при его установке на объекте.

В корпусе измерителя установлен первичный преобразователь и электронная плата.

ИН-Д3 изготавливается пылевлагозащищённом или герметичном исполнении. Стыковка кабеля с корпусом прибора осуществляется через кабельный ввод.



Рис. 11. Внешний вид измерителя угла наклона ИН-Д3 с блоком индикации.

У измерителя определены три взаимно-перпендикулярные измерительные оси: центральная измерительная (вертикальная) ось Z, совпадающая с осью симметрии преобразователь измерителя и две взаимно перпендикулярные радиальные (горизонтальные) измерительные оси X и Y. На направления радиальных измерительных осей указывают риски, нанесённые на поверхности корпуса измерителя.

- ⚡ Скачки сигнала вызваны прогибом пола при перемещении одного человека по комнате
- ⚡ «Бахрома» вызвана резонансными колебаниями здания



Рис. 12. Пример записи выходных сигналов, характеризующих углы наклона ИН-Д3 по измерительным осям X и Y.

Выходными величинами измерителя являются составляющие угла наклона измерителя φ_x и φ_y на радиальные измерительные оси, полученные в виде выходных электрических сигналов по двум каналам X и Y, которые имеют положительные значения при наклонах измерителя в направлении, совпадающем с направлением горизонтальных измерительных осей, и отрицательные при наклонах измерителя в противоположном направлении.

Выходными электрическими сигналами измерителя с аналоговым выходом являются электрические напряжения пропорциональные составляющим угла наклона на оси X и Y и нормированные на величину $\pm 3,6$ В на диапазон измерения.

Выходными электрическими сигналами измерителя с цифровым выходом являются: а) на физическом уровне – интерфейс стандарта USB; б) на программном уровне – последовательность ASCII – символов, представляющих измеренные значения составляющих углов наклона.

В этом случае в качестве регистрирующего устройства для считывания выходных электрических сигналов используется или персональный компьютер (ПК) или же специально разработанный блок индикации.

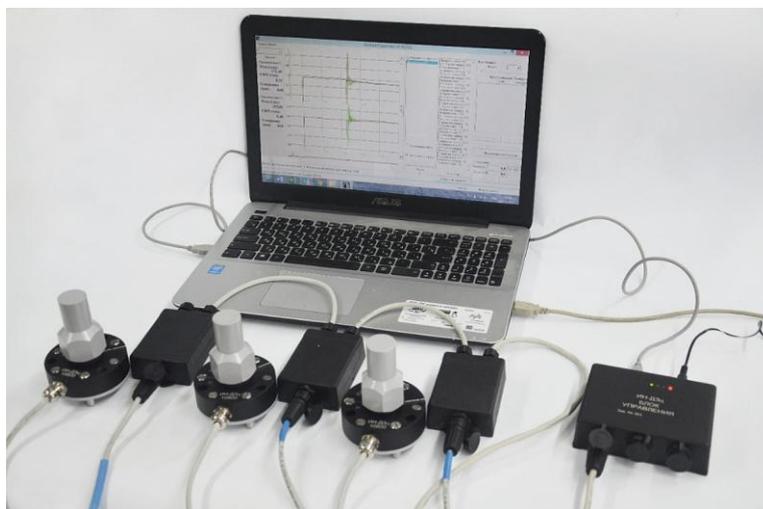


Рис. 13. Пример измерительной система из трёх ИН-Д3, включённых в одну последовательную цепь, на один Блок управления (преобразователь интерфейса) и один ноутбук. Общее число измерителей может достигать 28 шт., общая длина кабелей - 800м.

При наличии интерфейса RS-485, цифровой электрический сигнал от измерителя непосредственно регистрируется ПК.

При подключении измерителя к ПК цифровые значения составляющих углов наклона (φ_x , φ_y) на радиальные измерительные оси X и Y отображаются в цифровом и графическом виде в режиме реального времени на мониторе ПК.

Программное обеспечение измерителя позволяет, используя специально разработанный Блок управления с разветвителем интерфейсов, подключать к одному компьютеру последовательно соединённые измерители. При этом, по одному кабелю происходит питание и одновременный опрос измерителей согласно присвоенным им логическим номерам.

Модельный ряд ИН-Д3 имеет 20 модификаций, измерители выпускаются на 10 диапазонов: ± 360 , ± 720 , ± 1440 , ± 1800 , ± 3600 , ± 7200 , ± 10800 , ± 14400 , ± 18000 , ± 21600 угловых секунд, с цифровым и аналоговыми выходными сигналами.

Измерители ИН-Д3 имеют следующие основные метрологические и технические характеристики:

Градуировочная характеристика по двум каналам	Линейная функция преобразования
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерений угла наклона, % от диапазона измерений	$\pm 0,1$

Предельное значение собственного дрейфа нуля, % от диапазона	± 0,3
Пределы допускаемой дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры в рабочем диапазоне температур отнесённые к 1 °С, % от диапазона измерений	±0,005
Рабочий температурный диапазон °С	от – 40 до + 50
Угол между радиальными (горизонтальными) измерительными осями измерителя, град.	90 ±1
Ресурс работы, часы	100000
Средний срок службы, годы	15
Уровень защиты ПО от непреднамеренных и преднамеренных изменений	уровень С
Скорость передачи данных по интерфейсу RS485, бод	9600
Общая длина кабельной линии, м	до 800
Напряжение питания, В	от 24 до 28
Габаритные размеры измерителя, мм	80x125

В общей сложности, в ЗАО «НТП «Горизонт», начиная с 2010 г., было изготовлено более 4-х тыс. измерителей ИН-ДЗ.

Основное применение ИН-ДЗ- это системы мониторинга осуществляющие контроль показателей, характеризующих состояние и надёжность инженерно-технических конструкций (системы СМИК).

Цель установки СМИК на объектах мониторинга предупреждение чрезвычайных ситуаций, при которых значения параметров характеризующих безопасность конструкций превысят их предельно допустимые величины (на одном объекте находится от 30 до 130 шт. измерителей).

ИН-ДЗ установлены в мониторинговых системах безопасности в Москве (ледовый дворец спорта «Мегаспорт», «Большой Театр» и др); в Красноярске (стадион зимних видов спорта); в Санкт-Петербурге (3-и терминала пассажирского Порта «Морской фасад», здание Сбербанка, Здание Международного аэропорта «Пулково»); в Сочи (двенадцать спортивных объектов, построенных для Олимпиады 2014 г.); в Адлере (здание аэропорта «Сочи»); в Ярославле (Нефтеперерабатывающий завод); в Тупасе (Нефтеперерабатывающий завод); во Владивостоке (вантовый мост и океанариум на острове «Русский»), а также на Космодромах Плисецк и «Восточный».

Кроме мониторинга инженерных сооружений, природных объектов, ИН-ДЗ могут широко использоваться в машиностроении.

На базе ИН-ДЗ предприятием АО «СКБ «Индикатор», г. С-Петербург был разработан прибор УЭС-2КЦ предназначенный для проведения проверок геометрической точности станков, в том числе для проверки плоскостности рабочих поверхностей и выверки станочного оборудования в горизонтальной плоскости.

Образцы ИН-ДЗ приобретались для исследования деформации элементов конструкций радаров, температурной деформаций платформ космической техники, деформаций мостов при перемещении специальной техники, деформаций опор мостов при продвижке пролётного строения угловых перемещений арктического льда определения уровня горизонтирования авиационных испытательных стендов, технологического контроля выращивания кристаллов.

Крупная партия ПН-2 широкого назначения (примерно 900 шт.) была установлена в инкубаторах для недоношенных детей, выпускаемых АО «ПО «УОМЗ».

В настоящее время в ЗАО «НТП «Горизонт» для решения задач специальной техники, разрабатываются измерители угла наклона и программное обеспечение, у которых импортные микропроцессоры и другие импортные электронные компоненты будут заменены отечественными электронными компонентами. После такой замены указанные измерители будут иметь элементную базу полностью Российского производства.

В заключение, хочу отметить, что проведение описанных в статье разработок, было бы невозможно без его всесторонней поддержки Николая Степановича Лидоренко.

Литература

1. Лидоренко Н.С. Хемотроника-Электротехника, 1965, № 3, с.1.
2. Введение в молекулярную электронику, под. ред. Лидоренко Н.С., М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Электрохимические преобразователи первичной информации // Боровков В.С., Б.М. Графов, Добрынин Е.М., и др. М.: Машиностроение, 1969.
4. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшин Е.С. и др. под. ред. Новицкого П.В., Электрические измерения неэлектрических величин. Л.: Энергия, 1975.
5. Стрижевский И.В., Дмитриев В.И., Финкельштейн Э.В., Хемотроника, М.: Наука, 1974.
6. Касимзаде М.С., Халилов Р.Ф., Балашов А.Н. Электрокинетические преобразователи информации. М.: Энергия, 1973.
7. Кузьменко Б.Б., Ильин Б.Б., Петькин Н.В. «Преобразующий элемент электрокинетического преобразователя» Авторское свидетельство на изобретение СССР № 1001205, Б.И. № 8, 1983 г.
8. Кузьменко Б.Б., Ильин Б.Б., Петькин Н.В., Кузьмин В.А. «Рабочая жидкость электрокинетического преобразователя механических и электрических величин». Авторское свидетельство на изобретение. СССР № 955641, 1962 г.
9. Кузьменко Б.Б., Гурский Э.Г., Дёгтев Н.И. Исследование низкочастотных колебаний инженерных сооружений, Наука производству, 2000 г. № 11, с. 41.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ИТОГИ РАЗРАБОТКИ

*З.Р. Каричев, академик РАН,
Е.А. Тейшев, к.т.н.*

Работы по созданию электрохимических генераторов (ЭХГ) начались во ВНИИТе в конце 50-х годов под руководством Николая Степановича Лидоренко и Владимира Сергеевича Багоцкого. К этому времени проявился повышенный интерес к этим источникам энергии, связанный с известными преимуществами ЭХГ, прежде всего сочетанием высокого КПД и возможностью длительной непрерывной работы.

Около 90% всей полезной энергии (электрической и механической) получается из тепловой энергии природного топлива, средний коэффициент преобразования которой не превышает 25%. Известно, что КПД непосредственного преобразования химической энергии в электрическую в традиционных химических источниках тока в 2-3 раза больше указанного, однако, энергия этих устройств ограничена конструктивным запасом активных материалов в них. ЭХГ существенно отличаются тем, что в них реагенты (окислитель и горючее) содержатся не в самой конструкции, а отдельно в резервуарах и подаются в генератор в момент работы. Таким образом, схема обеспечения реагентами в ЭХГ сходна с машинными схемами, но в них сохраняется присущий схеме прямого преобразования энергии высокий КПД, теоретическое значение которого может приближаться к 100%. Поэтому исследования и разработки, имеющие целью повышение среднего коэффициента использования топлива при непрерывном процессе генерирования, экономически перспективны.

Имеется также ряд специфических эксплуатационных областей и условий, при которых затруднена или отсутствует возможность реализации обычных машинных схем преобразования (например, автономная эксплуатация энергетических устройств в условиях невесомости, отсутствия кислородсодержащей атмосферы, требования экологии и др.); в этих областях схемы прямого преобразования уже сегодня оказываются предпочтительнее классических.

На первом этапе работы велись над низкотемпературными водородно-кислородными ЭХГ с жидким щелочным электролитом, ЭХГ с ионообменными мембранами и, в ограниченном объеме, с использованием в качестве топлива гидразина, спиртов, а также над среднетемпературными ЭХГ с расплавленным карбонатным электролитом и высокотемпературной системой Na-Cl₂.

В 1965 г. был осуществлен полет американского орбитального космического корабля "Gemini", на борту которого был установлен ЭХГ с ионообменной мембраной и объявлена программа Apollo — пилотируемые полеты с посадкой астронавтов на Луну.

Источником электроэнергии служил водородно-кислородный ЭХГ с жидким щелочным электролитом. Одновременно начались разработки аналогичных отечественных систем, и перед ВНИИТом была поставлена задача создания ЭХГ для космической энергоустановки мощностью несколько кВт и ресурсом до 1000 ч. Для обеспечения

максимальной эффективности разработки в сжатые сроки и с учетом имевшегося научного и технологического задела работы были сосредоточены на водородно-кислородной системе с щелочным электролитом, и в конце 60-х годов был успешно испытан ЭХГ космического назначения мощностью 1,5 кВт и ресурсом в 500 ч.

Задачи по созданию мощных водородно-кислородных ЭХГ специального назначения, поставленные директивными органами перед Государственным научно-производственным предприятием "КВАНТ" в конце 60-х годов, потребовали решения ряда фундаментальных и прикладных проблем. Среди них:

1. Электрокатализ. Отсутствовала общая теория, на основе которой возможен выбор катализаторов для конкретной электрохимической системы. На практике подбор осуществлялся эмпирическим путем с использованием опыта их применения в органическом катализе для реакций гидрирования (водородный электрод) и окисления (кислородный электрод). Однако такой подход малоэффективен, поскольку требует изучения большого количества несистематизированного экспериментального материала и не учитывает специфики электрокаталитических процессов в ЭХГ.

2. Кинетика электродных процессов. Достаточно полно был изучен и описан механизм токогенерирующих процессов при работе водородного электрода в кислой среде при 20 - 25°C. Какие-либо данные по кинетике электродных процессов, протекающих на водородном и кислородном электродах в щелочной среде в условиях работы ЭХГ при 60-100°C, в литературе практически отсутствовали.

3. Коррозия. Теоретические исследования и соответствующие практические рекомендации относились в основном к процессам, протекающим в нейтральной или кислой среде при сравнительно низких, до 40°C температурах. В ЭХГ при подборе электродных и конструкционных материалов необходимо учитывать их коррозионную стойкость в 10N KOH, окислительной и восстановительной атмосфере, при температуре до 100°C в течение 5000 ч. Дополнительная трудность заключалась в большом разнообразии металлических и полимерных материалов, применяемых в ЭХГ.

4. Теория электролитов. Современная теория ограничена описанием процессов в разбавленных растворах. Опубликовано большое количество данных по измерению удельной электропроводности, вязкости, коэффициентов диффузии и различных молярных свойств, однако всесторонний критический обзор и анализ отсутствуют. Кроме того, в упомянутых публикациях не приводятся результаты, относящиеся к условиям эксплуатации ЭХГ.

5. Пористые среды. Отсутствовала единая теория и какой-либо общий феноменологический подход к проблеме оптимизации пористых сред для различных задач. Была недостаточно изучена микроструктура пористых сред, а также зависимость их параметров (пористость, проницаемость, величина и форма пор, их распределение по размерам, удельная поверхность и электропроводность) от технологических факторов.

6. Тепломассообмен. Требовалось изучить теплопроводность концентрированных электролитов и составных электродных материалов, включая пористые электроды; теплоперенос через поверхность раздела между твердым телом и жидким электролитом при наличии плоского источника тепла на этой поверхности, а также при наличии газовой фазы в электролите (аналогично пузырьчатому и пленочному кипению и парообразованию); теплоперенос, связанный с процессами диффузии, и влияние теплопередачи на режим работы топливного элемента в целом.

7. Аномальные процессы массопереноса газообразных и жидких компонентов. Проникновение водорода через смоченный газозапорный слой электрода и его появление в электролите, (натекание) и прохождение жидкой щелочи через электрод против положительного градиента давления кислорода и её попадание в газовую камеру (промокание) были впервые изучены при разработке элементов ЭХГ. Раскрытие механизмов

этих явлений потребовало их всестороннего учета как при разработке электродов и элементов ЭХГ, так и при проектировании энергоустановок в целом.

Не менее значимы и инженерные проблемы, которые должны были найти свое решение при создании ЭХГ. Как отечественный, так и зарубежный опыт создания энергоустановок (ЭУ) с ЭХГ подводного применения к моменту начала работ практически отсутствовал, и решение этих проблем и поиск оптимальных проектных решений были осуществлены впервые в мировой практике.

Одним из важнейших компонентов ЭХГ является электрод. Электродные процессы при работе топливных элементов включают: диффузию реагирующих частиц к месту реакции, адсорбцию реагирующих частиц, электронный переход, промежуточные химические реакции, отвод продуктов реакции. Помимо обеспечения эффективного протекания всех упомянутых стадий электрод должен быть стабильным при длительной работе и хранении, обладать механическими свойствами, позволяющими использовать его в соответствующей конструкции.

С учетом сказанного был выбран следующий общий подход к конструкции электрода. Электрод состоит из металлокерамического газозапорного слоя, выполняющего функции разделения фаз и токоотвода, каркаса в виде металлической сетки, выполняющей функции токоотвода и способствует прочности активного слоя, обеспечивающего эффективное протекание токогенерирующих реакций. Газозапорный слой и каркас совместно образуют подложку электрода.

Для стабилизации границы между жидким щелочным электролитом и газообразными реагентами при перепаде давления до 1 атм максимальные размеры наиболее узких сечений сквозных поровых каналов пористой среды не должны превышать 3 мкм. Для формирования тонких пористых сред была выбрана прокатка металлических порошков, позволяющая с высокой производительностью получать тонкие 150 - 200 мкм непрерывные ленты с равномерными по длине свойствами.

Был разработан метод диффузионного сращивания сетки с пористой средой, обеспечивающей освобождение пористой среды от выполнения функции прочности, что позволило эффективно использовать разработанный метод повышения проницаемости и коррозионной стойкости.

Была разработана технология получения электрокатализаторов для водородного и кислородного электродов, осаждаемых,

Разработка эффективных электродов и организация их масштабного производства позволили приступить к всесторонним функциональным и ресурсным испытаниям. Были подробно изучены токогенерирующие и электрокаталитические процессы на водородном и кислородном электродах в концентрированных щелочах при температурах до 100 °С. Были обнаружены и всесторонне исследованы процессы аномального переноса водорода ("натекания") и электролита ("промокания") через пористые структуры электродов.

Впервые была предложена модель "промокания", учитывающая весь комплекс протекающих процессов и их связь со структурой активного слоя электродов.

В ходе исследования было выявлено определяющее влияние на величину "промокания" соотношения гидрофобизатора и катализатора в активном слое электродов и установлено оптимальное соотношение этих компонентов. В результате был создан кислородный электрод, не промокающий на протяжении всего заданного ресурса, что фактически открыло дорогу для создания функционально надежного и безопасного ЭХГ.

Были исследованы факторы, лимитирующие срок службы ЭХГ в процессе эксплуатации и хранения. Установлено, что деградация характеристик в основном определяется поляризацией кислородных электродов и возникновением паразитных токов утечки вследствие металлизации межэлектродных сепараторов. Был предложен возможный механизм металлизации; установлено, что основными факторами,

определяющими скорость протекающих процессов, являются температура и электродные потенциалы.

Анализ обширного экспериментального материала результатов испытаний многочисленных макетных и рабочих образцов ЭХГ позволил выявить влияние пневмогидравлической схемы ЭХГ на неравномерность поля температур в ТЭ, ее определяющего влияния на ресурсные характеристики ТЭ и обосновать внесение ряда изменений, включая введение циркуляции электролита.

На стадии проведения ОКР параллельно с разработкой велась подготовка масштабного производства ТЭ и ЭХГ. На начальном этапе в Москве было создано макетное производство, включавшее в себя цех специальных технологий (изготовление электродов и ТЭ) и сборочно-испытательный цех. Во взаимодействии с технологическими лабораториями разработчика было освоено макетное производство ЭХГ и разработаны задания на проектирование поточно-механизированных линий для серийного производства, которое осуществляло СКБ в г. Твери.

Затем, в модернизированном виде, было создано параллельно функционировавшее макетное производство в основном филиале НПО "КВАНТ" в г. Краснодаре, которое совместно с разработчиками и осуществило на передачу технологии на построенный там же завод "САТУРН".

Среди освоенных производственных процессов следует выделить: прокатку и спекание в среде водорода тонких никелевых пористых лент в узком диапазоне распределения пор по размерам; низкотемпературную порошковую диффузионную сварку компактных и пористых материалов; микроплазменную сварку тонколистовых деталей и получение высокодисперсных электрокатализаторов.

Был выполнен значительный объем работ по созданию вспомогательных агрегатов: насосов, конденсаторов, водоотделителей, радиаторов, регуляторов давления газа и других функциональных устройств, которые обеспечивают подвод реагентов, отвод продуктов реакции, термостатирование.

Были разработаны элементы пневмоавтоматики, блоки логики, измерительные устройства, телеметрическая аппаратура и т.п., и на этой базе создана система автоматического регулирования.

В результате, впервые в нашей стране с опережением иностранных проектов были разработаны, изготовлены и испытаны силовые ЭХГ мощностью 280 кВт в составе подводной лодки проекта 613 и 130 кВт в составе наземного прототипа энергоустановки подводной лодки пр. 865 ("Пиранья").

Межведомственные комиссии, проводившие испытания ЭХГ в составе указанных объектов, рекомендовали ЭХГ для применения на подводных лодках.

Основные преимущества таких энергоустановок:

- отсутствие акустической, тепловой и радиационной следности;
- увеличение в 10 - 15 раз автономного подводного хода по сравнению с использованием традиционных свинцовых аккумуляторных батарей;
- полная экологическая чистота: продукт реакции — чистая вода;
- утилизация ЭХГ после окончания эксплуатации не вызывает загрязнения окружающей среды, не требует захоронения, обеспечивает возврат в хозяйственный оборот практически всех конструкционных материалов;
- отсутствие ограничений для ПЛ с ЭХГ по действующим международным соглашениям о допустимых районах плавания в Черном, Балтийском и Каспийском морях.

Концентрация усилий большого коллектива ученых и инженерно-технических работников ГНПП "КВАНТ" в сочетании со значительными инвестициями в разработку ЭХГ специального назначения позволили перейти к практическому поиску наиболее

оптимальных, по отношению к щелочным низкотемпературным ТЭ, областей их народохозяйственного использования. Наилучшие результаты были достигнуты в двух направлениях: создание комбинированных (ЭУ) на возобновляемых источниках энергии и ЭУ для экологически чистого городского транспорта.

Повышение эффективности комбинированной ЭУ обеспечения наличием в её составе, кроме АБ, электролизера и батареи топливных элементов, которые способны накапливать и производить электроэнергию при значительно более длительных периодах недостаточной интенсивности солнечного излучения ("сезонный накопитель"). При необходимости солнечная батарея может быть заменена или дополнена ветроэнергетической установкой и применен также тепловой аккумулятор.

Автономная, модульная, экологически чистая ЭУ мощностью 6 кВт, созданная в ГНПП "КВАНТ" под руководством З.Р. Каричева и успешно испытанная в исследовательской лаборатории в г. Геленджик на берегу Черного моря включала:

- солнечную батарею (СБ);
- аккумуляторную батарею (АБ);
- электролизер высокого давления (ЭЛ);
- систему хранения водорода и кислорода (СХ);
- электрохимический генератор (ЭХГ);
- систему управления и преобразования электроэнергии.

Для ЭУ был разработан ЭХГ мощностью 1 кВт при напряжении 60 В, в котором впервые для такого уровня выходной мощности был реализован принцип саморазделения электролита и реакционной воды, поступавшей затем в электролизер. Данное направление применения ЭХГ в настоящее время в мире получило широкое развитие.

Еще большим и наиболее значимым по достигнутым результатам конверсии научно-технологических достижений ГНПП "КВАНТ" была разработка водородно-воздушных ЭУ для городских электробусов.

подавляющее количество существующих или разрабатываемых электромобилей используют в качестве энергоустановок аккумуляторные батареи или их сочетание с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Однако есть все основания полагать, что использование в качестве ЭУ электромобиля водородно-воздушных ЭХГ найдет широкое применение.

Процесс прямого преобразования химической энергии в электрическую в ЭХГ более чем в два раза эффективнее сжигания топлива в ДВС, а с учетом неравномерности энергопотребления при движении в городских условиях - почти в 5 раз. Уникальные энергетические свойства водорода в сочетании с высоким КПД ЭХГ дают подобным ЭУ ряд преимуществ в сравнении с ЭУ на основе АБ.

Можно отметить следующие достоинства ЭУ на базе водородно-воздушного ЭХГ для городского электромобиля:

- полная экологическая чистота;
- высокая удельная энергоемкость;
- малая шумность;
- незначительное время на восполнение запаса энергии;
- наличие тепла, утилизируемого на отопление пассажирского салона;
- топливная (энергетическая) инфраструктура, сходная с существующей, особенно, для автомобилей на газе;
- базирование на топливо будущего - водород.

Применение чистого кислорода в ЭХГ для наземного транспортного средства по понятным причинам неприемлемо. Использование же воздуха (кислорода воздуха) потребовало больших усилий исследовательского, инженерного и технологического

характера, позволяющих создать эффективный воздушный электрод, обеспечивающих требуемые характеристики ЭХГ.

Управление работой ЭХГ полностью автоматизировано. Система управления поддерживает необходимый тепловой режим, обеспечивает заданные концентрации электролита и реагентов, а также предотвращает аварийные ситуации. Участие водителя в управлении работой ЭХГ необходимо лишь при запуске и останове ЭУ.

Летом 1982 года на международной выставке в Москве "Электро-82" был представлен первый в мире микроэлектробус с комбинированной ЭУ на основе ЭХГ и АБ, созданный нами совместно с предприятиями Минавтопрома. Основные концептуальные решения ЭУ микроэлектробуса в настоящее время используются при создании электробусов в большинстве зарубежных проектов.

С учетом опыта, накопленного при эксплуатации микроэлектробуса, ГНПП "КВАНТ" совместно с венгерскими партнерами разработало рабочий проект городского электробуса.

ЭУ в целом имеет следующие технические характеристики:

- номинальное напряжение 114В
- номинальная мощность 40 кВт
- потребление на собственные нужды 1 кВт
- время запуска 15 мин
- средний расход водорода 0,055 кг/кВт·ч
- КПД 55 %

В результате длительной и целенаправленной расчетной работы для силового привода было предложено сочетать электропривод с гидростатической трансмиссией. Это позволяет радикально решить проблему аккумулирования энергии рекуперативного торможения и избежать большей доли зарядно-разрядных потерь, существующих при применении в качестве буферного источника аккумуляторной батареи. Вес этой системы на 900 кг меньше по сравнению с традиционной, КПД – 90%. Особенностью ЭУ является совмещение системы термостатирования ЭХГ и системы отопления электробуса. Избыточное тепло в количестве до 16 кВт фактически способствует значительному повышению реального КПД ЭУ в холодное время года. Применение ЭХГ с бортовым хранением водорода даже в газообразном состоянии при относительно невысоком давлении в 200 атм уже обеспечивает получение удельной энергоемкости более 150 Вт·ч/кг, что позволяет достичь дальности пробега около 200 км.

Наряду с разработкой ЭХГ с жидким щелочным электролитом во ВНИИТе проводились работы по созданию ЭХГ с твердым полимерным электролитом (ионообменная мембрана).

Его применение позволяет разработать высокоэффективный ЭХГ с простыми и надежными системами водоотвода и термостатирования.

На основе мембраны МФ-4СК был разработан ряд конкретных изделий, предназначенных для электропитания наземной радиоаппаратуры и электроснабжения подводных объектов. В 1978 г. была разработана автономная переносная энергоустановка на базе водородно-воздушного ЭХГ мощностью 20 Вт, напряжением 12В, массой 13 кг и временем непрерывной работы 30 суток.

В 1981 г. была создана аналогичная установка мощностью 6 Вт на два номинала напряжений — 6 и 12 В.

Использование в этих энергоустановках в качестве источника водорода гидридов металлов и воздуха в качестве источника кислорода позволило достичь удельной энергии 500 Вт·ч/кг при работе в течение месяца. Энергоустановки прошли опытную эксплуатацию у ряда потребителей.

В 1988 г. была создана водородно-кислородная энергоустановка для подводного применения, предназначенная для электроснабжения гидрографического буя. Номинальная

мощность энергоустановки составляет 100 Вт при напряжении 12В, энергоемкость – 110 кВт·ч, время непрерывной работы – 90 суток, глубина погружения до 200 м.

Водород и кислород для питания топливных элементов получались путем гидролиза реагентов в морской воде. Удельная энергия энергоустановки составила 200 Вт·ч/кг. Энергоустановка успешно прошла автономные испытания и испытания в составе буя.

Результаты работ по ЭХГ, выполненные в ГНПП "КВАНТ", подтвердили перспективы применения подобных энергоустановок для широкого круга автономных потребителей. В ряде случаев разработки опережали мировой уровень на 10 лет и могли послужить основой для создания передовых технологий автономного энергообеспечения при сохранении финансирования этих работ на достаточном уровне.

РЕЗЕРВНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Г. Денискин , *нач.отдела АО «НПП «Квант»*

В 50-е годы перед Н.С. Лидоренко была поставлена задача по разработке источников тока резервного типа с длительным сроком хранения, не требующих регламентных работ, с мгновенной активностью, работающих в широком диапазоне температур окружающей среды, способных выдерживать большие перегрузки и имеющих минимальные весовые и габаритные характеристики.

С этой целью Н.С. Лидоренко создал подразделение, которое должно было исследовать новые электрохимические системы на основе электролитов-расплавов и в дальнейшем применить их при создании новых источников тока – тепловых батарей.

Основой теплового химического источника тока (тепловой батареи) является электрохимический элемент, в котором электролит в незадействованном состоянии находится в твёрдой фазе, и для перевода электрохимического элемента в рабочее состояние требуется его разогрев до температур $(450 - 600)^\circ \text{C}$. Такой разогрев осуществляется пиротехническими нагревательными элементами, каждый из которых непосредственно примыкает к электрохимическому элементу для ускорения разогрева.

Необходимый уровень напряжения обеспечивается количеством последовательно соединенных электрохимических элементов в блоке батареи, а заданные требования по току обеспечивают параллельно соединенные блоки.

Высокие рабочие температуры в тепловых батареях и высокая ионная проводимость электролитов-расплавов позволяют эффективно использовать в электрохимических парах высокоэнергетические электродные материалы: для анодов – это щелочные и щелочноземельные металлы, для катодов – соединения тяжелых металлов. Использование материалов с высокими электродными потенциалами обеспечивает в тепловых батареях высокое для первичных химических источников тока напряжение разомкнутой цепи до 2 - 3 В с элемента и способность разряжаться значительными плотностями тока, достигающими нескольких A/cm^2 .

По применяемым в тепловых батареях электрохимическим системам и особенностям технологии их изготовления можно выделить три поколения тепловых батарей, разработанных "НПП "Квант".

В первом поколении в качестве анодных материалов использовался кальций или магний, активным материалом катодов был либо бихромат калия, либо сульфат свинца, нанесенный из расплава на никелевую сетку. Электролитом служила смесь хлоридов лития и калия, нанесенная из расплава на стеклотканную основу. В качестве нагревателя использовался состав, состоящий из порошка циркония и хромата бария, нанесенный на асбестовую подложку или находящийся в порах асбестовой матрицы. Тепловые батареи этого поколения обеспечивали сохранность в течение 12 лет и работоспособность в широком интервале температур окружающей среды. Их существенными недостатками были низкая устойчивость к механическим воздействиям и небольшая удельная энергия до 4 Вт·ч/кг. Но, несмотря на это, сфера использования этих источников тока в военной технике всё более расширялась и перед нами ставились новые задачи по их совершенствованию.

Принципиальным отличием второго поколения тепловых батарей от первого являлось изготовление электролита и катода методом прессования. Для обеспечения устойчивости электролита к механическим воздействиям он загущался наполнителем оксидом алюминия α -модификации с температурой плавления больше 2000°C .

Анодным материалом второго поколения тепловых батарей оставался кальций. Такой электрохимический элемент состоял из трех жестких деталей, которые при активации тепловой батареи не меняли свои геометрические размеры. Слабым местом оставался эластичный циркониевый пиронагреватель, который при сгорании давал "усадку" и не имел электронной проводимости, что требовало специальных коммутирующих элементов и дополнительных конструктивных решений с целью повышения стойкости батареи к механическим перегрузкам.

Тепловые батареи второго поколения работали при всех видах механических воздействий, возникающих при эксплуатации всех ракетных систем, а их удельные характеристики были в 2 раза больше чем у батарей первого поколения, увеличились сроки сохранности до 17 - 20 лет.

Тепловые батареи третьего поколения начали разрабатываться в "НПП "Квант" в конце 80-х годов.

В качестве электрода отрицательного (анода) был впервые использован литий в виде интерметаллического соединения его с кремнием, устойчивого к рабочим температурам в батарее до 630°C .

В качестве активного вещества катода был применён дисульфид железа – обогащённый природный минерал серный колчедан.

В электролитной смеси стал использоваться загуститель с большой удельной поверхностью, что позволило улучшить её ионную проводимость и дало возможность увеличить разрядные токи.

Были разработаны новые малогазовые пиротехнические составы с хорошей электронной проводимостью, что упростило конструкцию батареи. В качестве горючего использовался специальный порошок железа, а в качестве окислителя – перхлорат калия, разработана автоматизированная технология формования из них пиротехнических нагревателей, обеспечивающая высокую точность выделяемой тепловой энергии.

Была разработана высокоэффективная тепловая изоляция с использованием в качестве основного материала оксида кремния с размерами частиц 4 - 7 нанометров.

Основные составные части батареи защищены 8-ю патентами России.

Удельные характеристики тепловых батарей третьего поколения в 2 - 4 раза выше удельных характеристик тепловых батарей второго поколения.

Тепловые батареи этого поколения обеспечивают питание ракетных комплексов: "С-300", "С-400", "Смерч", "Булава", "Торнадо", "Искандер", "Пакет", "Аврора", "Загон", "Ярс" и др.

В последнее десятилетие была проведена большая работа по модернизации серийно выпускаемых тепловых батарей первого и второго поколений, входящих в комплексы вооружений, которые изготавливаются в настоящее время для перевода их на материалы и технологии, используемые в батареях третьего поколения.

Проведенная модернизация позволила повысить надежность работы тепловых батарей, унифицировать технологию изготовления широкой номенклатуры батарей, а, в ряде случаев, за счёт увеличения удельной энергии, уменьшить их массу и габариты.

В настоящее время в связи с поставленной задачей модернизации вооружения и достижения тактико-технических параметров мирового уровня требования к автономным источникам электрической энергии повышаются, что видно по поступающим к нам техническим заданиям.

Эти требования касаются таких параметров тепловых батарей, как снижение времени выхода на рабочий режим, стабильность напряжения в процессе разряда, как при

постоянной нагрузке, так и переменных токовых импульсах в любое время разряда. Увеличиваются требования по продолжительности работы до 1 часа и по удельной энергии.

Такие задачи могут быть решены при комплексном подходе к поиску путей модернизации всех компонентов тепловых батарей.

Перспективными направлениями повышения удельных энергетических характеристик являются, в первую очередь, разработка технологии новых анодных материалов с потенциалом чистого лития. Учитывая, что такие аноды должны работать в батарее при температурах до 600°C , создание таких литийсодержащих композитов является сложной технологической задачей, над решением которой отдел 29 "НПП Квант" работает совместно с АО "Энергия". Создано современное оборудование, на котором получены первые образцы новых анодных материалов. Подобные композиционные материалы синтезируются на базе системы литий-бор, а также высокопористых металлических матриц, содержащих чистый литий. Потенциал таких анодов остаётся более стабильным, пока не будет израсходован весь химически несвязанный литий.

На рисунке 1 приведены сравнительные разрядные кривые электрохимического элемента с анодами из композита литий-бор и сплава литий-кремний.

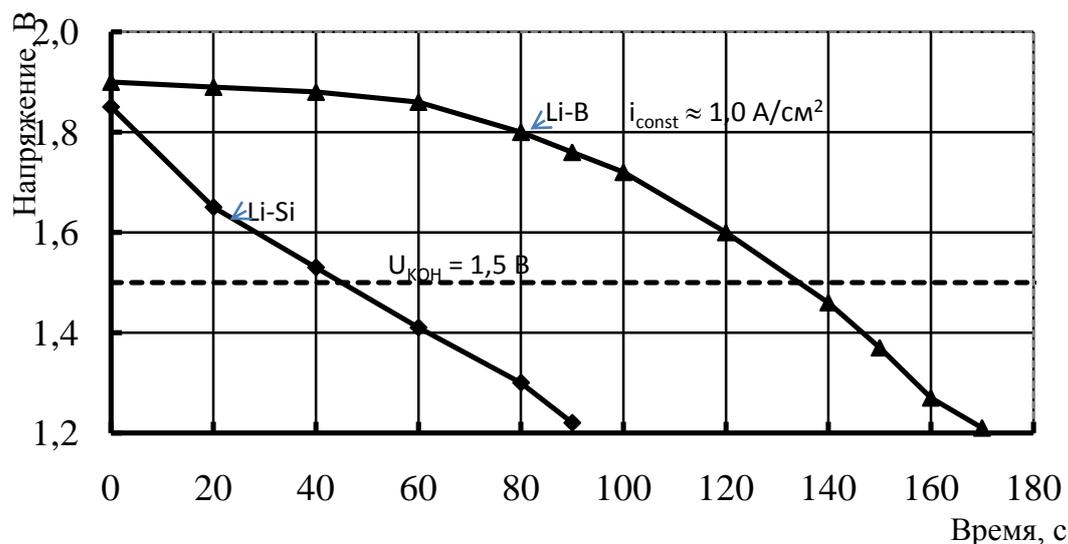


Рис. 1. Разрядные кривые электрохимических элементов диаметром 21 мм с массой анодов 0,1 г для батареи БТ-300.

Из графика отчётливо видны преимущества электрохимического элемента с анодом из композита литий-бор, который по ёмкости более чем в 2 раза превышает ёмкость элемента с анодом из сплава литий-кремний.

Были изготовлены миниатюрные батареи БТ-300 для перспективных средств вооружений с диаметром корпуса 27 мм с анодами из сплава Li-Si и композита Li-B, которые разряжались плотностью тока около 1 A/cm^2 . Результаты испытаний этих батарей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики батарей БТ-300 с анодами из сплава Li-Si (16 рабочих элементов) и композита Li-B (15 рабочих элементов)

Анод	Температура	Время выхода на режим, с	Максимальное напряжение, В	Изменение напряжения за 20 с, В	Время работы до 24,0 В, с	Удельная ёмкость анода, А·с/г
Li-Si	минус 50°C	0,37	28,6	3,1	32	760
Li-B		0,23	29,5	1,5	60	1040

Li-Si	плюс 50°С	0,33	29,4	2,6	44	1030
Li-B		0,17	30,2	1,4	75	1300

Как видно из табл. 1, время выхода на режим и падение напряжения за 20 с разряда образцов батарей с анодами из композита литий-бор почти в 2 раза меньше, чем у образцов батарей с анодами из сплава литий-кремний, а время разряда до напряжения 24 В почти в 2 раза больше.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики тепловой батареи диаметром 70 мм с временем работы 610 с, отличительной особенностью требований к которой является обеспечение больших импульсных токовых нагрузок до 100 А на всём протяжении времени разряда.

Таблица 2

Сравнительные результаты испытаний макетных образцов тепловых батарей \varnothing 70 мм, Н = 172 мм с электрохимическим элементом \varnothing 50 мм с различным составом анодов

Состав анодов	Температура, °С	Напряжение на 1,5 с, В	Напряжение на 602-й с, В	Напряжение на 610 с, В	Время работы до 49 В, с
		$R_H=0,2\text{ Ом}$	$R_H=2,45\text{ Ом}$	$R_H=29\text{ Ом}$	
Li-Si	минус 50	12,2	45,9	55,6	973
	плюс 70	21,0	47,1	55,6	800
Li-B	минус 50	18,6	51,9	63,9	1245
	плюс 70	23,6	53,6	62,1	810
Требование ТЗ	минус 50	$\geq 12,0$	$\geq 49,0$	$\geq 49,0$	610
	плюс 70				

* максимальный ток от от 63 до 110 А при $R_H = 0,2$ Ом.

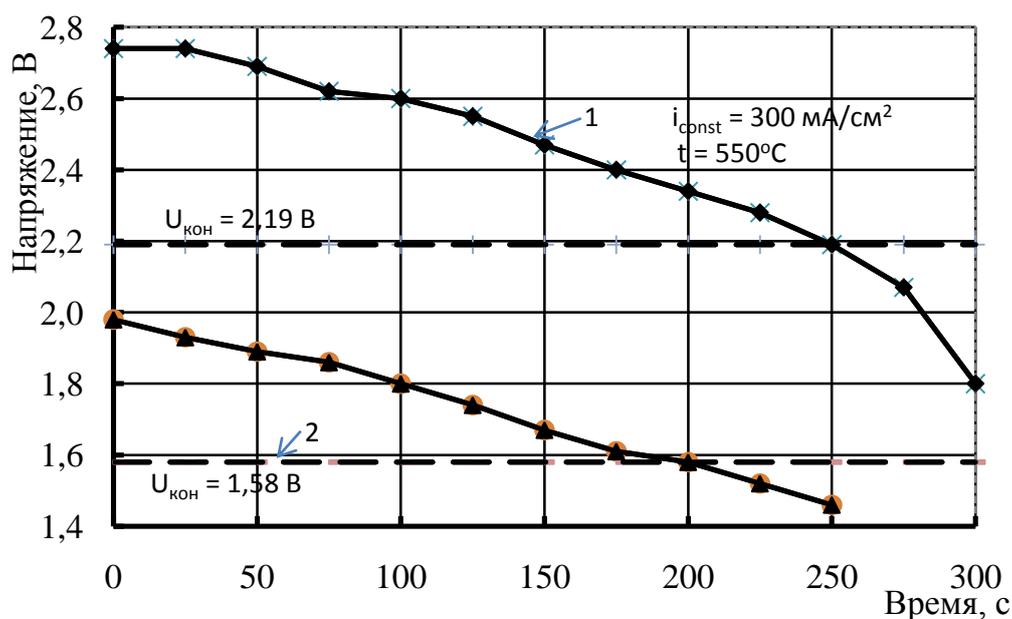


Рис. 2 – Разрядные кривые элементов диаметром 35 мм двух электрохимических систем до $U_{\text{кон}} = 0,8 U_{\text{макс}}$:

кривая 1 – Li-B/твёрдый электролит/соль меди, кривая 2 – Li-Si/LiCl, KCl/FeS₂.

Через 1,5 с после задействования батарея должна выдерживать импульс тока не менее 60 А, что с большим запасом обеспечивается батареей с анодами из композита

литий-бор. Это преимущество особенно заметно при крайней отрицательной температуре. Требования по напряжению на 602-й секунде при разряде на нагрузку 2,45 Ом во всём интервале температур обеспечивает только батарея с анодами из композита литий-бор. На 610-й с разряда у этой батареи напряжение значительно выше по сравнению с напряжением батареи с анодами из сплава литий-кремний.

Наряду с созданием новых анодных материалов нами ведётся разработка новых электролитных композиций, в которых основную долю составляют так называемые твёрдые электролиты – вещества, обладающие высокой проводимостью по иону лития, которые остаются при этом твёрдыми при рабочих температурах батарей. Данные композиции обладают двумя преимуществами: прессованные электроды из них более прочные, что необходимо для устойчивости батарей, работающих при больших механических перегрузках и, что более важно, они позволяют использовать другие высокоактивные катодные материалы с высокими электродными потенциалами. Рабочее напряжение электрохимического элемента с катодными материалами на основе солей никеля и меди достигает величины 2,5 - 3 В, что позволяет снизить габариты и массу батарей, уменьшив количество элементов в блоке.

Наглядным примером служат разрядные кривые элементов двух электрохимических систем на основе солей меди (кривая 1) и дисульфида железа (кривая 2), приведённые на рис. 2.

На электрохимической системе Li-V/твёрдый электролит/соль никеля были собраны макетные образцы аналога батареи БТ-300 с 12-ю рабочими элементами диаметром 21 мм. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики макетных образцов аналога батареи БТ-300 (12 рабочих элементов) на электрохимической системе Li-V/твёрдый электролит/соль никеля

Температура	Максимальное напряжение, В	Напряжение на 20 с, В	Изменение напряжения за 20 с, В	Время работы до 24,0 В, с
плюс 20° С	29,5	28,4	1,1	78
минус 50° С	29,3	28,5	0,8	71
плюс 50° С	29,4	28,5	0,9	80
плюс 70° С	29,9	28,6	1,3	71

Из табл. 3 видно, что батарея с меньшим числом электрохимических элементов обеспечивает заданное время работы (20 с) с трёхкратным запасом (см. табл. 1).

Ведутся исследования по улучшению такого важного параметра, как время активации батарей, путём создания новых быстрогорящих пиросоставов. В настоящее время разработаны малогабаритные батареи с временем выхода на режим 0,25-0,40 с, для применения, например, в катапультном кресле самолётов.

Стоящие задачи миниатюризации батарей требуют новых подходов и новых технологических решений по изготовлению, как компонентов батарей, так и самого сборочного процесса, особенно в свете их массового производства.

Примером решения таких задач является батарея, разрабатываемая для снайперского комплекса "Фломастер", которая при диаметре 8,5 мм и высоте 43 мм должна разряжаться плотностью тока 2 А/см² в течение не менее 20 с и быть стойкой к чрезвычайно большому ударным и линейным перегрузкам.

Таким образом, созданное более полувека назад Н.С. Лидоренко подразделение, успешно обеспечивает паритет в разработке и производстве таких сложных изделий военной техники, как тепловые батареи.

РАЗРАБОТКИ НПО «КВАНТ» ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

И.Р. Утямышев, д.т.н., академик РАЕН

Чем больше проходит времени, тем больше и глубже мы начинаем осознавать события минувших лет, понимать людей, которые были рядом, и которых уже нет с нами.

Совсем недавно мерилom человеческих достоинств являлись знания, талант, работоспособность, бескорыстие, открытость, которые сегодня подменяются сиюминутной выгодой, стремлением к обогащению, безмерному потреблению, эгоизмом.

Успехи любого дела, деятельности организации во многом зависят от личности руководителя, его характера, самоотверженности. В эпоху СССР руководители исповедовали иные понятия ценностей как и вся страна в целом.

Этим объясняется, что во главе целых отраслей промышленности, крупных предприятий, научных направлений были неординарные личности, которые с полной ответственностью отвечали за порученное дело, были величайшими профессионалами своего дела, могли организовать крупные коллективы людей и до мельчайших деталей владели предметом, которым руководили. Это не идет ни в какое сравнение с современным «менеджментом».

Одним из таких генералов промышленности был Николай Степанович Лидоренко.

Руководимый им институт (ВНИИТ), впоследствии НПО «Квант» по сути дела отвечал за целую отрасль в электротехнике, развитие и производство автономных источников энергии для нужд обороны и народного хозяйства. Как любое предприятие оборонного комплекса институт отвечал за производство продукции народно-хозяйственного назначения, разработку изделий для сельского хозяйства, здравоохранения и др.

В то время ВНИИТ являлся практически Головным предприятием Минэлектротехпрома по медицинской технике. Наряду с ним в этой области работали ВНИИ токов высокой частоты (г. Ленинград), ВНИИ электромеханики (г. Истра), ВНИИ кабельной промышленности (г. Мытищи) и др.

Н.С. Лидоренко, обладая широким научным кругозором, прекрасно владея вопросами электрохимии и электрофизики, сумел точно определить направления разработок медицинской техники идеологически и технологически профильной основной тематике института. Это обеспечивало высокий научно-технический уровень разработок, уникальные параметры и функциональные возможности создаваемых изделий.

Следует отметить, что к разработкам изделий медицинского назначения были подключены ведущие силы ВНИИТ: физики, химики, математики, инженеры, конструкторы самого высшего уровня, которые были заняты оборонными задачами. Николай Степанович всегда принимал живое участие в обсуждении проектов, касающихся медицины, вносил свои оригинальные предложения, оказывал как руководитель всяческую поддержку.

Теперь хотелось бы конкретно остановиться на основных разработках НПО «Квант» в области медицинской техники и смежных направлений.

Наиболее плодотворным и результативным был отдел, который бесменно возглавлял Казим Харшимович Урусов. Им была создана и внедрены серия аппаратов для измерения биопотенциалов органов и тканей человека. Один из аппаратов предназначен для измерений в полости рта для ранней диагностики возникновения кариеса зубов. Прибор прошел успешные испытания в ЦНИИ стоматологии. Совместно с Институтом хирургии им.

Вишневого и Центральным военно-медицинским управлением. Проведен ОКР с военной приемкой по измерению биопотенциалов в раневой области, а также работа «Оценка жизнедеятельности тканей, пораженных современным огнестрельным оружием» с целью определения места хирургического вмешательства и обработки (резекции) пораженных участков.

Совместно с академиками АМН СССР А.В. Вишневым (директор института хирургии АМН СССР), В.И. Бураковским (директор института сердечно-сосудистой хирургии им. Бакулева) были разработаны, и прошли медицинские испытания измерители потенциалов между внутренней и внешней стенкой кровеносных сосудов, в том числе для искусственных сосудов.

Также был проведен уникальный эксперимент по измерению биопотенциалов внутри желудка через эндоскоп, для чего был изготовлен специальный двухметровый электролитический ключ (проводник).

Одной из интересных разработок отдела Урусова был измеритель биопотенциалов-рНметр со специальным твердотельным электродом, который выдерживал температуру нагрева свыше 140°C. Это было вызвано необходимостью высокотемпературной стерилизации электродов при массовых обследованиях, особенно в армейских условиях.

Другим важным направлением работ близким к медицине было создание аппаратуры для сельского хозяйства. Во ВНИИТе совместно с болгарскими коллегами был создан и серийно выпускался микро-процессорный прибор для температуры измерения концентрации нитратов, нитритов, калия, натрия, меди, кальция и др. элементов.

В 80-е годы в ЦК КПСС была утверждена Всесоюзная программа «Теплица будущего». В рамках этого задания был проведен НИР по разработке измерителя температуры и влажности воздуха, почвы в прикорневой области, ионного состава почвы, влажности поверхности листа. Работа сдала заказчику в Институт растениеводства, где она была включена в ОКР. После этого в отчетах Центральному Комитету было доложено о готовности организации серийного выпуска аппаратуры на заводе «Фотон».

В те же годы были разработаны датчики измерения температуры и влажности для инкубаторов.

Все 867 птицеводческих комплексов страны были оснащены этими датчиками. В отделе Урусова их было изготовлено 12 тысяч, которыми оснастили Невинномысский и Пятигорский комплексы в Ставропольском крае.

Особо хочется остановиться на работе, связанной с обеспечением температурно-влажностных режимов в мавзолее В.И. Ленина. Эта большая работа, проведенная под руководством заместителя Генерального директора НПО «Квант» д.т.н. С.В. Рябикова совместно с НИЛ мавзолея В.И. Ленина Минздрава СССР была удостоена Ленинской премии 1982 г. Для мавзолея был создан уникальный высокочувствительный элемент и 32 канальный прибор (16 каналов влажности и 16 – температуры) с чувствительностью в 7 порядков в диапазоне измерения влажности от 30 до 100%. Были даны рекомендации по оптимальному расположению датчиков по объему.

Результаты данной работы были использованы в интересах сельского хозяйства (Институт риса), а затем для измерения влажности внутри корпуса ракет противовоздушного комплекса С-300.

Был также разработан метрологический комплекс для аттестации датчиков влажности и гигрометров, который работал в режиме Online. Была проведена НИР в интересах ВМФ для создания датчиков измерения влажности на военных кораблях, их устанавливали как в жилых отсеках, так и местах хранения боеприпасов и грузов.

Вторым направлением деятельности отдела К.Х. Урусова было разработка лекарственных средств пролонгированного действия, которым он продолжает заниматься и сегодня.

Значимость и острота обеспечения населения мира современными, эффективными, безопасными и доступными лекарственными средствами растет с каждым годом, а зачастую перерастает в социальную и даже политическую проблему.

Предложен также новый способ создания актуальных для медицинской практики новых препаратов, которые обеспечивают пролонгированное введение в организм терапевтически активных ионов. В отличие от всех аналогов процесс ионотерапии проводится в условиях отсутствия балластных, побочных ионов, и при этом в течение всей процедуры (10-50 мин) поддерживается оптимальная для каждого иона концентрация.

Создаваемые препараты, способы их получения и способы их применения в конкретной области медицины отличаются новизной, патентоспособностью ноу-хау и конкурентоспособностью, а также простотой технологии получения, абсолютной простотой применения, безопасностью, доступностью и дешевизной.

К настоящему времени получено и изучено более 20-ти лекарственных средств. На три из них, после проведения успешных официальных клинических испытаний в 5-ти стоматологических центрах страны, получено разрешение Фармакологического Комитета на использование при проведении профилактики и лечения кариеса зубов у детей и взрослых. Одни прошли успешную апробацию в клинических условиях, а другие проходят лабораторные исследования. В 80-е годы была разработана и выпущена партия жевательной резинки антикариесного действия.

Из всего приведенного видно какой спектр разработок проводился лишь в одном по меркам «Кванта» не очень крупном подразделении, каков был уровень разработок. И все это не в малой степени благодаря таланту руководителя и дальновидности ученого Н.С. Лидоренко, который обеспечил условия для творческой деятельности своих сотрудников, самореализации и удовлетворения интересов в исследовательской деятельности. Без назойливого вмешательства и опекуна он внимательно следил за процессами, происходящими в Институте, принимал участие в работе и давал мудрые советы, предостерегая от неверных шагов.

Большинство выпущавшихся изделий медицинской техники с автономным питанием комплектовались электрохимическими источниками энергии разработанными и серийно выпускаемыми предприятиями НПО «Квант». Помимо этого были созданы специальные малогабаритные источники для имплантируемых электрокардиостимуляторов серии СЦ (серебряно-цинковые).

Многие технические решения для преобразователей энергии были также использованы при разработке изделий медицинской техники. В частности, был создан экспериментальный образец мембранного оксигенатора «Мост» для аппаратов искусственного кровообращения, который прошел клинические испытания.

Другим направлением было создание аппаратуры для гипотермии на базе термоэлектрических преобразователей. В начале семидесятых в 21 отделе был разработан «Биотермостат», совместно с НПО «Энергия» и Институтом медико-биологических проблем для задач исследований в космосе.

Был разработан также фотоприемник со светодиодом в виде клипсы на ухе для измерения концентрации билирубина.

В Севастопольском филиале ВНИИТ велись разработки по обнаружению объектов под водой, что стало основой для исследования в области медицинской ультразвуковой диагностики. Н.С. Лидоренко поддержал исследования по «Эффекту Кирлиана», электрофотографии биологических болей при возбуждении СВЧ излучение. На базе Краснодарского филиала метод был технически усовершенствован. Супруги Кирлиан, обнаружившие этот эффект, весьма пожилые люди к тому времени получили от Н.С. Лидоренко ощутимую поддержку.

Теперь о тематике в подразделениях, где мне пришлось непосредственно работать. После окончания МФТИ, я начал свою трудовую деятельность во ВНИИТе в отделе, отвечавшим за разработку отечественного компьютерного рентгеновского томографа (КРТ).

Появление первого КТ английской фирмы EMI в начале семидесятых годов стало поистине революцией в рентгенодиагностике.

Не остались в стороне от этой амбициозной задачи и отечественные разработчики. К решению проблемы создания отечественного томографа подключились НПО «Квант» и МНПО «Спектр» Минприбора СССР.

В моем отделе были собраны достаточно молодые, увлеченные работой, инициативные, специалисты, средний возраст который не превышал сорока лет. Многие были выпускниками самых престижных вузов: МГУ, МФТИ и МИФИ. В коллективе царила деловая обстановка. Не было пустопорожних разговоров, длительных перекуров. В этом элитном подразделении царила атмосфера творчества и взаимного уважения. Регулярно не реже раза в неделю проходили научные семинары, где обсуждались результаты исследований, ставились новые проблемы. Все это позволяло держать коллектив в высоком научном тоне и не расслабляться.

В 1979 годы между И.Б. Рубашовым и Н.С. Лидоренко возникли разногласия. В результате часть сотрудников отделения перевелись во ВНИИ кабельной промышленности, куда официально ушла тематика по томографии.

Я продолжал заниматься своей темой по трехмерной голографической визуализации для рентгенографии.

В 1982 г. мне со своей лабораторией пришлось перейти в отдел, занимавшийся только медицинскими разработками. Встал остро вопрос о финансировании и собственной тематике. Пришлось затратить немало сил, чтобы добиться включения темы «Оптическая аппаратура для синтеза объемных рентгеновских изображений из серии двумерных», которая выполнялась также институтом медицинской техники согласно Постановлению ЦК КПСС и Совета министров СССР № 870 от 22 сентября 1977 г. «О мерах по дальнейшему улучшению народного здравоохранения».

Работы в отделе осуществлялись в тесном взаимодействии с крупными клиниками, ведущими медицинскими научно-исследовательскими институтами и светилами медицинской науки (проф.чл.-корр АМН СССР Пытелем, проф, академиком АМН СССР, Героем социалистического труда А.Н. Лопаткиным, проф. академиком РАМН В.И. Сандриковым и др.) .

Помимо плановых тем, ВНИИТ имел множество договоров о творческом содружестве с многими медицинскими центрами по инициативной тематике. По одному из них я работал с больницей ЗИЛ по иридодиагностике (диагностика по радужной оболочке глаза).

В доперестроечные годы Советский Союз практически не закупал медицинскую технику и лекарственные препараты в странах Запада. Все обеспечивалось собственными силами и поставками из стран членов СЭВ. Социалистические страны Восточной Европы работали по единым планам. В те годы функционировал Координационный центр (КЦ) СЭВ по развитию медицинской техники, в него входили Болгария, Венгрия, ГДР, Польша, Чехословакия, Румыния, СССР, Куба, в качестве наблюдателей активно участвовали Югославия и Финляндия.

Ежегодно собирался Совет уполномоченных на уровне заместителей министров здравоохранения от каждой страны, проводились совещания экспертов по различным видам медицинской техники: рентгеновская, криогенная, аппаратура для функциональной диагностики, медицинские инструменты и т.д. Обсуждались и принимались программы совместного сотрудничества, согласовывались перспективные планы развития.

ВНИИТ также активно участвовал в работе Координационного центра. Практически ежегодно представители от «Кванта» присутствовали на совещаниях экспертов: Алма-ате,

Ростове-на-Дону, Ташкенте, Иркутске, Таллинне. Работали по двусторонним рабочим планам. Я осуществлял координацию работ по направлению медицинских средств отображения медицинских изображений и носителям информации в рамках КЦ. Кроме того, вел от Кванта» две работы с Венгрией одноименной со свое плановой по стереоголографии с А/О «Медикор» и по голографической аппаратуре с Будапештским политехническим Университетом, а также работу с А/О «Кайнел» (Финляндия) по созданию универсальной многоцелевой автоматизированной проявочной машины для здравоохранения. Первоначально предполагалось создание автомата для обработки рентгеновских пленок с гибкой программой обработки, что позволяло осуществлять проявку различных типов пленок с большим разбросом характеристик и обеспечивать стабильные результаты. В дальнейшем, учитывая блочно-модульный принцип построения машины, было решено адаптировать ее для обработки любых типов фотоматериалов: цветных, негативных, обрабатываемых при различных температурных и кинетических режимах обработки, что резко увеличивало область применения аппарата. В рамках этого проекта были заключены договора практически со всеми фотохимическими институтами нашей страны.

Затем началась перестройка, в ходе которой Н.С. Лидоренко перестал быть генеральным директором меня отстранили от проводимых работ, По доброму мудрому совету Николая Степановича я перешел со своей лабораторией в другой отдел.

Это было очень мобильное подразделение, где работало много молодежи. Его руководитель к.т.н. Б.В. Авдеев очень активный, увлекающийся новыми нестандартными решениями руководитель работал во многих направлениях. Любая новая идея находила у него живой отклик и поддержку. В этом мы два выпускника физтеха нашли с ним полное взаимопонимание.

В подразделении проводились работы по радиооптической и сверхпроводниковой магнитометрии, биоритмов, исследовалось воздействие низкочастотных магнитных полей на биообъекты и человека и др.

Моя лаборатория занималась тематикой голографической записи информации на фототермопластические носители, вопросами применения новых видов телевизионных приемников, чувствительных в различных диапазонах излучения (пировидиконы ИК), акусточувствительные видиконы, видиконы с микроканальными усилителями (для сверхслабых сигналов) совместно с НИИ «Платан» (Фрязино), НПО «Полимер» и заводом «Гран» (г. Владикавказ).

Вскоре Николай Степанович переселился из своего просторного директорского кабинета в 60 корпус. Мы стали соседями и общались каждый день. В последние годы Н.С. Лидоренко в основном занимался научными вопросами. Медицина для него была любимым коньком. Мне часто участвовать во встречах с известными учеными, ездили с ним в командировки.

Несколько раз мы принимали участие в работе Совета «Магнитобиология и магнитотерапия» и в конференциях, проводимых Советом в Новочеркасске, Ялте и Адлере, которым руководил проректор Ростовского мединститута проф. В.Н. Чернов, с которым у Н.С. Лидоренко сложились теплые дружеские отношения. Много интересных дискуссий было с руководителями медицинских центров в Москве.

Особо следует остановиться на деятельности Всесоюзного медико-технического общества (ВНМО).

Это была крупная общественная организация насчитывавшая около 100 тысяч членов и более трех тысяч юридических членов: предприятий, заводов, вузов, больниц, санаториев и т.д., которые были объединены по территориальному признаку: крупные города, области, союзные республики. Сейчас его правопреемником является Академия медико-технических наук

На конференциях и семинарах ВНМТО обсуждались актуальные научные и практические вопросы разработки различных видов медтехники. На пленумах и съездах рассматривались перспективные планы развития медтехники и предложения для включения в народнохозяйственный план, долгосрочные целевые комплексные программы.

В 1978 году во ВНИИТе была создана первичная организация ВНМТО. За два последующие года были образованы аналогичные структуры в крупных отделениях НПО «Квант»: в Ленинграде, Тбилиси, Кишиневе, Краснодаре, а также во ВНИИ токов высокой частоты (г. Ленинград), ВНИИЭМ (г. Истра), ВНИИ кабельной промышленности, которые были объединены по отраслевому признаку в Секцию Минэлектротехпрома с правами территориальной организации. Это была единственная в своем роде структура ВНМТО, которая базировалась во ВНИИТе.

Отраслевая секция организовала и провела несколько всесоюзных конференций: «Электрофизические проблемы создания медицинской диагностической аппаратуры», г. Москва 1982 г., конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы сбора, передачи, обработки и отображения медицинской информации» (г. Ростов-на-Дону 1983 г.).

Секция участвовала в ежегодных конкурсах ВНМТО на лучшую разработку. Работа К.Х. Урусова «Измеритель биопотенциалов» была удостоена призового места в 1982 году.

Члены секции принимали участие в пленумах и съездах ВНМТО. Н.С. Лидоренко всегда присутствовал на съездах общества в Колонном зале Дома Союзов. Представители ВНИИТ во главе с Николаем Степановичем участвовали в Советско-американском симпозиуме по медицинской технике в 1979 г в рамках деятельности Американо-советского торгово-экономического совета (АСТЭС), в мероприятиях комитета ISO по измерениям в биологии и медицине ИМЕКО и других представительных форумах, связанных с вопросами создания медицинской техники.

Это краткое перечисление работ по медицинской тематике, которые проводились в НПО «Квант» наглядно демонстрирует масштаб, разносторонность и широту мысли Николая Степановича Лидоренко, человека уникальной судьбы, ученого, организатора науки и мудрого руководителя. Сегодня трудно поверить и кому-либо объяснить, что такое было возможно и было нормой жизни. В этом заключается величие людей чести безвозвратно ушедшей эпохи, в их непреклонности, стойкости, умении преодолевать трудности, уверенности в своей правоте, вере в справедливость и верности долгу.

ИДЕИ, ВОПЛОЩЕННЫЕ В ЖИЗНЬ

*С.Д. Лихоносов, к.х.н., генеральный директор ПАО «Сатурн»,
В.Д. Кожухарь, главный инженер завода «Сатурн»*

Залогом успешной многолетней научной и трудовой деятельности Николая Степановича Лидоренко был его принцип: – **любая идея должна быть доведена до практического воплощения, только так можно оценить её масштаб и практическую ценность.** Можно привести множество примеров как выдающихся ученых, способных генерировать замечательные идеи, так и талантливых организаторов научной и производственной деятельности. Но людей, счастливо сочетающих в себе все эти качества, чрезвычайно мало. Именно таким и был Николай Степанович Лидоренко.

Идеи талантливого ученого весьма подробно описаны в его научных трудах и в трудах его коллег и единомышленников. В этой статье мы хотим обратить особое внимание на его инженерную и организаторскую деятельность по созданию широкого круга технологий и промышленных производств, на практическую реализацию множества замыслов, которые на протяжении долгой жизни генерировал он лично и побуждал генерировать своих коллег и соратников. Те, кто сталкивался с проблемами организации производства изделий на инновациях, прекрасно представляют, насколько сложен и трудоемок путь от замысла до реального результата.

Переломным в судьбе Николая Степановича можно считать 1950 год, когда молодой учёный-производственник, только что защитивший диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук, из далёкого Комсомольска-на-Амуре по решению Правительства страны был направлен в Москву руководить Всесоюзным научно-исследовательским элементарно-электроугольным институтом.

В 1957 году институт был переименован во Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока (ВНИИТ) и стал основой для НПО «Квант» – ведущего предприятия в области космической энергетики, создания технологий и устройств, преобразующих солнечную, тепловую и химическую энергию непосредственно в электричество.

В то время перед страной стояли две важнейшие задачи – создание ядерного оружия и создание средств доставки ядерных боеголовок до условного противника. Основным средством доставки были баллистические ракеты, разработкой и производством которых руководил С.П. Королёв.

Тогда же Н.С. Лидоренко назначается Главным конструктором комплексных систем и технологий применения безмашинных способов производства электричества из химической, ядерной, солнечной и тепловой энергии, конструирования резервных источников тока длительной сохранности (импульсных, сухозарядных и с электролитами-расплавами), для всех классов ракет и искусственных спутников Земли.

Он был постоянным членом знаменитого Совета Главных Конструкторов «королёвского» призыва, обеспечивших достижение эпохальных завоеваний человечества – запуск в космос первого искусственного спутника Земли и первого космонавта.

К середине 60-х годов прошлого века ВНИИТ уже твердо стоял на ногах, обладал значительным научным потенциалом, диапазон научных поисков постоянно расширялся, а

это, в свою очередь, требовало вовлечения в процесс внедрения в жизнь имеющихся научных заделов других регионов страны. Энтузиазм, инициатива и энергия Николая Степановича способствовали тому, что в разные годы были созданы филиалы ВНИИТ в Ташкенте, Ленинграде, Твери, Таллинне, Ереване, Севастополе, Кишиневе. Все они имели свои направления работ в рамках общего научного плана ВНИИТ. Но, по мере бурного развития военной и ракетно-космической техники, все острее ощущалась необходимость в создании современного, разнопланового производства источников тока, способного решать крупномасштабные задачи.

По всей видимости, повлияли три обстоятельства на выбор Краснодара для организации такого производства. Во-первых, Краснодар располагал техническими ВУЗами, рядом НИИ промышленного направления, развитой промышленной базой приборостроения и машиностроения. Во-вторых, региональные власти были заинтересованы в создании рабочих мест и в организации престижного производства. И в-третьих, в Краснодаре работал Юрий Николаевич Калугин – талантливый инженер, с которым близко познакомился Николай Степанович.

Калугин Ю.Н. работал в небольшом КБ Краснодарского совнархоза в должности начальника отдела гелиотехники и промышленной энергетики, основной тематикой которого была разработка устройств преобразования солнечной энергии в другие виды энергии. Работы выполнялись по заказам Госкомитета по электротехнике при Госплане СССР, где секцией "Гелиотехника" руководил в то время Лидоренко Н.С.

Ю.Н. Калугин, человек очень высокого научного потенциала, хороший математик и конструктор, блестящий шахматист, обладал, кроме всего прочего, потрясающей памятью и редчайшей доброжелательностью. Именно поэтому Николай Степанович мог доверить ему свои замыслы и впоследствии никогда не жалел о своём выборе.

28 апреля 1964 г. Госкомитет по электротехнике при Госплане СССР по инициативе Лидоренко Н.С. издает Приказ № 2 об организации базовой лаборатории ВНИИТ в г. Краснодаре. Но статус лаборатории не соответствовал тем задачам, которые планировал решать Лидоренко Н.С. с помощью новой структуры. И поэтому уже 20 августа 1964 г. Госкомитет по электротехнике издает приказ № 145 с, по которому базовая лаборатория ВНИИТ в г. Краснодаре преобразуется в Краснодарский филиал ВНИИТ. Это было в русле реализации идеи Лидоренко Н.С. по созданию цепочки: идея – исследования (НИР) – разработка (ОКР) – опытное производство – серийное производство.

Руководителем зарождающейся организации стал Ю.Н. Калугин. В то время бурного роста производства устраиваться на работу шла, в основном, молодёжь, выпускники технических ВУЗов. Средний возраст сотрудников в 1965 году составлял всего 27 лет. Многие из них совмещали работу с обучением на вечерних и заочных отделениях институтов.

В рамках основных задач, стоящих перед ВНИИТ, вновь созданный Краснодарский филиал начинает работать по следующим основным направлениям:

- разработка устройств для механизации и автоматизации процессов производства источников тока;
- разработка электронных приборов для проведения научных исследований в области электрохимии и контроля параметров источников тока в процессе производства;
- разработка хемотронных приборов и тепловых солнечных установок.

Николай Степанович внимательно следил за развитием своего детища и, благодаря его усилиям, 21.08.1965 г. выходит Постановление Совета Министров СССР № 1909, в соответствии с которым принято решение о строительстве опытного производства ВНИИТ в г. Краснодаре.

Строительство первой очереди опытного завода было завершено в ноябре 1969 г. Площадь сданных в эксплуатацию помещений составляла почти 10 000 м², и это позволило

значительно улучшить условия труда разработчиков и конструкторов, а также принять на работу дополнительное количество инженерно-технических работников, так необходимых предприятию для выполнения все возрастающего объема работ. К концу 1970 г. общая численность рабочих, ИТР и служащих предприятия составляла 601 человек, в том числе ИТР 284 человека.

Таким образом, всего за 5 лет, благодаря усилиям и огромной энергии Лидоренко Н.С., практически с нуля в Краснодаре возникло крупное и современное научно-производственное предприятие с молодым и творческим коллективом, способным решать сложные задачи, находящиеся на острие научно-технического прогресса.



О том, что в коллективе была создана творческая атмосфера, говорит тот факт, что за период с 1965 по 1969 гг. было подано 25 заявок на предполагаемые изобретения, опубликовано 12 статей в научных журналах. Все начальники лабораторий и секторов новой структуры проходили обязательный этап утверждения на научно-техническом совете ВНИИТ и практически все имели учёные степени.

После освоения новых площадей, Главным конструктором были определены основные направления деятельности предприятия:

- разработка и изготовление электронных систем и приборов контроля технологических процессов (Цоканов В.В., Торчин А.Л., Смирнов Л.М., Буртов Я.Л., Нагайкин А.С.);
- производство кремниевых фотоэлектрических преобразователей для солнечных батарей космического назначения (Скоков Ю.В., Закс М.Б., Солoduха О.И., Здышенко Ю.Ф., Козлов В.В.);
- разработка и изготовление элементов пневмоавтоматики для электрохимических генераторов (Запевин И.Л., Фалин В.А., Вагин С.В.);
- отработка технологии изготовления топливных элементов для советской лунной программы (Кожухарь В.Д., Янченко Г.И., Калашников Е.И., Леднев Б.В.).

Как отражение реального состояния дел, по инициативе Николая Степановича 13.06.1969 г. издается Приказ № 244 Министра электротехнической промышленности, по которому Краснодарский филиал ВНИИТ преобразован в Краснодарское отделение ВНИИТ (КО ВНИИТ) с соответствующим расширением полномочий.

Директорами КО ВНИИТ после безвременной кончины Калугина Ю.Н. (1972 г.) последовательно становились Цоканов В.В., Никольский А.Г., Скоков Ю.В., Слуцкий А.Б., которые внесли серьёзный вклад в развитие Краснодарской научно-производственной площадки. Нельзя не отметить роль главного инженера Панченко А.Г., который благодаря своему таланту и опыту работы в космической отрасли, поднял научно-технический уровень КО ВНИИТ до современных требований и сыграл значительную роль в получении первых реальных заказов на изделия.

В 1970 г. на территории, прилегающей к КО ВНИИТ, началось строительство будущего завода "Сатурн", который тогда в официальных документах назывался "Завод физических источников тока в г. Краснодаре".

Он строился на основании решения Госплана СССР от 1 декабря 1967 г. "О включении завода физических источников тока в г. Краснодаре в титульный список вновь начинаемых строек" и Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 23 мая 1968 г. № 394 - 149.

Отвод земельного участка площадью 15,3 га для строительства завода был оформлен решением исполкома Краснодарского Горсовета депутатов трудящихся № 657 от 19 мая 1967 г. и № 168 от 22 апреля 1968 г.

Строительство завода «Сатурн» имело все шансы стать заурядным Кубанским «долгостроем», десятки которых украшали окраины Краснодара. Только постоянные приезды Главного конструктора Лидоренко Н.С., его участие в немедленном решении всех текущих вопросов, постоянное понуждение местных партийных и строительных властей, организация постоянного давления на них со стороны ЦК КПСС и Министерства электротехнической промышленности позволили решительно и в сжатые сроки запустить завод. На оперативных совещаниях по строительству мы видели того же ученого Лидоренко, но занимающегося не чистой наукой, а специалиста в сложных финансовых, организационных и технических вопросах капитального строительства, большого знатока средств давления на нерадивых строителей и требовательного руководителя.

К середине семидесятых годов окончательно сформировались основные научно-технические направления работ КО ВНИИТ. В течение последующих лет и до 1992 года включительно, активно велись научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по разработке и усовершенствованию технологических процессов производства физических химических и электрохимических источников тока, по разработке информационно-измерительных приборов и систем, контрольно-проверочной аппаратуры, по созданию энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии.

КО ВНИИТ и строящийся завод «Сатурн» постепенно становились основным полигоном для освоения многих идей Николая Степановича. Генеральной линией и основной его заботой стало освоение серийного производства фотопреобразователей и солнечных батарей для космических аппаратов.

Научным и техническим руководителем работ по солнечной тематике в КО ВНИИТ становится Скоков Ю.В., будущий секретарь Совета безопасности России. Под его руководством сложился сплочённый коллектив разработчиков (Закс М.Б., Иванченко А.Н., Дорошенко В.Г., Солодуха О.И., Касаткин В.В., Беркаль Р.И., Финтисов А.И. и др.), способный самостоятельно вести сложные разработки космической техники.

Освоение сложнейшей по тому времени полупроводниковой технологии проводилось параллельно со строительством производственных площадей и в кратчайшие сроки. Уже осенью 1971 года была выпущена первая промышленная партия фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. А в конце 1972 года была изготовлена первая штатная солнечная батарея для космического аппарата «Стрела-1» по документации головного института.

Активная самостоятельная деятельность предприятия началась с 1976 года проектированием и изготовлением солнечной батареи для космического аппарата «Цикада» по заказу Омского ПО «Полёт». В этом же году вступила в строй первая очередь опытного завода "Сатурн", после чего началось постоянное наращивание объёмов выпуска и номенклатуры проводимых работ. Завод «Сатурн» постепенно становился самым крупным предприятием СССР по выпуску серийных солнечных батарей, а в 1988 году он вышел на проектную мощность и изготовил более 800 м² фотопреобразователей для космических аппаратов.

Наряду с физическими источниками тока, серьезное развитие получили и химические источники тока. Большим стимулом их развития стала потребность в них космической лунной программы, где оптимальным источником электроэнергии и воды считались электрохимические генераторы (ЭХГ).

Для решения этой задачи в НПО «Квант» был создан сильнейший коллектив по разработке ЭХГ для нужд лунной космической программы (Чижик С.П., Лаповок В.Н., Каган Н.М., Касимов О.Г., Тейшев Е.А., Каричев З.Р.). Одновременно с этим, Н.С. Лидоренко поставил перед КО ВНИИТ задачу доработки лабораторной технологии до уровня производственной, с обеспечением необходимых объемов серийного выпуска. Разработанный во ВНИИТ топливный элемент МКЭ-2К был успешно освоен в опытном производстве КО ВНИИТ. С изменением конъюнктуры и остановкой лунной программы, Н.С. Лидоренко сумел оперативно, с учетом наработанного опыта, перенаправить усилия по созданию ЭХГ на потребности подводного флота. Итогом стала установка «Э-280» номинальной мощностью 280 кВт для серийной ПЛ проекта 613Э («КАТРАН»). На первом этапе в опытном производстве КО ВНИИТ, а затем на заводе «Сатурн» было создано серийное производство топливных элементов МКЭ-100-3, сборка и испытания блоков ЭХГ «СПРУТ-3Г». Всего было изготовлено более 40 блоков, 28 из которых составили силовую установку ПЛ 613-го проекта.

Освоение технологии изготовления топливных элементов потребовало разработки и внедрения совершенно нового оборудования и освоения новых видов процессов и производств. Основой для производства стали оригинальные лабораторные технологии ВНИИТ. И здесь роль Главного конструктора Лидоренко Н.С. была неоценима. Он сумел мобилизовать московских разработчиков ВНИИТ для помощи заводу «Сатурн», обязал руководителей производства (Лаповок В.Н., Миронов Л.Г.) передать лабораторную оснастку и оборудование на «Сатурн», понуждал ученых к постоянному контролю качества выпускаемых заводом изделий. Уже в 1974 году был организован цех ЭХГ с последующим его расширением и передачей заводу «Сатурн». При этом были освоены и доведены до серийных кондиций технологические линии металлопорошков, прокатки, диффузионного сращивания, дуговой, микроплазменной, контактной сварки, производства катализаторов, активации электродов, сборки и испытаний.

Несмотря на величайший скепсис при оценке перспектив этого проекта со стороны технических «маловеров», Лидоренко сумел увлечь идеей ЭХГ для ПЛ большой коллектив работников, решить, казалось бы, неразрешимые задачи с заказчиками, с финансированием, снять огромное количество проблем самого разного толка и добиться результата.

Результат же был таков. Серийная ПЛ водоизмещением 1300 тонн с паспортным сроком погружения 6 суток (фактически 4 - 5 суток) в 1987 году показала реально возможность погружения на 28 суток.

Но и это не было еще конечным итогом. Несколько лет назад в газете «Красная звезда» был опубликован репортаж с завода «Адмиралтейские верфи» («Санкт-Петербург»), где была спущена первая субмарина проекта «Лада». Эта ПЛ была представлена читателю как лодка 21 века, параметры которой очевидно будут секретны минимум до 50-х годов, и тогда же, быть может, достижимы вероятным противником. Значительное место в публикации уделено предшественникам. Отмечалось, что «... Российские конструкторы ещё тридцать лет тому назад предложили ГЭУ с электрохимическим генератором (ЭХГ). Субмарину С-237 проекта 613 переоборудовали по проекту 613Э «Катран». Если обычные дизельные лодки при двухузловой скорости могли находиться под водой не более четырех суток, то при использовании ЭХГ срок увеличивался до месяца». Имя Николая Степановича, тогда еще плодотворно работавшего, не было названо, но его знали все, кто имел отношение к этим работам.

Разработка ЭХГ и технологий, связанных с ним, стало основой для развития ещё нескольких направлений, в том числе молекулярных конденсаторов, медтехники (оксигенаторы), никель-водородных аккумуляторов и других химических источников тока, которые впоследствии развились в самостоятельные виды производств.

Использование металлокерамических мембран, являющихся основой для электродов топливных элементов ЭХГ, при определенной технологической доработке показало прекрасные результаты при разработке оксигенаторов, необходимых при проведении хирургических операций для насыщения крови кислородом и удаления углекислого газа. Разработанная во ВНИИТ конструкция оксигенаторов «МОСТ» была освоена на заводе «Сатурн». При этом удалось не только создать серийную технологию изготовления и испытаний, но и обеспечить условия сверхчистого многозонного производства изделий медтехники. Насколько нам известно, параметры мембранных оксигенаторов, выпущенных на «Сатурне» и в «Кванте», были и остаются лучшими в своем классе этого типа.

Весьма показательна история разработки и изготовления молекулярных накопителей энергии. В свойственной Николаю Степановичу манере, он объяснял идею накопителей энергии как «неприлично простую»: «Вы понимаете, там, в знаменателе стоит r^2 , а в числителе – площадь поверхности. Так давайте уменьшим r до значений межмолекулярных расстояний, а для числителя изготовим материал с сильно развитой поверхностью». Чего стоило реализовать эту идею, над которой посмеивались не только простые инженеры, но и некоторые корифеи с академическими значками, описать сложно. Однако Николай Степанович умел заражать своими идеями окружающих и создавать творческие группы, способные решить поставленные задачи. И вскоре во ВНИИТ была разработана лабораторная технология молекулярных накопителей энергии, после чего завод «Сатурн» принял лабораторную технологию, оборудовал цех и начал освоение промышленного производства.

Сложности процессов налаживания серийного производства изделий от уровня лабораторных технологий весьма высоки. Николай Степанович лично разбирался в возникавших технических проблемах, в установлении причин технологических сбоев. Так, во время освоения производства молекулярных конденсаторов пришлось отправить «под нож» многомесячный труд ряда цехов – опытную партию изделий «МИГ». Начали приезжать очень высокие комиссии. К сожалению, такие ситуации неизбежны при создании новой техники. С помощью Главного конструктора эту беду пережили, важнейший комплекс был изготовлен, и, в итоге, коллектив разработчиков заслуженно был представлен к Государственной премии.

К чести завода, он не провалил ни одной разработки. Разноплановость работ и технологий только сплачивали коллектив. Ртутные счетчики машинного времени, средства связи, источники питания серии «Т» для ракет, модная в те далекие времена разработка и изготовление сложных товаров народного потребления – технический уровень завода позволял решать любую задачу, поставленную Главным конструктором.

Показательна ещё одна история, с производством источников питания для оборонных целей – серии «Т». Эти давно разработанные ХИТ с расплавленным электролитом, используемые как стартовые для различных типов ракет, стали отказывать в войсках. Оказалось, что изготовленные в одной из среднеазиатских республик изделия из-за несоблюдения технологических параметров, не могли обеспечить требуемую надежность. Через очень короткое время на «Сатурне» заработал цех с линиями сухого воздуха, со специальным оборудованием собственной разработки и изготовления, что позволило в кратчайшие сроки решить все проблемы.

В 1983 году, по инициативе Скокова Ю.В. и при активной поддержке НПО Прикладной Механики (НПО ПМ, г. Железногорск, в настоящее время АО ИСС), на предприятии были

организованы работы по новому направлению: разработке химических источников тока для космических аппаратов на базе никель-водородной электрохимической группы (НВА).

Руководил этими работами к.х.н. Лихонос С.Д., который сегодня является генеральным директором ПАО «Сатурн».

Главным конструктором этого направления был к.т.н. Галкин В.В., возглавлявший коллектив разработчиков (Митрохин А.П., Корниенко Е.Ф., Шевченко Ю.М., Лапшин В.Ю., Кулыга В.П.).

По результатам научно-исследовательских работ, в 1985 году был заключён первый договор с НПО ПМ на разработку и поставку штатного комплекта АБ для системы электропитания (СЭП) КА «Экран-М». Первый опыт оказался удачным, и никель-водородные (НВ) АБ в составе этого КА отработала 8 лет при гарантийном ресурсе в 3 года. Постоянные работы по совершенствованию конструкции, оптимизации структуры электродов и электрохимического состава, технологии водородного электрода, и по материаловедению, позволили довести уровень разработок по НВ АБ до уровня лучших мировых образцов.

В 1987 году Краснодарское отделение ВНИИТ и завод "Сатурн" были объединены в "Научно-производственный коллектив "Сатурн".

В 1990 году было полностью завершено строительство завода. На общей площади 28 гектаров было построено около 130 тыс. кв. метров производственных, инженерных и бытовых сооружений.

Восьмидесятые годы можно считать временем расцвета предприятия. Численность сотрудников достигла 7,5 тыс. человек. Помимо основного направления деятельности в области космической энергетики, предприятие активно участвовало в решении очень широкого круга задач, включающего:

- оснащение подводных лодок электрохимическими генераторами;
- производство молекулярных накопителей энергии;
- производство наземных фотоэлектрических модулей и установок;
- проведение медико-биологических исследований, разработка и производство медицинской техники;
- разработка и производство электронных приборов и датчиковой аппаратуры;
- разработка и изготовление контрольно-испытательного и специального технологического оборудования;
- производство товаров народного потребления.

Коллектив был молодой, активный и с энтузиазмом брался за решение любых задач.

Много внимания Николай Степанович уделял не только техническому развитию завода, но и созданию социально-бытовой инфраструктуры. На заводе работало 2 столовые, блок бытового обслуживания, поликлиника, профтехучилище, был построен целый городок жилья, привлекались специалисты из ведущих вузов страны.

Прошло много лет с тех пор, как Николай Степанович передал бразды правления НПО «КВАНТ» в другие руки. Этим «других рук» было много и, увы, не все они способствовали сохранению традиций и славы великой энергетической империи под названием «КВАНТ».

Завод «Сатурн» участь развала не постигла. Счастливым образом сохранившись в тот сложный период, когда в стране уничтожались самые достойные предприятия, завод, не без потерь, но начал воссоздаваться умом и руками учеников Николая Степановича. Союз с крупным бизнесом, вопреки всяким домыслам, стал спасительным для уникального детища Лидоренко. Оказалось, что крупный бизнес бывает патриотичным, что человек, владеющий контрольным пакетом акций завода, и для которого основным занятием является производство напитков в очень крупных объемах, не только на словах, но и практической и финансовой деятельностью, оказывает весьма заметную помощь предприятию, не диктуя,

не давая и не претендуя на роль технического руководителя, доверяя команде, управляющей заводом. Таким представителем крупного бизнеса стал Алексей Андреевич Кочетов. Именно Кочетов А.А. сумел создать ту обстановку сотрудничества между заводом «Сатурн» и компанией «Очаково», в которой завод может позволить себе мощное техническое перевооружение и обеспечить выход на ведущие технологические позиции в мире.

Сегодня ПАО «Сатурн» уверенно смотрит в будущее. За последнее время на предприятии освоено производство самых современных трёхкаскадных фотопреобразователей из арсенида галлия на германиевых подложках с КПД до 30% для КА. Ресурс солнечных батарей доведён до 15 лет. Сейчас в разработке находится конструкция солнечной батареи на углепластиковом каркасе с рекордными удельно-массовыми характеристиками. Нишу никель-водородных аккумуляторов уверенно занимают литий-ионные батареи собственной разработки. ПАО «Сатурн» успешно сотрудничает со всеми ведущими космическими фирмами России, да и заказы зарубежных фирм уже не являются для предприятия какой-то экзотикой. На предприятии стоит вопрос уже не о консервации имеющихся производственных площадей, а о расширении и оснащении их самым современным оборудованием. А это задачи совсем другого уровня, не стагнации, а развития, не выживания, а движения вперёд.

Нам хочется верить, что Николай Степанович в общем остался бы доволен и своими последователями, и новыми технологиями, и созданным и приобретённым оборудованием и робототехникой, и стерильной чистотой производственных помещений, но самое главное – творческой обстановкой в коллективе, сохранившейся с той поры, когда её создавал и всячески поддерживал Главный конструктор Н.С. Лидоренко.

СВЯЗЬ ВРЕМЁН, СВЯЗЬ ПОКОЛЕНИЙ

А.А. Лебедев, Е.В. Слыщенко, Н.Т. Вагапова, к.х.н., М.А. Генали

В ставшем уже историей двадцатом столетии было немало выдающихся личностей, чья жизнь и деятельность являются ярким примером для новых поколений ученых и инженеров нашей страны. К их числу принадлежит и Николай Степанович Лидоренко, создавший Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока (ВНИИТ) позднее преобразованный в НПО «Квант» и руководивший им более 30 лет.

25 000 сотрудников предприятия занимались созданием автономных источников тока для изделий военного, гражданского и двойного назначения, без которых не появились бы новые типы вооружений, и наша страна не оказалась бы пионером в освоении космоса.

Особо следует отметить ту сторону личности и таланта Николая Степановича, которая относится к организации производства, связи науки, производства, образования, отношения к сотрудникам, молодым специалистам.

Николай Степанович, по многочисленным воспоминаниям сотрудников «Кванта», относился к специалистам очень внимательно, принимая живое участие в решение их проблем. Он находил талантливых молодых инженеров и приглашал работать, доверяя им решать серьёзные задачи, создавал творческую атмосферу, сопутствовал их профессиональному и карьерному росту. Так, в лучшие годы ВНИИТа диссертационный совет на предприятии во главе с председателем Н.С. Лидоренко, принимал к защите по четыре работы в месяц, причем Николай Степанович лично был знаком со всеми соискателями и их работами. Лидоренко организовал работу базовой кафедры молекулярной электроники Московского Физико-технического института, долгие годы был заведующим этой кафедры и преподавателем. На предприятии проходили профильные семинары, регулярно проводились конференции, в которых принимал участие и Николай Степанович. Так на деле осуществлялась тесная связь академической и прикладной науки и образования. В этом смысле ВНИИТ был образцом того, как должен быть устроен научно-производственный комплекс. Николай Степанович считал, что «...одной из действенных организационных форм, ... которая помогла бы обеспечить условия быстрого внедрения научных результатов, служит формирование структурных связей академической и вузовской науки с прикладной... В первом приближении основные этапы такой схемы следующие: физический эксперимент – создание лабораторной технологии – изготовление опытного образца – создание полужаводской технологии в опытном производстве НПО – разработка основ серийной технологии, включая автоматическую систему управления технологическим процессом, – участие в освоении новой техники на промышленном предприятии... Однако это может быть осуществлено лишь при едином научном руководстве в объединённом научном комплексе... В настоящее время сдерживает развитие как отраслевой, вузовской, так и академической науки чрезмерная раздробленность сил». Для ускоренного использования в народном хозяйстве результатов фундаментальных исследований Лидоренко считал наиболее эффективной систему «институты Академии наук СССР – отраслевой институт – промышленное предприятие». Именно эта схема, осуществленная

Н.С. Лидоренко во ВНИИТе, позволила успешно решать задачи создания эффективных источников тока различного назначения.

Н.С. Лидоренко входил в совет Главных конструкторов, возглавляемый С.П. Королевым, где Николай Степанович являлся Главным конструктором космической энергетики. Это были люди со сходной судьбой, которые начали трудовой путь в должности техника или лаборанта, затем, благодаря успехам в учебе, были замечены и привлечены к выполнению ответственных заданий, где раскрывались их способности к научной и производственной деятельности, давали им возможность, в итоге, становиться главными конструкторами целого направления. Но, достигнув высоких постов и званий, руководя крупными предприятиями, они помогали молодым инженерам и ученым стремиться к профессиональному росту, поощряя их стремления найти наиболее эффективное применение их талантам.

Наверное, в наши дни господства менеджеров, неплохо было бы возродить советы главных конструкторов по направлениям промышленности из высококвалифицированных инженеров, способных к решению как текущих задач, так и внедрению новых, прогрессивных разработок, особенно в области технологий.

Сейчас в НИТУ «МИСиС» организуется так называемая «прикладная магистратура» и Инжиниринговый центр прототипирования высокой сложности, одной из задач которого является отбор и воспитание специалистов уровня главного конструктора. Также «МИСиС» совместно с НПП «Квант» и Правительством г. Москвы участвует в реализации образовательной инициативы «Будущее здесь» по организации «Инженерных классов в московской школе» призванных проводить раннюю профессиональную ориентацию школьников на технические и естественнонаучные специальности.

Большой заслугой Николая Степановича и его соратников является то, что они сумели совершить великие дела, даже в объективно сложных условиях послевоенной разрухи, холодной войны и мировой изоляции, дав прекрасный пример истинного служения Родине для последующих поколений.

А.А. Лебедев, ст. научн. сотрудник в «НПП «Квант» с 2009 г.

Е.В. Слыщенко, зам. нач. отдела в «НПП «Квант» с 2008 г.

Н.Т. Вагапова, ст. научн. сотрудник в «НПП «Квант» с 2013 г.

М.А. Генали, научн. сотрудник в «НПП «Квант» с 2013 г.

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «КВАНТ»

А.В. Некрасов, генеральный директор, к.э.н.

Предприятие входит в состав корпорации АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва.

Предприятие ведёт свою историю с 31 января 1919 года, когда на базе бывшей частной мастерской по инициативе Главного Военно-инженерного Управления Красной Армии была организована мастерская по производству гальванических элементов и батарей. В 1926 году мастерская была преобразована в Московский элементный завод. После окончания войны здесь был организован Всесоюзный научно-исследовательский элементно-электроугольный институт, которому было поручено создание энергосистем и источников электропитания для различных образцов военной и, в первую очередь, ракетной техники. В 1957 году предприятие получило название «Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока». В середине 1970-х годов ВНИИТ и его 16 филиалов, находившихся в различных союзных республиках, были объединены с заводом «Фотон» с образованием НПО «Квант», которое в 2007 году было преобразовано в ОАО «НПП «Квант», а в 2015 году – в АО «НПП «Квант».

С началом освоения космического пространства предприятие вышло на передовые позиции в отечественной технике, став головной организацией по разработке и производству энергосистем космических аппаратов. Запущенный 4 октября 1957 года первый искусственный спутник Земли был оснащён разработанным на предприятии блоком электропитания на основе серебряно-цинковых элементов. Дальнейшее развитие космонавтики потребовало создания качественно новых источников энергии, и уже третий спутник, выведенный на орбиту 15 мая 1958 года, был оснащён солнечными батареями разработки ВНИИТа. Система энергообеспечения, созданная на предприятии, находилась и на борту космического корабля «Восток», на котором 12 апреля 1961 года был осуществлен первый полёт человека в космос.

Продукция предприятия использовалась на орбитальных станциях серии «Салют», «Мир», МКС, автоматических межпланетных аппаратах и станциях серий «Венера», «Марс», «Фобос», а также на «Луноходах» и многочисленных космических аппаратах и ракетах-носителях. Всего предприятием разработано и изготовлено более 2 тысяч солнечных батарей для космических аппаратов

За достижения в области космической энергетики предприятие 17 июня 1961 года было награждено орденом Трудового Красного Знамени, а 8 февраля 1982 года — орденом Ленина.

2 сотрудника предприятия – Н.С. Лидоренко и С.П. Чижик — лауреаты Ленинской и Государственной премии, С.В. Рябиков и В.Д. Лурье — лауреаты Ленинской премии, 40 сотрудников — лауреаты Государственной премии.

Огромный вклад в становление и развитие предприятия внёс его генеральный директор с 1950 г. по 1987 г. выдающийся учёный, инженер и организатор Герой социалистического труда, лауреат Ленинской и Государственных премий, член-корреспондент РАН Николай Степанович Лидоренко, входивший в Совет главных

конструкторов под руководством С.П. Королёва. Н.С. Лидоренко фактически создал новую отрасль автономной энергетики на основе методов прямого преобразования различных видов энергии в электрическую. Было организовано промышленное производство электрохимических, фотоэлектрических, термоэлектрических и термоэмиссионных генераторов, которые до этого не выпускались в СССР. Помимо перечисленных направлений на предприятии проводились разработки и исследования в области медицинской техники, в частности, разработаны и внедрены мембранные оксигенаторы для аппаратов искусственного кровообращения и высокочувствительные измерительные устройства на основе чувствительных сенсоров. Среди многочисленных пионерских разработок, выполненных под руководством Николая Степановича, необходимо отметить следующие: создание солнечных батарей космического назначения, разработка и успешные натурные испытания мощной энергоустановки с водородно-кислородными электрохимическими генераторами для подводной лодки, комплексные исследования новых высокоэффективных термоэлектрических материалов и конструкций термоэлектрических генераторов, создание накопителя энергии на новом физическом принципе – молекулярного конденсатора.

В конце 1970-х - начале 1980-х годов «империя Лидоренко» насчитывала до 50 тысяч человек, её филиалы находились в различных союзных республиках. Отдельные направления разработок возглавляли специалисты мирового уровня. Николай Степанович постоянно уделял внимание подготовке молодых специалистов, много лет руководил базовой кафедрой «Преобразователи энергии и информации» МФТИ.

Сегодня коллектив АО «НПП «Квант» продолжает вносить свой вклад в космические и энергетические программы страны. На предприятии разрабатываются и производятся:

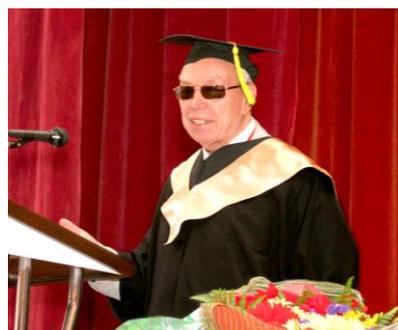
- солнечные элементы и батареи космического применения,
- автономные фотоэлектрические энергосистемы для наземных электростанций,
- серебряно-цинковые аккумуляторы и батареи, в том числе сильноточные, космического и морского назначения,
- химические источники тока одноразового и многократного использования различного типа с длительным сроком хранения и быстрым приведением в действие,
- термоэлектрические кондиционеры для железнодорожного транспорта и метрополитена,
- комбинированные системы автономного электропитания различного назначения,
- системы автономного питания и электропривода для транспортных устройств.

Производство оснащено современным технологическим оборудованием и обеспечивает полный цикл изготовления физических и химических источников тока. Научно-исследовательская база включает растровую электронную микроскопию, микрорентгеновский анализ, вторичную ионную масс-спектрографию, фотокатодозлектролюминесцентный анализ, спектрометрию, фотометрию и эталонирование солнечных элементов, импедансометрию. Предприятие имеет аттестат аккредитации испытательного центра, оснащённого современным испытательным оборудованием фирмы TIRA, и может проводить климатические, механические испытания, а также испытания на воздействие пониженного и повышенного атмосферного давления и герметичность.

Специалистами предприятия получено большое количество авторских свидетельств и патентов, в том числе международных. Результаты исследований и разработок опубликованы в журналах Академии Наук. «Гелиотехника», «Электротехника», «Электрохимия», «Радиотехника и электротехника» и др. Периодическое издание «Автономная энергетика: технический прогресс и экономика» является печатным органом НПП «Квант» с 1990 года. На страницах журнала освещаются научно-технические вопросы развития космической и наземной фотоэнергетики, химических источников тока,

термоэлектричества, экономики. К 90-летию предприятия в январе 2009 года было выпущено документально-публицистическое издание «Квант»: Энергия победы. М: издательство «МАҚД», 2009. - 184 стр. Книга является кратким иллюстрированным обзором деятельности уникального предприятия, отражающим основные результаты научно-технических исследований и разработок, обеспечивших решение приоритетных государственных задач на мировом уровне.

Н.С. ЛИДОРЕНКО





ОТКРЫТИЕ Н.С. ЛИДОРЕНКО

Диплом №41

ЯВЛЕНИЕ ГИПЕРПРОНИЦАЕМОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМЕ ЖИДКИХ, ТВЕРДЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СРЕДИНА ГРАНИЦЕ ИХ СОПРЯЖЕНИЙ

Раздел физические науки	Авторы Лидоренко Н.С. академик	Ключевые слова гиперпроницаемость, макроскопическая структура, среды	электромагнитное поле, проводники, нелинейные
-------------------------------	--------------------------------------	---	--

подробнее

Приоритет открытия

25 марта 1974 г.

Формула открытия

Экспериментально установлено неизвестное ранее явление гиперпроницаемости электромагнитного поля в плазме жидких, твердых и газообразных сред и на границе их сопряжений, заключающееся в том, что при изменении макроскопической структуры проводников, в сочетании с введением структуры атомных примесей, формируются нелинейные среды обеспечивающие аномальный (ускорение или замедление) перенос заряда (гиперпроницаемость) электромагнитного поля.

Литература

- 1 Заявка на открытие № А-051 от 25 марта 1996 г. (Ассоц. авторов научн. открытий).
 - 2 Лидоренко Н.С. Аномальная электрическая емкость и экспериментальные модели гиперпроводимости. ДАН, 1974 г. 216, №6.
 - 3 Лидоренко Н.С, Нагаев Э.Л. "Химический" механизм фазового перехода изолятор-металл. Физика твердого тела, 1960, т. 22, вып. 2.
-

© РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК, 2009-2010.
ВСЕ ПРАВА ЗАЩИЩЕНЫ

ПУБЛИКАЦИИ Н.С. ЛИДОРЕНКО

(Директор НПП «КВАНТ», доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН)

НОВЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Новые способы получения электрической энергии еще не вышли на дорогу большой энергетики, они развиваются в ряде технически развитых стран в связи с потребностью обеспечения электроэнергией автоматизированных нестационарных устройств (так называемая автономная энергетика). Однако уже сейчас часть направлений автономной энергетики (использование солнечной энергии; циклы непосредственного преобразования природного и некоторых видов синтезированного химического топлива) имеет перспективу и для целей большой энергетики.

Несмотря на скромные размеры единичных образцов, количество изготавливаемых ежегодно в мире автономных электрогенерирующих устройств огромно; оно исчисляется миллиардами экземпляров и их общая мощность существенно превосходит установленную электрическую мощность всех стационарных электростанций вместе взятых. Автономная энергетика начинается от детских электрифицированных игрушек, переносных радиоприемников, телевизоров, магнитофонов, многообразия конструкций малых передвижных электростанций и кончается энергоснабжением космических кораблей, межпланетных космических станций, автоматизированных систем для сбора информации в межпланетном пространстве, воздушном и водном океанах и мантии Земли, современных авиационных, корабельных и других транспортных средств, включая электромобили, луноход и т. п. (рис. 1 - 3).

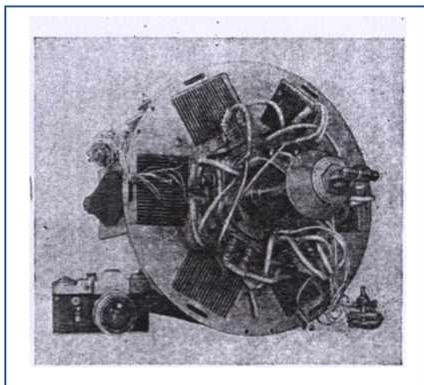


Рис. 1. Термоэлектродвигатель для питания аппаратуры радиорелейной линии связи и станций катодной защиты газопроводов в труднодоступных районах страны.

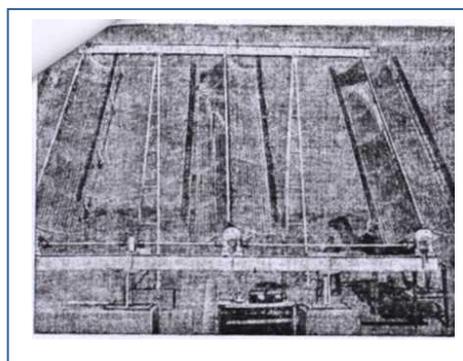


Рис. 2. Солнечная фотоэлектрическая установка мощностью 500 Вт, используемая для привода водоподъемного насоса.

Реализуемые в автономных электрогенерирующих устройствах схемы непосредственного преобразования энергии существенно отличаются от схем, используемых в стационарной энергетике (так называемых машинных схем преобразования энергии).

Схемы непосредственного преобразования энергии основаны на различных физических явлениях и эффектах, открытых в прошлом. Однако, несмотря на это, разработка конкретных устройств требует огромного экспериментального материала, базируется

на применении новейших разделов науки и техники (квантовой электродинамики, физики твердого тела, физики плазмы, теплофизики и термодинамики, химической кинетики и электрохимии и т. п.) и различных видов современной технологии (полупроводникового, плазменного, электрохимического или полимерного синтеза, вакуумных сублимационных и седиментационных процессов, порошковой металлургии и всех видов сварки, новейших методов сопряжения конструктивных узлов, деталей и элементов, часто обладающих несовместимостью параметров и т. п.).

Автономные электрогенерирующие устройства. Автономными называются компактные устройства, способные преобразовать в электрическую различные виды энергии: тепловую и механическую, химическую и электромагнитную, энергию ядерного распада и радиационного излучения.

По виду преобразуемой энергии автономные источники тока принято разделять на два типа: химические и физические. Химические источники генерируют электрический ток за счет энергии окислительно-восстановительных реакций химических реагентов (окислителя и горючего), содержащихся в их конструкции. К химическим источникам тока относятся: первичные источники тока (гальванические элементы и батареи), вторичные источники тока (аккумуляторы и аккумуляторные батареи), резервные источники тока (ампульные батареи, водо-, газо- и теплоактивируемые батареи) и, наконец, созданные в последние годы электрохимические генераторы.

Термогенераторы, термоэмиссионные генераторы, фотоэлектрические батареи, атомные батареи, электрогазодинамические, электростатические и другие подобные генераторы относятся к физическим источникам тока.

Несмотря на наличие общей цели, объединяющей все упомянутые схемы преобразования — цели получения электрической энергии, как было сказано, на сегодня не существует общей теории, связывающей все виды преобразования энергии, как не существует и прогнозирующей теории по каждому из видов непосредственного преобразования. Под прогнозирующей теорией нами понимаются такие методы количественной обработки исходных теоретических коэффициентов, постоянных или математических уравнений, которые привели бы к построению конкретной модели электрического генератора, например, как это сегодня обеспечивается уравнениями классической электродинамики при построении электрических машин, трансформаторов, и т. п., не требуя при этом в огромных масштабах дополнительных поисковых исследований, выявления новых экспериментальных закономерностей и разработки новых математических методов.

Известно, что традиционная электротехника со всеми ее практическими приложениями опирается на макроскопическую электродинамику, исследующую электронные взаимодействия в изотропных средах, электрические свойства которых не зависят от направления распространения электромагнитного поля (чистые металлы и диэлектрики, разреженные газы).

Макроскопическая электродинамика, являющаяся основой классической электротехники, как правило, не учитывает атомной структуры вещества, межмолекулярных связей, дефектов структуры и т.п.

На основе использования в основном законов классической электродинамики до последнего периода и строилось все многообразие технических применений электротехники, в том числе и генераторов электрической энергии.

Однако классическая электродинамика не может быть использована при создании устройств непосредственного преобразования энергии.

Полупроводниковая электроника, исследующая закономерности переноса электрона и его поля в электрически неоднородных твердых телах с анизотропией по диэлектрическим (ϵ) и магнитным (μ) свойствам подлинно революционизировала многие отрасли техники и явилась основой для создания термогенераторов и фотоэлектрических батарей.

Термоэлектрический метод преобразования. Твердое тело в полупроводниковой электронике используется как матрица для локализации вносимых средствами полупроводниковой

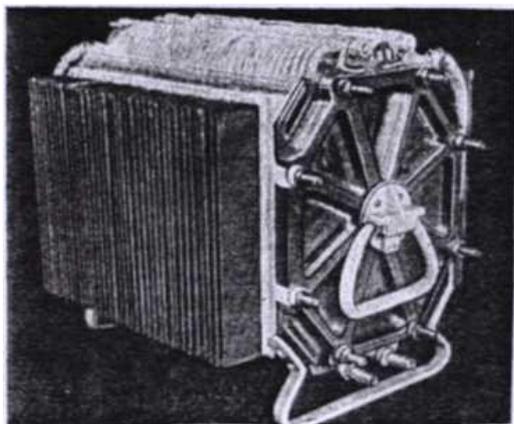


Рис. 3. Модуль электрохимического генератора с ионообменной мембраной.

технологии искажений в исходную электронную структуру его кристаллической решетки. Задаваемое параметрами технологии искажение исходной электронейтральности или ранее существовавшего закона распределения электрических зарядов, приводит к новому (желаемому) закону изменения энергетического спектра электронов в синтезируемой электрической схеме.

Многообразие вариантов применения полупроводников в современной технике вызвано возможностью практического использования многообразия проявления свойств электрона в электрически неоднородной анизотропной среде.

Развитию традиционной полупроводниковой техники, например, устройств преобразования информации, способствовало наличие теории — зонная модель и квантово-механический подход. Это можно было бы объяснить тем, что в конкретных схемах устройств преобразования информации имеется возможность использования внешних электрических полей в единицы или десятки электрон-вольт. Однако при термоэлектрическом преобразовании генерируются электрические поля, пропорциональные приложенному градиенту температур. Они составляют всего несколько тысячных долей вольта на градус и на единичном термоэлементе можно набрать не более десятых долей вольта. Использование полупроводниковых структур с энергетическими барьерами, соизмеримыми или превышающими эти величины, приводит к низким значениям к.п.д.

Исследователям приходится создавать системы с так называемыми полупроводниками с размытой запрещенной зоной проводимости, содержащей низкопотенциальные энергетические барьеры, величина которых соизмерима с энергией носителей. Это может быть достигнуто пока лишь на электронных переходах двух, трех-, четырех и более атомных структур. Одноэлектронная модель, используемая в современной квантовой механике, не является достаточной для теоретического описания подобных сложных ситуаций электронного обмена. Поэтому эксперимент здесь является преобладающим при определении оптимальных путей решения проблемы.

По-видимому, следует признать, что в исследуемых процессах непосредственного преобразования мы сталкиваемся с более сложными моделями электронного обмена и электронного переноса, чем это может быть на сегодня прогнозируемо современной теорией.

Проанализируем некоторые пути оптимизации термоэлектрического преобразования. В упрощенной интерпретации физический смысл оптимизации термоэлектричества состоит в разработке искусственных (технологических) методов усиления «конкуренции» между тепловым и электромагнитным потоками в полупроводниковых полуветвях термоэлемента.

Советскими исследователями в последние годы разработана теория и методы внесения инертных добавок в ветви термоэлементов, эффективно рассеивающих фононы (кванты теплового потока), но не оказывающих существенного влияния на кинетику распространения электромагнитного поля. Следует отметить, что эта теория не вытекала из одноэлектронной квантовомеханической модели. Получены также нелинейные фононэлектронные эффекты в тонких пленках, существенно улучшающие коэффициент термоэлектрической добротности и термо-э.д.с. Исследуются эффекты, полученные в размерно-квантовых пленках системы типа: металл – диэлектрик – металл. Если уровень Ферми металла полуветви, имеющей наиболее высокую температуру, отличается от первого незанятого уровня на величину kT , то туннелирующий под действием градиента температур электрон имеет условия переноса на новый дискретный уровень.

Приведенные примеры новых методов синтеза потенциальных функций энергетических барьеров в анизотропных твердых средах, какими являются полупроводники, имеют перспективу существенного повышения коэффициента добротности термоэлектрических и электронно-охлаждающих материалов и конструкций с их использованием.

Преобразование солнечной энергии. Человечество еще и сегодня пользуется электроэнергией, полученной от Солнца через фотосинтез: органические топливные продукты (нефть и уголь) – тепловые машины – электрический генератор, с общим коэффициентом использования энергии Солнца около тысячной доли процента. С помощью достижений полупроводниковой техники удастся около 12 % энергии прямого солнечного излучения преобразовывать непосредственно в электрическую, что во много тысяч раз превышает упомянутую природную схему преобразования. Это достижение следует признать значительным, если вспомнить, что в других областях, например, в сфере преобразования информации, мы приблизительно на столько же порядков отстаем от возможных схем, диктуемых нам природой.

Научные и экономические проблемы, связанные с разработкой путей дальнейшего повышения коэффициента преобразования солнечной энергии, теоретический предел которого еще далеко не достигнут, требует как усиления исследования по новым схемам преобразования, так и разработки экономически целесообразных средств концентрации солнечного излучения.

Рассмотрим некоторые из еще нерешенных вопросов. Дальнейшее повышение коэффициента преобразования на кремниевых фотобатареях связано с поиском путей снижения коммутационных потерь в фотоэлементах и фотобатареях и потерь при рекомбинации носителей на дефектах структуры, что требует усовершенствования существующей технологии элементов, их конструкции и конструкции батарей.

Большой вклад в оптимизацию использования солнечной энергии может быть внесен средствами термостабилизации солнечных антенн. Известна высокая зависимость к.п.д. кремниевых фотоэлементов от температуры. Сегодня термостатирование осуществляется сооружением просветляющих покрытий как с лицевой, так и с тыльной стороны фотоэлементов, а также покрытиями, обеспечивающими радиационную стойкость сооружения. Эти еще не решенные до конца актуальные научно-технические задачи требуют теоретической и инженерной оптимизации.

Трудной экономической проблемой являются рациональные методы получения солнечных батарей из тонкопленочного кремния, что существенно снизило бы расход этого еще дорогостоящего материала на 1 *kWm* генерируемой мощности.

Актуальным является повышение коэффициента использования солнечной энергии на высокотемпературных фотоэлементах. По-видимому, СССР впервые в мировой практике использовал высокотемпературные фотоэлементы из арсенида или фосфида галлия при зондировании Венеры в 1967, 1969 и 1971 гг. и на луноходе в 1970-1972 гг., где температура антенны достигала + 140°C. Информация об этом опубликована в прессе. Дальнейший путь повышения коэффициента использования энергии в этих системах состоит в рациональных инженерных решениях, прогнозируемых теорией оптимальных схем, использовании двойной ширины запрещенной зоны в структурах (гетеропереходы). Коэффициент полезного действия таких элементов превышает 15% от энергии солнечного потока.

Создание оптимальных гетероструктур, по нашему мнению, является актуальной проблемой теории и технологии фотоэлектрического преобразования.

Широкие экономические перспективы использования солнечной энергии, в том числе в большой (наземной) энергетике, содержатся в фотоэлементах пленочного типа.

Непосредственное накопление электрических зарядов под воздействием фотонов в пленочных элементах происходит в узкой зоне электроннодырочного перехода полупроводникового элемента, занимающего толщину нескольких единиц микрон. Расход дорогостоящего полупроводникового материала на построение преобразующего элемента при освоении пленочной технологии снижается в десятки раз.

Аналогичные исследования проводятся и во Франции, США и других странах.

Пленки удастся получить пока на двойных и тройных полупроводниковых структурах

типа CdS, CdTe и др. Средний к.п.д. их существенно ниже, чем у кремниевых элементов и достигает 6 - 7%.

Проблемами являются обеспечение на пленочных батареях стабильного ресурса в течение многих тысяч часов, что, например, для кремния, уже давно решено. Эта стабильность важна особенно для наземных условий эксплуатации.

Оригинальным советским достижением в области фотоэлектричества является устройство «фотовольт». Его конструкция и технология запатентована в США, Японии и других странах. «Фотовольт» – устройство, объединяющее множество дырочно-электронных переходов, связанных общей базой, и обладающее аддитивными свойствами последовательных цепей. «Фотовольт» способен оптимально преобразовывать концентрированное (особенно когерентное) излучение с высокой добротностью. Это его свойство имеет прямое отношение к перспективам лазерной связи и лазерной энергетики, а также к возможному использованию энергии термоядерного синтеза, которая, если ее удастся осуществить, будет связана с преобразованием именно лучистой энергии различного спектрального диапазона.

Принципиально «Фотовольт» может конкурировать и с термоэмиссионным преобразованием. Энергию атомного реактора можно использовать не только в виде тепла, как это делается во всем мире сегодня, но и «высвечивать» фотонами, энергия которых через «фотовольт» может быть преобразована в электрическую.

Электрохимические генераторы. Получение электрической энергии непосредственно из химической реакции окисления природного или синтезированного топлива, как правило, осуществляется при постоянной температуре, в связи с чем соответствующие ограничения в к.п.д. циклом Карно не вносятся. В теоретическом плане эта задача куда более сложная, чем рассмотренные модели фотоэлектрического или термоэлектрического преобразования.

Аналогию можно провести, если попробовать мысленно разделить дырочно-электронный переход, например, фотоэлемента, по его границе, раздвинув границу дырочно-электронного перехода так, чтобы заполнить ее раствором ионов. Модель имела бы сходство с плазменным термоэмиссионным диодом, в котором также имеются катод, анод и плазма, размещенная в межэлектродном зазоре.

Прогноз кинетики электронного переноса в такой системе не поддается количественной интерпретации. Задача несколько упрощается, когда катод и анод состоят из проводящих или полупроводящих материалов, как это имеет место в традиционных химических источниках тока, хотя кинетика электронного обмена в аккумуляторах или гальванических элементах также не прогнозируется современной теорией.

Однако в электрохимических генераторах возникают новые проблемы: отвода электрических зарядов от топлива и окислителя при условии, когда оба они являются газообразными или жидкими, диэлектриками, как это имеет место, например, в водородно-кислородном электрохимическом генераторе. Исследуемая квантовой механикой одноэлектронная модель здесь еще менее пригодна для построения прогнозирующей теории, чем при физических методах преобразования. Схематичный анализ аспектов проблемы может быть проиллюстрирован сопоставлением двух методов использования энергии химической реакции.

Функциональная схема двигателя, обеспечивающего тягу за счет кинетической энергии продуктов сгорания и работающего на водороде и кислороде (т. е. использующего ту же химическую реакцию, что в электрохимическом генераторе), сводится к управлению подачей исходных продуктов (окислителя и горючего) в зону реакции, обеспечению конструктивными средствами и регулируемых обратной связью оптимальных расходов компонент (гидродинамика) и оптимального их удаления (газовая динамика).

В электрохимическом генераторе (ЭХГ), помимо газодинамических (подача газовых компонент) и гидравлических (отвод продуктов реакции) трактов, действует тракт отвода

электромагнитного поля. Релаксация электромагнитного поля, связанная с переменным графиком нагрузки, порождает локальное тепловыделение, затрудняющее поддержание в системе требующейся изотермичности.

Нелинейные эффекты в этих процессах вызывают необратимые потери и согласно уравнению Нернста пропорциональны логарифму градиентов термофизических или электрофизических постоянных. До сих пор не существует надежного метода расчета всей энергетической системы в целом.

С точки зрения газо- и гидродинамики мы имеем дело со сложными и малоизученными течениями в узких щелях и капиллярах при малых числах Рейнольдса. С точки зрения общих моделей переноса энергии и вещества речь идет о сложной многослойной, многокомпонентной системе, в которой нельзя пренебрегать эффектами второго порядка: зависимостью коэффициентов переноса от концентраций, неравенствами между активностями и концентрациями компонентов, наличием эффектов термодиффузии, не изотермичностью системы как в молекулярно-кинетическом аспекте, так и на электронном уровне.

Можно проследить следующие современные тенденции в исследованных ЭХГ:

- использование имеющихся достижений по тонкослойным активированным электродам для построения на их основе электрохимических генераторов в целях увеличения ресурса и соответственно повышения надежности, весовой оптимизации и сохранения хороших вольт-амперной характеристики и к.п.д.;
- концентрация усилий по высокотемпературным электрохимическим генераторам, использующим природное топливо;
- расширение исследований по неплатиновым катализаторам;
- расширение исследований по регенеративным электрохимическим циклам;
- разработка общей теории катализа электрохимических реакций и теории переноса электрона в растворе, имеющих непосредственное отношение к построению схем ЭХГ;
- расширение исследований по новым высокоактивным электрохимическим системам и др.

В настоящее время есть варианты описания электродных процессов. С точки зрения энергетического аспекта проблемы химическую реакцию между окислителем и горючим в электрогенерирующих устройствах можно рассматривать как электронный процесс. Результатом химической реакции является переток электронов внутри молекулярных структур с уровней, где они обладали большим запасом энергии (уровни энергий электронов, расположенных на валентных орбитах исходных продуктов реакции), на уровни с меньшим запасом энергии (валентные электронные уровни конечных продуктов реакции). Таким образом, при химических реакциях образуются новые молекулярные структуры (продукты реакции) из ранее существовавших молекулярных структур (реагирующих веществ).

Если реакция неорганизованная (с точки зрения коммутации и отведения электрических зарядов), между продуктами происходит хаотический обмен электронами. Выделяющаяся энергия за счет соударений между молекулами расходуется на повышение кинетической энергии реагирующих молекул – конечных продуктов реакции (тепловой процесс), а также рассеивается в виде излучения.

Проблемой теоретических, конструкторских и технологических исследований является обеспечение рационального протекания химического процесса через такие промежуточные акты реакции (например, удовлетворяющие скорости токосяема или кинетике подвода и отвода продуктов реакции, предварительной ионизации или оптимальным условиям катализа и др.), которые могли бы привести к минимальным потерям энергии при перетоках электронов в реальной конструкции генератора перед выводом их во внешнюю электрическую цепь.

Одной из актуальных проблем конструирования ЭХГ является обеспечение возможно более полного использования потенциала процесса, соответствующего свободной энергии химической реакции (приближение рабочего напряжения генератора к его э.д.с.). Величина свободной энергии при химических реакциях не превышает долей или единиц электрон-вольт. Малые градиенты, потенциала и приводят, как и в случае физических преобразователей (фото- и термоэлектричества), к затруднениям в быстрой разработке рациональных средств использования этой энергии.

На пути электронных переходов возникают энергетические барьеры; например, в случае твердотельных электродов это граница «твердая фаза — раствор», а также барьеры при переносе электрона через многослойные промежуточные среды и раствор. Электронные свойства обеих твердых фаз и их границ в процессе генерирования энергии при изменении нагрузки меняются по законам, не учитываемым современной теорией. Переток электрических зарядов (ионов) через систему, представляющую собой, как правило, многослойную среду, происходит при нестационарных условиях переноса энергии и вещества и часто сопровождается разрывами сплошности и соответствующими скачками коэффициентов переноса (при нелинейных граничных условиях).

Как было сказано, современная теория не охватывает решения всех аспектов рассматриваемой проблемы. Химическая термодинамика дает возможность теоретически оценить лишь запасы энергии в исходных продуктах и потенциал процесса.

Однако отсутствуют количественные методы, позволяющие рассчитывать рабочее напряжение источников тока, количественно предсказывать фактические расходные коэффициенты топлива и окислителя, к.п.д. реакции или прогнозировать вероятность ее протекания. Поэтому большое количество выгодных с точки зрения термодинамики исходных химических реакций до сих пор еще остаются нереализованными.

Достижения последних трех лет, выражающиеся в создании в США и в СССР первых промышленных образцов водородно-кислородных генераторов, по нашему мнению, могут быть квалифицированы лишь как введение в проблему непосредственного преобразования химической энергии природных и синтезированных видов топлива в электрическую.

Вывод. Современные аспекты исследований различных принципов генерирования электромагнитного поля справедливо относятся к новым актуальным проблемам. Сама проблема составляет новый раздел электротехники, которая с учетом изложенного и может быть определена как наука и техника, базирующаяся на многообразии свойств электрона и его поля, распространяющихся при определенных условиях, в различных средах.

Журнал Электричество, 6.4.1972, УДК 621.3.016.4.620.91

СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВИДОВ ЭНЕРГИИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока является крупным центром отрасли, проводящим комплексные исследования в области различных схем и методов непосредственного преобразования видов энергии в электрическую.

Сфера деятельности ученых охватывает исследования электрической природы материи и построение на основе результатов этих исследований новых электрогенерирующих и информационных устройств, реализующих принципы непосредственного преобразования видов энергии в электрическую.

Для указанной цели синтезируются новые проводящие и полупроводниковые структуры на базе твердых, жидких и газообразных сред, осуществляются конструкторские разработки новых источников энергии и преобразователей информации, создается технология их массового производства, разрабатываются средства управления технологическими процессами, в том числе автоматизированные (АСУ ТП).

Результаты исследований в виде многочисленных конструкций электрогенерирующих устройств и новых средств автоматики широко используются в народном хозяйстве нашей страны и стран социалистического содружества.

За годы девятой и первый год десятой пятилеток научными подразделениями института синтезировано более 20 новых электрогенерирующих структур, свыше 10 полимерных структур органического и неорганического происхождения с заданными электрическими свойствами, в том числе радиационно и химически привитые полимеры, твердые электролиты сложных неорганических комплексов, ответственных за селективность транспорта или рекомбинацию зарядов на границе раздела фаз, новые электроизоляционные и другие конструкционные материалы, оптимизирующие проектные решения. В опытное и серийное производство внедрено более ста типов электрогенерирующих устройств важнейшего народнохозяйственного значения с высокими технико-экономическими показателями и более 250 единиц нестандартного технологического оборудования, средств механизации и автоматизации.

подавляющее большинство проведенных исследований находится на уровне или превышает результаты научных достижений отечественной и зарубежной техники в области непосредственного преобразования видов энергии в электрическую. За прошедшую пятилетку и первый год десятой пятилетки учеными института получены более 100 патентов зарубежных стран, около 400 изобретений и большое число рационализаторских предложений внедрено в различные отрасли народного хозяйства. На основе новейших достижений современной теории металлов и диэлектриков, физики плазмы, физики полупроводников, физической химии и электрохимии, классической и квантовой электродинамики, перспектив сведения схемными или технологическими приемами ряда вариаций пространственного распределения заряда до уровня, приближающегося к субмолекулярному или молекулярному, за последние годы достигнуты определенные успехи в решении проблем преобразования энергии, создании систем автономной энергетики.

1. Фотоэлектричество. Разработано и изготовлено большое количество энергоустановок прямого преобразования солнечной энергии в электрическую для различных областей применения.

Разработаны гетерогенные фотопреобразователи (ФП) на базе арсенида галлия с преобладающим механизмом прямых оптических переходов. Это привело к возможности повышения к.п.д. прямого преобразования солнечной энергии в электрическую до 20%.

Созданы высоковольтные фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии «фотовольт», разработанные на базе кремния. Максимальное напряжение с 1 см² рабочей площади у них до 100 В, удельная мощность при работе с концентратором солнечного излучения достигает 10 Вт/см². Эти исследования перспективны для создания достаточно экономичных солнечных электростанций для наземной эксплуатации.

Разработаны тонкопленочные фотопреобразователи на основе соединений $A^{II}-B^{IV}$ с гетеропереходами. При к.п.д. около 6 % отношение мощности к массе и радиационная стойкость у них в 10-15 раз выше, чем у фотопреобразователей на основе кремния.

Разработан новый способ преобразования энергии солнечного излучения, основанный на объемном фотовольтаическом эффекте в полупроводниках с варизонной структурой. Предельный теоретический к.п.д. такой конструкции в несколько раз выше, чем у обычных ФП, и может достичь значения к.п.д. цикла Карно.

Завершены испытания на светопогодное старение элементов в герметизированных и вакуумированных трубках тонкопленочных ФП, установившие возможность непрерывной работы их в любых районах СССР в течение 4 - 5 лет. Это позволяет внедрить в народное хозяйство экономичные и надежные источники тока для применения на речных и морских навигационных знаках, для защиты трубо- и нефтепроводов и др.

Разработаны коаксиальные вакуумированные гелионагреватели с многослойными селективными покрытиями. Исследование модели такого гелионагревателя показало, что они обладают высоким к.п.д. (около 50%) и могут выпускаться в промышленном масштабе. Использование таких нагревателей позволит получать в больших количествах горячую воду при нагреве от Солнца, что значительно сэкономит топливо и электроэнергию.

Расширилось использование фотоэлектрических кремниевых преобразователей в средствах автоматики и приборах управления. Созданы фотоавтоматы для управления светосигнальными навигационными знаками судоходной обстановки с проблесковой характеристикой огня (рис. 1), прошедшие испытания на канале имени Москвы. В течение ряда лет они не имели отказов, показали высокую эксплуатационную надежность и не требовали никакого обслуживания.



Рис. 1. Автономный фотоэлектрический светосигнальный навигационный прибор.

Современное состояние разработок устройств наземной солнечной энергетики характеризуется проверкой в опытной эксплуатации десятков наземных солнечных электроустановок с к.п.д. 10% и прогнозируемым сроком службы 25 лет. При освещенности 1 кВт/м^2 число часов работы солнечной электростанции (СЭС) за год составит: за Полярным кругом – 750 ч, в Москве – 1000 ч, в Ташкенте – 1600 ч. За 25 лет эксплуатации СЭС соответственно выработает примерно 25000 кВт/ч. Перспективно применение СЭС даже в северных широтах, где непрерывное освещение в летние месяцы позволяет работать в автономном режиме с минимальным аккумулярованием энергии, а низкие температуры увеличивают э.д.с. и мощность СЭС с градиентом 0,4 и 0,2% на градус. В остальных районах СЭС могут работать также и на центральную энергосистему в комплекте с гидроаккумулялирующими станциями или на потребителя, допускающего прерывистое энергоснабжение (подъем воды, опреснение и т. д.).

Разработана модель производства солнечных элементов, обеспечивающая 100-кратное снижение стоимости 1 кВт мощности СЭС за счет снижения стоимости кремния в 10 раз, расхода кремния – в два раза, механизации и автоматизации процессов изготовления элементов и сборки СЭС.

Созданы фотопреобразователи концентрированного солнечного излучения и показана принципиальная возможность снижения установленной стоимости 1 кВт мощности СЭС с концентраторами в 100 - 1000 раз за счет экономии полупроводника и одновременного получения тепловой и электрической энергии. Последними теоретическими работами показано, что не существует принципиальных ограничений

увеличения к.п.д. СЭС до величины, соизмеримой с к.п.д. тепловых двигателей.

Особые достижения ожидаются от развиваемой теории фотоэлектрического метода преобразования и создания на основе теории новых полупроводниковых материалов и конструкций солнечных элементов.

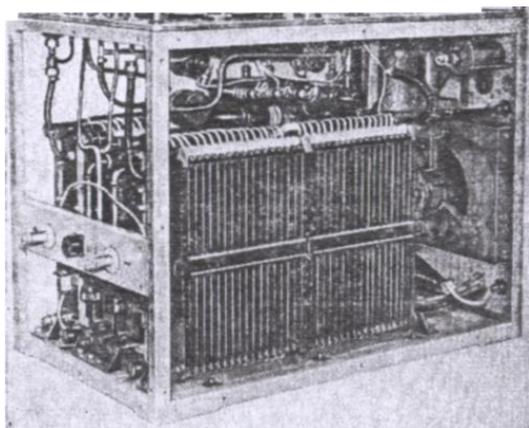


Рис. 2. Водородно-воздушный электрохимический генератор для электромобиля.

2. **Термоэлектричество.** Созданы и переданы в серийное производство термогенераторы мощностью от единиц ватт до 1 кВт, работающие от сгорания газообразного и жидкого топлива. Шестилетняя безаварийная эксплуатация без обслуживания таких генераторов на газопроводах показала их высокую надежность. Предполагается, что ресурс этих генераторов может быть удвоен.

Разработан ряд термобатарей и термоэлектрических модулей для различных рабочих интервалов температур от комнатной до 1000°C и на различные выходные параметры – от микроватт до сотен Вт.

Созданы термостатирующие системы, работающие на принципе эффекта Пельтье и имеющие полезный объем от долей литра (0,2 - 0,7 л) до нескольких кубометров, температуры термостатирования в пределах $+40^{\circ}\div -50^{\circ}\text{C}$. Они применяются в медицине для трансплантации, консервирования крови, физиологических растворов и биологических объектов. Разработаны также кондиционеры и холодильники для бытовых целей.

Разработаны термогенераторы на геотермальных источниках (водяной пар, горячая вода) мощностью 50 - 60 Вт при температуре горячего теплоносителя $100 - 110^{\circ}\text{C}$. Генераторы испытывались на Камчатке в геотермальных скважинах в полевых условиях.

Прошел испытания в полевых условиях макет солнечного термогенератора на трубчатых модулях. В комплекте с солнечным концентратором получена электрическая мощность 75 Вт при плотности радиации $800 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Созданы макетные образцы термогенераторов для питания метеорологических станций и опытные образцы для питания средств автоматики и телемеханики магистральных газопроводов. Эти генераторы успешно отработаны на стендах и могут быть рекомендованы к серийному производству. При мощности 7 - 12 Вт на них получен рекордно низкий удельный расход топлива: 2,8 - 3,0 г/(Вт·ч).

Одной из основных задач термоэлектрического направления остается дальнейшее повышение добротности ветвей термоэлементов и к.п.д. преобразования тепла в электрическую энергию.

С этой целью будут развернуты работы по созданию сложных многокомпонентных полупроводниковых систем, в том числе искусственно анизотропных.

Для расширения применения термоэлектричества в народном хозяйстве будут вестись поиски более дешевых полупроводников, не содержащих таких дефицитных компонент, как теллур и германий.

Путем улучшения способа теплопередачи в новых разработках термогенераторов и за счет применения полупроводников с более высокой добротностью расход топлива на единицу получаемой мощности будет доведен до $2,5 \text{ г}/(\text{Вт}\cdot\text{ч})$.

Будет увеличен серийный выпуск термогенераторов с одновременным отбором тепла для термостабилизации контейнеров с аппаратурой комплексов ретрансляции и технологической связи вдоль газопроводов.

Выпуск термогенераторов для станций катодной защиты газопроводов будет увеличен, а основной комплектующей единицей станет термогенератор мощностью 200 Вт,

в котором применены каскадные термобатареи с увеличенным в 1,5 раза к.п.д.

Разрабатывается модуль-генератор, преобразующий солнечную энергию в электрическую и отличающийся приемлемой для серийного выпуска установочной стоимостью единицы электроэнергии.

Будет создан ряд новых термоэлектрических приборов, использующих эффект Пельтье, и освоен серийный выпуск термостатов типа «Термоконт», «Биотерм» и медицинских криоэкстракторов.

На основе пленочной технологии создается ряд высокочувствительных приемников излучения, применяющихся в системах сбора и обработки информации. По стабильности характеристик и чувствительности эти устройства превосходят все существующие типы.

3. **Системы прямого получения электричества из энергии химических превращений.** Химические источники тока в количественном отношении занимают ведущее место, став продукцией массового потребления. Их общее количество в мировом производстве составляет миллиарды экземпляров в год.

Ртутно-цинковые (РЦ) элементы и батареи из них широко применяются в малогабаритных радиоприемниках, переносных магнитофонах, киноаппаратах, измерительных приборах, в телеметрии, медицине, наручных электрочасах и т. д. Дальнейшее усовершенствование РЦ-источников проводится в направлении применения новых конструктивных и смешанных (несколько компонентов) активных материалов в качестве катодов, которые позволяют повысить рабочее напряжение элементов и стабильность гарантируемых параметров.

Разработан ряд универсальных щелочных цинк-марганцевых источников тока массового применения, которые могут быть использованы как герметичные элементы, элементы воздушной деполяризации, элементы-аккумуляторы с гарантированными 25 циклами «разряд-заряд».

Эти элементы по эксплуатационным характеристикам превышают известные в мире элементы с соевым электролитом тех же типоразмеров в 3 - 5 раз.

Созданы солевые источники тока массовых серий, емкость которых на 30 - 0% выше, чем у существующих. Проведен цикл работ по созданию химических накопителей энергии, работающих в автономных, режимах разряда, буферных режимах, параллельно с каким-либо генератором электрической энергии.

Проводятся работы по перспективным электрохимическим системам, таким как серии источников тока с использованием лития, кальция на базе водных, органических электролитов и электролитов-расплавов и др. Среди работ этого направления наиболее новой и оригинальной является разработка электрохимических генераторов. Разработаны и изготовлены топливные элементы различной мощности от единиц до десятков тысяч ватт.

Электрохимические генераторы (ЭХГ) осуществляют непрерывное генерирование электроэнергии за счет энергии химических реагентов (газообразных или жидких), поступающих извне. В ЭХГ можно применять как синтезированные окислители и горючее (водород, хлор и др.), так и природное топливо. Наиболее перспективны генераторы, непосредственно преобразующие энергию природного топлива в электрическую. Удельная энергия энергетической установки с ЭХГ может достигать нескольких сотен ватт-часов на килограмм, что превышает характеристики традиционных химических источников тока.

Развитие этих источников тока обусловлено снижением массы, габаритов и в особенности стоимости, а также разработкой компактных систем хранения топлива. Решение этих проблем позволит использовать ЭХГ для многих областей техники.

Важнейшее преимущество ЭХГ в сравнении с химическими источниками – экономия материалов, в первую очередь металлов, в связи с тем, что в качестве рабочих компонентов в них используются газообразные продукты (водород, водородсодержащие топлива, кислород, воздух и т.п.). Расчеты показывают, что если для гальванических элементов

удельная материалоемкость составляет около 6000 г/(кВт·ч), а для аккумуляторов, в зависимости от возможного числа циклов и модификации 6 - 30 г/(кВт·ч), то для ЭХГ при достигнутом в настоящее время ресурсе 3000 ч она составит около 1 г/(кВт·ч).

Перспективным представляется использование ЭХГ на транспорте — электромобиль (рис. 2), в ряде областей народного хозяйства (например, энергоснабжение удаленных от линий электропередач объектов), в качестве источника энергии для буев, сигнальных устройств, подводных объектов и т. д. ЭХГ является одним из компонентов «водородной энергетики», где особенно заметным становится его высокий к.п.д.

4. Применение схем непосредственного преобразования в информационных элементах. Создание перспективной отраслевой базы автоматизации на современном уровне определяет успех развития электротехники и обеспечение высоких темпов повышения производительности труда. Оно развивается в двух основных направлениях: ускорение создания принципиально новых первичных приемников информации и разработка на новой основе современных систем сбора информации и управления микропроцессорами.

Научное и техническое содержание проблемы включает в себя:

- выяснение структуры основных технологических процессов, точек контроля и алгоритма электрических эквивалентов, достаточных для полного управления элементами технологии;
- разработку комплексного набора первичных приемников информации;
- разработку развитой системы мини-процессоров, позволяющих осуществлять эффективное соединение стандартной вычислительной техники с первичными приемниками информации и исполнительными механизмами;
- разработку стандартизованного ряда модульных блоков, обеспечивающий их взаимозаменяемость и соединение в единую систему сбора информации и управления.

Появление управляющих систем второго поколения, включающих качественно новые первичные приемники информации, базирующиеся на способах преобразования различных видов энергии в электрическую, и специализированные переходные процессоры и управляющие вычислительные машины, способно предельно увеличить возможность и степень автоматизации индустриальных процессов.

За последние годы в этом направлении достигнуты определенные успехи. Разработаны полупроводниковые и молекулярные детекторы, обеспечивающие точность измерений до 0,1%. Такие детекторы в сочетании со специализированными мини-процессорами позволяют создать системный комплекс для непрерывного анализа на месте (в цеху, заводской лаборатории, на конвейере) тонкой химической структуры самых различных материалов.

На базе разработанных мини-процессоров, соединенных со стандартной управляющей вычислительной техникой, заканчивается создание комплекса автоматизированных испытаний гальванических элементов. Внедрение первой очереди комплекса позволило поднять производительность труда в четыре раза, одновременно обеспечив повышение качества и надежности.

Разработана автоматизированная система сбора данных, наблюдения и управления широкого электротехнического назначения, в частности, для автоматизации производства некоторых массовых видов источников тока (щелочных, свинцовых и др.), автоматизированных испытаний электродвигателей, управления некоторыми технологическими процессами.

Разработаны многочисленные приемники для измерения с высокой точностью полей концентраций различных веществ, полей температур и тепловых потоков, высокочастотных и низкочастотных акустических полей, жидких, газообразных и двухфазных потоков и т.п.

Проводится работа по созданию набора (банка) специализированных мини-процессоров, что позволит решить задачу соединения приемников со стандартной

вычислительной техникой и использовать новые средства для автоматизации производства не только автономных электрогенерирующих устройств, но и другой массовой продукции электротехники.

Краткий обзор научно-технических достижений в области непосредственного преобразования различных видов энергии в электрическую показывает, что эти направления, с успехом развивающиеся в последние годы, имеют широкие перспективы в десятой пятилетке. Теория и практика схем непосредственного преобразования энергии применяются не только в системах автономной энергетики, но и проникают в различные смежные области науки и техники, в том числе в кибернетику и автоматику. На их основе создаются различные информационные и диагностические системы, медицинские приборы, средства управления и автоматики и т. д. Системы автономной энергетики, базирующиеся на нетрадиционных методах, начинают играть все более заметную роль и в большой энергетике, имея определенные перспективы в оптимальных областях ее применения.

В докладе Л. И. Брежнева на XXV съезде КПСС указывалось на необходимость сосредоточить внимание ученых на важнейших проблемах научно-технического и социального прогресса, от решения которых в наибольшей степени зависит успешное развитие экономики, культуры и самой науки. Изложенные здесь аспекты развития исследований на стыке наук открывают принципиально новые пути преобразования производительных сил отрасли. Эти возможности налагают на ученых огромную ответственность и ставят задачу разработки действенных мер по ускорению темпа исследований, повышению эффективности использования научного потенциала в народном хозяйстве страны.

Электротехника ЖО, 1977, УДК 621.35.001.1

ОБ УСКОРЕНИИ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В своей речи на XXV съезде КПСС президент Академии наук СССР академик А. П. Александров акцентировал внимание на методах повышения эффективности науки, назвав в их числе упрочение связей институтов Академии наук СССР с отраслевыми институтами и производством. Для ускоренного использования в народном хозяйстве результатов фундаментальных исследований именно трехзвенная система «институты Академии наук СССР – отраслевой институт – промышленное предприятие» – наиболее эффективна. А.П. Александров проиллюстрировал эту модель на примере развития в СССР атомной энергетики; подобные или близкие схемы взаимодействия позже были использованы при разработке космической программы и в ряде других областей.

Однако такая, казалось бы, естественная и оптимальная связь реализуется далеко не всюду, она требует специальных мероприятий на государственном уровне и обычными организационными средствами не решается.

Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока, которым я руковожу, на протяжении многих лет старается закрепить очевидные положительные традиции внедрения результатов своих работ в производство, используя упомянутую трехзвенную структуру. Институт (научное руководство осуществляет АН СССР) является крупнейшим научно-исследовательским центром, проводящим комплексные исследования в области различных схем и методов непосредственного преобразования различных видов энергии в электрическую, и несет ответственность за развитие этих разделов науки в СССР. У нас работают 24 доктора наук, 282 кандидата наук.

Являясь головным в промышленности, наш Институт старается сохранить все привилегии творческого содружества с ведущими институтами Академии наук СССР, вузами и другими научными учреждениями, что, по нашему глубокому убеждению, и определило высокие результаты деятельности коллектива в IX пятилетке. На протяжении 25 лет мы активно сотрудничаем с Физико-техническим институтом им. А.Ф. Иоффе, Физическим институтом им П.Н. Лебедева, институтами Высоких температур, Химической физики и Электрохимии, Metallургическим институтом им. А.А. Байкова, Институтом атомной энергии им. И.В. Курчатова, Институтом электросварки им. Б.О. Патона, Московским университетом им. М.В. Ломоносова, Физико-техническим и Инженерно-физическим институтами и т. д.

Сфера деятельности наших ученых охватывает исследования электрической природы материи и построение на основе результатов этих исследований новых электрогенерирующих и информационных устройств, реализующих принципы непосредственного преобразования различных видов энергии в электрическую.

Для указанной цели синтезируются новые полупроводниковые структуры на базе твердых, жидких и газообразных сред, осуществляются конструкторские разработки новых источников энергии и преобразователей; информации, а также создается технология их массового производства, разрабатываются средства управления технологическими процессами, в том числе автоматизированные (АСУ ТП).

Результаты исследований в виде многочисленных конструкций электрогенерирующих устройств и новых средств автоматики широко используются в народном хозяйстве нашей страны и стран социалистического содружества.

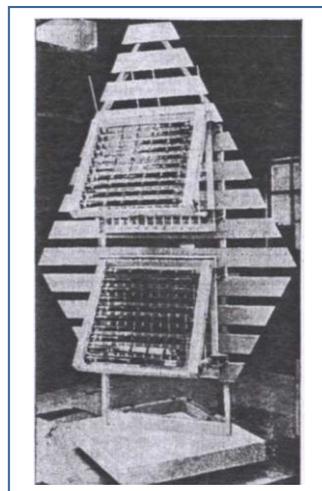
Таким образом, научное содержание деятельности Института непосредственно связано с практическим использованием теоретических достижений современной физики и смежных наук.

В последние годы на базе фундаментальных исследований, раскрывающих электрическую природу атомов и молекул, широко развиваются методы прямого преобразования различных видов энергии в электрическую, определившие качественный скачок в номенклатуре информативных и электрогенерирующих систем. Эти методы успешно реализуются как в автономной энергетике, так и в устройствах преобразования информации, в средствах диагностики окружающей среды, диагностики свойств ряда материалов, технологических процессах и т. д. На новом уровне удается оптимизировать ряд классических схем сильноточной электротехники, техники связи, средств вычислительной техники, автоматики. Один из важных практических примеров подобной оптимизации – завершенные в СССР и, по-видимому, пока только в США, исследования по прямому получению электричества из энергии взаимодействия электронов, в исходной своей структуре принадлежащих двум диэлектрическим континуумам (водороду и кислороду). Создан водородо-воздушный генератор для электромобилей. Успешно решены некоторые вопросы оптимизации энергетике движения и управления электромобилем. Удалось поднять эффективность схем непосредственного преобразования солнечной и тепловой энергии, а также многих других проектных решений и схем непосредственного преобразования различных видов энергии в электрическую.

Новое качество в решении многих проблем преобразования энергии нами связывается с успехами использования последних достижений современной теории металлов и диэлектриков, физики плазмы, физики полупроводников, физической химии и электрохимии, классической и квантовой электродинамики, с перспективами сведения схемными или технологическими приемами ряда вариаций пространственного распределения заряда до уровня, приближающегося к субмолекулярному или молекулярному.

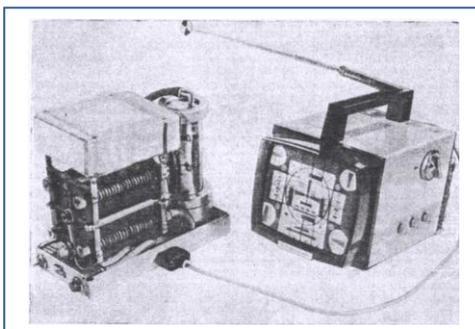
За годы IX пятилетки научными подразделениями Института синтезировано около 30 новых электрогенерирующих многоатомных структур с различным пространственным

распределением, 12 полимерных структур органического и неорганического происхождения с заданными электрическими свойствами, в том числе радиационно- и химически привитые полимеры, твердые электролиты сложных неорганических комплексов, ответственных за селективность транспорта или рекомбинацию зарядов на границе раздела фаз, новые электроизоляционные и другие конструкционные материалы, оптимизирующие проектные решения. В опытное и серийное производство внедрено более ста типов электрогенерирующих устройств важнейшего народнохозяйственного значения с высокими технико-экономическими показателями и более 250 единиц нестандартного технологического оборудования, средств механизации и автоматизации.



Солнечная наземная станция мощностью 200 Вт. Применяется для снабжения энергией объектов сельского хозяйства и сбора информации в океане.

Эффективность только части внедренных научных разработок Института, подсчитанная по методике Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике, за 5 лет составила в среднем 5,5 рублей на 1 рубль произведенных затрат.



Электрохимический генератор, использующий эффект прямого преобразования химической энергии в электрическую. Мощность 20 Вт. Удельная энергия 250 Вт · час/кг. Применяется для питания переносной радио- и телевизионной аппаратуры.

Подавляющее большинство проведенных исследований находится на уровне или превышает результаты научных достижений отечественной и зарубежной техники в области непосредственного преобразования видов энергии в электрическую. За прошедшую пятилетку ученые Института получили 99 патентов по 25 советским изобретениям из 32 стран; 358 изобретений и 2660 рационализаторских предложений внедрено в различные отрасли народного хозяйства. На конструкции, технологию и средства механизации, разработанные в Институте в 1971 - 1975 гг., заключены соглашения по продаже лицензий с рядом стран.

В IX пятилетке Институт имел более 50 договоров о научно-техническом сотрудничестве с институтами Академии наук СССР, отраслевыми научно-исследовательскими институтами и промышленными предприятиями. Эти договоры предусматривают безвозмездную передачу взаимной информации (консультации) или регламентируются финансовыми обязательствами.

Коллектив Института успешно выполнил социалистические обязательства, принятые

в честь XXV съезда КПСС. Закончены научные исследования по новым видам электрических генераторов, использующих эффекты Зеебека и Пельтье, и выданы исходные данные на проектирование завода для их производства с расчетной экономией за 6 лет эксплуатации свыше 40 млн. рублей. Внедрена в ряде отраслей промышленности автоматическая линия для производства источников тока массового применения. Разработана документация на серию фотосчитывающих головок для вычислительных машин, станков с программным управлением и т. п., используемых в отечественном машиностроении и экспортных поставках и др. Эти и другие результаты при широком внедрении их в эксплуатацию принесут значительную экономию электроэнергии.

Использование достижений Института открывает перспективы не только снижения материалоемкости, улучшения других проектных решений электротехнических устройств, но и повышения эксплуатационных качеств электротехнического оборудования. Возможны оптимизация схемных решений электрических машин, линий электропередач, трансформаторов, новых схем автономного и промышленного электропривода, в том числе и сверхмощного, улучшение качества электротермических процессов, повышение ресурса и надежности ответственных электротехнических конструкций и сооружений и т. п.

Созданы чувствительные элементы и устройства для средств связи и автоматики, используемые, например, при проектировании перспективных роботов и манипуляторов второго и третьего поколений. Планируется на X пятилетку создание самих роботов и манипуляторов для производства массовых электрогенерирующих устройств, а также разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Таким образом, учеными Института в тесном содружестве и под руководством Академии наук СССР создана реальная научная основа для экономически эффективного применения новейших устройств нелинейной электродинамики во многих классических направлениях электротехники, энергетики и автоматики.

Поиск путей технического использования многообразных результатов исследования электрической природы материи для усовершенствования существующей и развития новой номенклатуры электротехники, электроники, вычислительной техники и автоматики характеризует основную тенденцию научной деятельности коллектива и на ближайшее десятилетие.

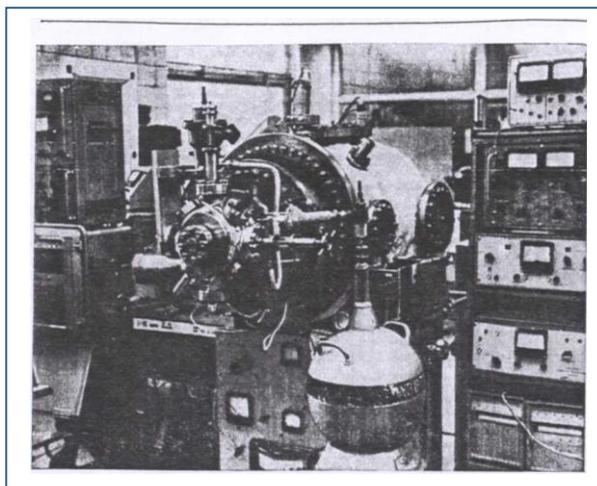
Несмотря на перспективный научный задел, существовавшие в IX пятилетке сроки освоения научных достижений по ряду причин были еще велики. Разрыв во времени между научными исследованиями и практической реализацией их результатов как в опытном, так и особенно в серийном производстве, противоречит требованиям к темпам научной деятельности, сформулированным решениями XXV съезда КПСС.

Наш Институт существует около 30 лет. Естественно, за эти годы сфера его деятельности существенно расширилась, а устаревшая система управления сдерживает внедрение в производство новых результатов решения крупнейших, в том числе фундаментальных, межотраслевых научно-технических проблем. Для повышения эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ необходимо, как это предусмотрено решениями съезда КПСС, ускорить создание на базе головных отраслевых институтов научно-производственных объединений (НПО) с двухзвенной системой управления, а также найти оптимальные формы структурных связей НПО с институтами Академии наук СССР и исследовательскими центрами вузов. Прогнозируется весьма высокая экономическая эффективность такой системы и в соответствующих отраслях и по народному хозяйству в целом, однако в ряде ведомств и Академии наук СССР они организуются медленно.

Как известно, ведущие капиталистические фирмы проявляют перманентную заботу о наиболее совершенных формах управления научно-техническим прогрессом, включая модернизацию систем стимулирования и плановых показателей. В советских условиях

одной из действенных организационных форм (в дополнение к существующим), которая помогла бы обеспечить условия быстреего внедрения научных результатов, служит формирование структурных связей академической и вузовской науки с прикладной. Ускорение темпов технического прогресса и повышение его эффективности в X пятилетке во многом будет зависеть от того, как удастся справиться с этой задачей. По нашему мнению, система планирования и экономического стимулирования научных исследований должна быть включена в организационную схему, связывающую достижения фундаментальных исследований с их практической реализацией.

Высоковакуумный стенд (до 10^{-12} торр) с эллипсометрической приставкой для исследования электронных свойств поверхности.



В первом приближении основные этапы такой схемы следующие: физический эксперимент – создание лабораторной технологии – изготовление опытного образца – создание полужаводской технологии в опытном производстве НПО – разработка основ серийной технологии, включая автоматическую систему управления технологическим процессом, – участие в освоении новой техники на промышленном предприятии. Распределение ответственности и стимулирующих факторов между участниками этапов должно быть определено совместными долгосрочными планами, представленными Академией наук СССР и министерствами и утвержденными Госкомитетом по науке и технике.

По всем научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам необходимо проводить тщательное технико-экономическое обоснование, включающее патентные исследования, расчеты ожидаемого экономического эффекта, разработку лимитных цен, определение масштаба потребности и темпа внедрения в серийное производство, т.е. весь комплекс вопросов, которые позволяют на стадии планирования ответственно выявить наиболее эффективные научные направления и способы промышленной реализации научных результатов. Следует, используя экономические меры, активно бороться с внедрением устаревшей техники, выявляя и стимулируя наиболее перспективные технические решения и научные идеи.

Однако это может быть осуществлено лишь при едином научном руководстве в объединенном научном комплексе.

Непрерывно усложняющееся содержание науки, многогранность ее внутренних и внешних связей делает непростым выбор наиболее перспективных научных направлений, в том числе фундаментальных. Эта функция должна быть возложена на ведущих ученых страны.

Забота о практической реализации результатов фундаментальных исследований отвлекает некоторую часть сотрудников академических институтов от перспективного поиска, это является нормой деятельности таких крупнейших институтов, как институты Сибирского отделения АН СССР, Институт электросварки им. Е. О. Патона АН УССР,

Физический, Физико-технический институты, Институт высоких температур АН СССР и др. И это правильно. По-видимому, структура и планы академических институтов должны отражать (но в очень осторожной форме, чтобы не затормозить развитие фундаментальных исследований) определенную долю ответственности этих учреждений за уровень развития соответствующих отраслей техники.

Головные институты отраслей должны быть шире представлены в Академии (двойное подчинение), что будет способствовать установлению более тесных взаимно полезных связей между Академией и отраслевыми министерствами. Подчеркиваю, эта связь должна быть гибкой и не тормозить развитие в Академии наук СССР фундаментальных исследований, за результаты которых отрасли ответственности не несут. Количественные пропорции этих связей разработать не просто, проблема весьма деликатна, но у нас немало социологов и экономистов, которые совместно с учеными-естественниками справятся с этой задачей.

В настоящее время сдерживает развитие как отраслевой, вузовской, так и академической науки чрезмерная раздробленность сил. Число мелких институтов намного превышает число крупных научных проблем, которые им приходится решать. Так, до недавнего времени в каждом министерстве было много десятков научно-исследовательских институтов. За счет образования НПО произошло частичное укрупнение как самих институтов, так и сфер их ответственности, но эта очевидно необходимая мера осуществлена не всюду. Слишком много мелких институтов и в структуре Академии наук СССР. Мелкие институты как в министерствах, так и в Академии не способны на современном научно-техническом уровне ответственно проводить исследования и обеспечить реализацию их результатов в народном хозяйстве.

Полный цикл – от фундаментальных исследований до выпуска продукции – особенно при решении крупных народнохозяйственных проблем не под силу даже структуре: институты Академии наук СССР – институты промышленности – заводы. Ряд проблем межотраслевого значения требует концентрации усилий многих институтов АН СССР, принадлежащих даже различным секциям, и многих отраслей промышленности (например, цикл работ по исследованию и применению полупроводников, по квантовой физике и ее применению в технике и т.п.). Однако организационные формы решения таких межотраслевых проблем, рождающихся, как правило, на стыке наук, еще не разработаны. Одним из основных путей, как это вытекает из решений съезда и выступления президента Академии наук СССР академика А.П. Александрова, является укрупнение научных центров как академических, так и отраслевых. Укрупненным головным исследовательским центрам намного легче осуществлять непосредственное, оформленное договорными обязательствами сотрудничество институтов промышленности с соответствующими институтами Академии, связывающее фундаментальные исследования с производством даже многоотраслевого значения. Не исключена возможность организации межведомственных НПО, состоящих из НПО отраслей, институтов академического подчинения и проблемных лабораторий вузов. В этом случае должны быть назначены научные руководители межотраслевых проблем с узаконенной мерой ответственности за выбор научных направлений и темпы реализации. Организационные статуты могут быть кратковременными (на проблему) или более длительными. Юридический статут межотраслевых НПО должен быть разработан в ближайшее время.

Помимо прямых, обусловленных хозяйственными договорами связей академических институтов с производством через НПО, взаимодействие с академическими институтами может иметь и другие формы: договоры о творческом содружестве (на коммерческой или другой взаимообусловленной основе); одноразовая взаимная научно-техническая помощь; взаимная и ответственная (предусмотренная планами) помощь НПО и отраслевых министерств в укреплении научно-экспериментальной базы академических институтов;

обмен результатами научных исследований на заседаниях объединенных НТО различных институтов на любой взаимно обусловленной и регламентированной основе; обмен практическим опытом по сокращению сроков разработки и внедрения научных результатов и т. д. Однако при любых формах сотрудничества должны быть учтены аспекты ответственности и стимулирования.

В докладе Л. И. Брежнева на XXV съезде КПСС указывается на необходимость сосредоточить внимание ученых на важнейших проблемах научно-технического и социального прогресса, от решения которых в наибольшей степени зависит успешное развитие экономики, культуры и самой науки. Предусматривается развитие исследований, открывающих принципиально новые пути преобразования производительных сил страны, создания техники и технологии будущего. Это налагает на нас, ученых, огромную ответственность за выбор организационных форм и ставит задачу разработки мер, ускоряющих темпы исследований, повышающих эффективность использования научного потенциала в народном хозяйстве страны, в число первоочередных.

Вестник Академии наук, № 9, 1976 г., УДК 001.89

СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

*Некоторые итоги Всемирного электротехнического конгресса (ВЭЛК)
Москва, 1977 г.*

По итогам ВЭЛКа рассматриваются актуальные проблемы и тенденции будущего развития одного из направлений электротехники – прямого преобразования видов энергии. Сопоставляются уровень развития и состояние разработок в этой области и СССР и других развитых промышленных странах.

На основе анализа докладов крупнейших фирм и научных центров (СССР, США, Франции, Японии, Италии, Канады, ФРГ, ПНР, ЧССР, ГДР и НРБ) делается вывод о соответствии уровня теоретических разработок и даже вполне определенном приоритете нашей страны в этой области и имеющемся отставании в плане практического использования указанных разработок.

Предлагается интенсифицировать работы по практической реализации теоретических исследований в области прямого преобразования энергии. Библиография. Стр. 9-17.

Всемирный электротехнический конгресс, проходивший с 21 по 25 июня 1977 г. в Москве, отразил не только наиболее актуальные проблемы сегодняшнего дня, но и наметил тенденции будущего развития электротехники. Поэтому проблемам непосредственного преобразования энергии, проблемам относительно новым, но уже прочно завоевавшим заметное место среди других научных направлений, на конгрессе уделялось большое внимание. Причем само направление непосредственного или прямого преобразования энергии столь обширно и базируется на различных принципах, что в целях большей и четкой информативности секция «Способы преобразования энергии» была разбита на две подсекции: «Физические преобразователи» и «Химические преобразователи».

Конгресс предоставил возможность крупнейшим специалистам ряда стран обменяться мнениями и идеями, оценить современный уровень и перспективы развития и использования различных способов преобразования энергии. В работе секции приняли участие представители крупнейших фирм и научных центров США, Франции, ФРГ, Англии,

Японии, Канады, Италии, ЧССР, ПНР, ГДР, НРБ и ряда компаний других стран, а также специалисты различных министерств и научных организаций нашей страны.

В ходе работы подсекции рассматривались следующие научные направления:

а) на подсекции «Физические преобразователи»: фотоэлектрический способ получения электричества, термоэлектрические преобразователи, термоэмиссионные преобразователи, силовые полупроводниковые приборы, преобразователи информации;

б) на подсекции «Химические преобразователи»: традиционные химические источники тока, перспективные источники тока, электрохимические генераторы, молекулярные преобразователи.

Первое направление – «Физические преобразователи» – охватывает область устройств преобразования энергии и информации на основе физики твердого тела. Работы в этом направлении привели к созданию целой серии электрогенерирующих устройств и полупроводниковых приборов самого широкого назначения.

Фотоэлектрический способ получения электричества. Успехи в области освоения космоса, актуальные задачи использования энергии Солнца в наземных целях поставили перед конгрессом вопросы оценки перспектив дальнейшего развития солнечной энергетики. На заседании было заслушано 17 докладов из СССР, США, ФРГ, ЧССР, Италии, Франции, Канады, Японии, посвященных теоретическим и экспериментальным работам в области преобразования солнечной энергии в электрическую.

Для оценки перспектив развития наземной и космической солнечной энергетики весьма важен вопрос дальнейшего повышения к.п.д. фотопреобразователей. Работами, в основном, советских и американских физиков показано, что достигнутый в настоящее время к.п.д. фотопреобразователей на основе системы твердый раствор алюминия в арсениде галлия – арсенид галлия, составляющий при освещении наземным Солнцем (AM1) 20% и заатмосферным Солнцем (АМО) 15%, может быть увеличен в ближайшие годы и для гетероструктур достигнет при освещении АМО 20%. К.п.д. фотопреобразователей на основе кремния, которые использовались для систем энергопитания спутников США, в настоящее время составляет 13%, что соответствует и нашим результатам.

Максимально достигнутая удельная мощность высоковольтных фотопреобразователей в непрерывном режиме освещения концентрированным потоком примерно одинакова в СССР и США и составляет 7 Вт/см².

Однако при импульсном освещении на высоковольтных фотопреобразователях в СССР получена рекордная мощность — 150 Вт/см² при линейном росте тока и сохранении к.п.д.

Теоретические исследования, проведенные в СССР и США, привели к качественно новому результату — обоснованию возможности достижения к.п.д. кремниевых солнечных элементов выше 30%. Эти исследования выполнены в СССР раньше, чем в США, о чем свидетельствуют ссылки американских авторов в научных публикациях и, в том числе, в докладах на ВЭЛКе.

Группой московских физиков впервые показана возможность получения фотопреобразователей на основе специальных гетероструктур с теоретическим к.п.д. до 93%. Новый способ фотопреобразования основан на объемном фотовольтаическом эффекте в структурах, в которых совмещены условия полного поглощения и полного использования их энергии.

Идея использования концентрированного излучения для повышения к.п.д. и снижения стоимости впервые высказана в СССР в 1970 г. В настоящее время она получила общее признание.

Специалисты США выступили с интересными докладами, посвященными солнечным элементам (СЭ) с барьером Шоттки для преобразования концентрированного солнечного излучения, и показали пути повышения к.п.д. таких элементов. Потенциальный барьер

границы металл – полупроводник возрастает, если на этой границе предварительно создается окисная пленка весьма малой толщины – 25 Å, при этом к.п.д. СЭ с барьером Шоттки возрастает до 10%.

Были представлены работы по усовершенствованию планарных СЭ на основе кремния с диффузионными *p-n* переходами и новыми контактами Ta—Pd—Ag, Cr—Pd—Ag к СЭ на основе гетероструктур.

Японские специалисты разработали методы получения тонких совершенных слоев арсенида галлия путем молекулярной эпитаксии в вакууме и отслаивания слоев от монокристаллической подложки. Показано, что гетероструктуры системы твердый раствор алюминия в арсениде галлия-арсенид галлия могут быть получены в тонкопленочном исполнении методом отслаивания от подложки, что позволяет дорогостоящую подложку арсенида галлия использовать для получения более 10 СЭ. Промышленное освоение этого метода позволило бы значительно уменьшить проблемы стоимости таких СЭ. В ЧССР выполнены исследования солнечных фотохимических элементов с полупроводниковыми электродами, позволяющими разлагать воду на водород и кислород. В ФРГ разработаны СЭ из поликристаллического кремния площадью 100 см² для наземного использования, а также облегченные конструкции космических солнечных батарей (СБ). В Италии, Франции, США созданы демонстрационные образцы солнечных электростанций на тепловых машинных циклах мощностью 1 - 400 кВт.

Доклады носили представительный характер. Они достаточно полно отражают мировой уровень исследований по фотоэлектрическому методу преобразования энергии. Доклады свидетельствуют, что в области разработки уникальных СБ наша страна значительно опережает США. Так, только в СССР (программа «Луноход» и «Венера») созданы и успешно прошли испытания в условиях высоких температур до 423 К (150°C) батареи из арсенида галлия, в условиях переменных освещенностей при полете к Венере – кремниевые фотопреобразователи, прозрачные в инфракрасной области солнечного спектра.

По основным показателям – мощности СБ, удельным характеристикам (Вт/м², Вт/кг), ресурсу – в обеих странах достигнуты аналогичные показатели для СБ из кремния: 70 - 90 Вт/м², 10 - 20 Вт/кг.

СССР опережает США в области разработки новых принципов фотоэлектрического преобразования энергии и создания теории фотопреобразователей концентрированного излучения, разработки конструкции и технологии матричных фотопреобразователей. Указанные фотопреобразователи запатентованы в Японии, США, ФРГ и других странах. Однако имеется некоторое отставание в разработке фотопреобразователей с барьером Шоттки, в создании лабораторных образцов высокоэффективных планарных фотопреобразователей на основе кремния с к.п.д. до 15 – 16% (АМ0), на основе гетероструктур с к.п.д. до 17,5 - 18,5% (АМ0), на основе сульфида кадмия с к.п.д. до 8% (АМ 1).

В области практического использования солнечной энергии намечается наше отставание по объему производства и применения солнечных электростанций наземного применения, в разработке технологии массового производства дешевых фотопреобразователей на основе кремния.

Большой объем работ американских ученых в области наземного использования фотопреобразователей обусловлен, на наш взгляд, особенностями энергетической политики в США и попытками правительства решить энергетические проблемы за счет широкого использования солнечной энергии. Работы в этой области в Японии и США ведутся на уровне национальных программ.

В 1977 г. в США планируется изготовить 500 м² фотопреобразователей из кремния для космических программ стоимостью 20000 долл./м² и 3000 м² СЭ наземного применения стоимостью 2000 долл./м², т.е. впервые объем наземного использования СЭ превысит объем поставок для космоса.

В докладе L. Herwig [1] показано, что правительственные ассигнования на развитие работ по солнечной энергетике выросли с 1 млн. долл. в 1971 г. до 290 млн. долл. в 1977 г.

Полученные результаты требуют дальнейшей экспериментальной проверки и всесторонней оценки. Необходимо ускорить проводимые в СССР исследования по перечисленным направлениям.

Термоэлектрический способ преобразования тепловой энергии в электрическую является видом прямого преобразования энергии, также нашедшим фактическое применение в различных областях науки и техники. Термоэлектрогенераторы (ТЭГи) обеспечивают электроэнергией автоматические метеостанции, навигационные и гидрографические приборы, станций катодной защиты, космическую и подводную аппаратуру. С помощью термоэлектричества решаются задачи охлаждения, термостатирования и кондиционирования.

На заседании секции обсуждались вопросы повышения добротности термоэлектрических материалов и оптимизации конструкции термоэлементов и устройств, над решением которых работают учёные и инженеры многих стран. Было заслушано 10 докладов из СССР, США, Италии по важнейшим направлениям развития термоэлектричества. В докладах, представленных СССР и США, сформулированы основные критерии разработки термоэлектрических материалов с термоэлектрической добротностью $ZT > 2$ за счет использования переходных и редкоземельных металлов и их сплавов, полупроводников с инверсионной структурой зон анизотропных материалов, мелкодисперсных и гетерофазных структур, материалов с нестандартными механизмами рассеяния. Следует отметить, что основные направления повышения эффективности термоэлектрических материалов, разрабатываемые в настоящее время в СССР и США, аналогичны; предельные значения эффективности, достигнутые в нашей стране ($ZT \sim 1,9$), несколько превышают уровень современных американских разработок ($ZT \sim 1,3 \div 1,5$).

Исследованию и использованию радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РТГ) были посвящены доклады F. E. Rossel (США) и G. Germane (Италия) [2, 3]. Результаты, представленные в докладах, убедительно свидетельствуют о возможности многообразного и успешного применения РТГ в труднодоступных районах — на Южном полюсе, в Антарктиде, в океанских глубинах, где обслуживание в течение длительного времени практически невозможно, а также для решения ряда медицинских задач, в частности, для создания имплантируемых биомедицинских электронных систем. Существенно, что современные американские разработки обеспечивают высокую ресурсную способность РТГ: 10 - 15 лет на плутонии-238 и 5 - 8 лет на стронции-90. Ориентируясь на эти данные, следует, по-видимому, интенсифицировать работы по РТГ в СССР, поскольку аналогичные отечественные разработки находятся на стадии лабораторных исследований.

Большой интерес советских и зарубежных специалистов вызвал доклад П.В.Коломойца (СССР) [4] о солнечном термоэлектрическом генераторе (СТЭГ) с параболическим концентратором и трубным термоэлектрическим модулем. Генераторы этого типа могут обеспечить мощность 35 Вт на 1 м^2 поверхности солнечного концентратора и после дальнейшей отработки конструкции и технологии изготовления будут, по-видимому, значительно экономичнее солнечных фотоэлектрических преобразователей.

Группой советских специалистов был представлен доклад о создании серии термоэлектрических генераторов на органическом топливе для энергоснабжения систем автоматики, телемеханики, электрохимической защиты и технологической связи магистральных газопроводов, расположенных в труднодоступных районах. Многолетняя эксплуатация на газопроводах Якутии, севера Западной Сибири и других районов страны показала высокую рентабельность и эксплуатационную надежность этих генераторов. При доведении расхода топлива, составляющего в настоящее время 2,0 - 2,6 г/Вт·ч, до 1,5 - 2,0 г/Вт·ч, что вполне реально, эти генераторы не будут иметь конкурентов среди

автономных необслуживаемых электростанций мощностью 1 - 4000 Вт. Большое внимание на конгрессе было уделено также проблеме миниатюризации термоэлектрических преобразователей. В докладах американских специалистов (V. Raag [5], N. B. Elsner [6]) подчеркивается особая необходимость комплексной оптимизации термоэлектрических и механических свойств при разработке миниатюрных ТЭГ; рассмотрены технологические возможности изготовления ветвей экстремально малых размеров, термостабильность, пластичность, физическая и химическая совместимость рабочих материалов. Эти вопросы широко обсуждались и во время деловой встречи ведущих специалистов СССР и США. Перспективы применения миниатюрных ТЭГ в современной технике достаточно широки в радиоэлектронике, измерительной технике, медицине, биологии.

На конгрессе была рассмотрена также важная проблема использования термоэлектрических преобразовании для целей охлаждения и термостатирования. Импульсный охлаждающий термоэлемент, представленный американскими учеными (Raо K. R. [7] и др.), по эксплуатационным характеристикам уступает аналогичным советским разработкам, однако идея использования термоэлектрических ветвей конической формы заслуживает внимания.

Интересные результаты по созданию серии биологических термостатов «Биотерм», «Термоконт», «Биокат» и ряда других электротехнических приборов на основе эффекта Пельтье представлены группой советских специалистов (Иорданишвили Е. К. [8] и др.). Термостаты, разработанные советскими учеными, обеспечивают поддержание необходимой температуры с точностью $\pm 0,5^\circ$ при колебании внешней температуры от 233 до 313 К (от - 40 до +40°C). Они были успешно использованы в целой серии космических экспериментов — на космических кораблях «Союз», «Аполлон», на орбитальной станции «Салют» и спутниках серии «Космос».

Термоэмиссионные преобразователи. По этому направлению было заслушано восемь докладов от США, два – от ФРГ и одни – от СССР. На заседаниях и в ходе дискуссии обсуждались проблемы физики термоэмиссионных преобразователей (ТЭП), возможные области использования ТЭП в большой и автономной энергетике. Большой интерес вызвала представленная американскими учеными программа США в области термоэмиссионного преобразования энергии. В частности, по планам NASA намечается создание к 1980 г. энергетически изолированного преобразователя с ресурсом работы 10 лет для космических энергоустановок, а к середине 1990 гг. создание термоэмиссионной реакторной системы для энергопитания электрореактивных двигателей. Другое интересное применение ТЭП – в качестве надстройки к тепловой электростанции. При этом планируется к 1984 г. разработать ТЭП с ресурсом в 3 года, позволяющий увеличить к.п.д. электростанции на 16%. К 1988 г. предполагается включить термоэмиссионную надстройку в систему демонстрационной электростанции. Финансирование термоэмиссионной программы США в настоящее время составляет 2,5 млн. долл. с предположительным увеличением к 1980 г. до 50 млн. долл. По данным американских ученых удельная стоимость термоэмиссионной надстройки составляет 500 - 900 долл./кВт.

Сравнение уровня разработок транспортабельных ядерно-энергетических термоэмиссионных установок СССР и США подтвердило основные научные концепции, реализованные при создании ТЭП первого поколения, и преимущества встроенного варианта с точки зрения весогабаритных характеристик, суммарного веса установки («Топаз» СССР). В то же время представленная по ТЭП информация свидетельствует о том, что проблеме в целом в США уделяется больше внимания, чем в нашей стране.

Силовые полупроводниковые приборы. Одним из интереснейших направлений, обсуждавшихся на заседании секции 5, являются силовые полупроводниковые приборы. С сообщениями по проблеме выступили представители СССР, США, ФРГ и ЧССР.

В докладах и дискуссиях обсуждались вопросы технологии производства

высоковольтных тиристоров, оптимизации конструкторских решений и параметров приборов.

Актуальной технологической задачей, как отмечено в ряде докладов, остается вопрос увеличения диаметра кремниевой пластины. Рядом фирм США уже изготавливаются супермощные тиристоры с диаметром кремния 76 - 80 мм, что признано наиболее оптимальным вариантом, так как увеличение диаметра свыше 100 мм приводит к противоречиям, складывающимся из условий минимально допустимой толщины пластины и удельного сопротивления. Отмечается, что из проблем, стоящих перед изготовителями силовых полупроводниковых приборов (СПП), проблема качества и однородности исходного кремния остается одной из актуальных и определяющих техникой уровень СПП. Обсуждение докладов и дискуссия показали, что экономическая целесообразность разработки и применения супермощных тиристоров еще не решена, так как не определена их конкурентоспособность с системами параллельного соединения менее мощных приборов с предохранителями. Кроме того, для их изготовления требуется применение высокоточных станков, сложна их защита и система охлаждения. Современный уровень в области параметров серийно выпускаемых силовых приборов характеризуется следующими цифрами.

Силовые диоды – максимальной ток ($I_{\text{макс}}$) до 3 кА при напряжении (U) до 2 кВ, или 600 А и 6 кВ. Ударные токи до 40 кА. Быстродействующие диоды $I_{\text{макс}}$ до 600 А при U до 1,5 - 2,5 кВ и время восстановления до нескольких микросекунд.

Силовые тиристоры – 1500 А/4000 В, ударный ток до 30 кА, время выключения 400 мкс (Хитачи, Япония) при диаметре кремния до 80 мм.

Однако большинство стран освоило серийное производство тиристоров на шайбе диаметром менее 60 мм.

Анализ представленных докладов и дискуссий показывает, что в области СПП направления НИР и ОКР, принятые в СССР, соответствуют основным тенденциям развития силовой техники в промышленно-развитых странах. К ним относятся: использование полностью диффузионной унифицированной технологии изготовления приборов; использование кремния большого диаметра; использование новейших технологических достижений микроэлектроники (фотолитография, вакуумное напыление, точная обработка и т.д., применение ЭВМ для проектирования СПП, регулирования и контроля технологического процесса.

Параметры выпускаемых в СССР приборов, как правило, не уступают зарубежным, однако в силу отсутствия современного технологического оборудования процент выхода приборов с высокими параметрами низок. Имеется отставание в развитии работ по прогнозированию и повышению надежности силовых полупроводниковых приборов.

Вопросы использования полупроводниковых приборов в качестве преобразователей информации освещены в докладах, представленных учеными СССР, ПНР, ФРГ и Западного Берлина.

Преобразователи информации. В целом отмечается тенденция использования различного рода приборов, применяющихся для решения традиционных электротехнических задач в качестве преобразователей информации в различных областях науки и техники.

Весьма перспективными представляются вопросы использования кремниевых фотопреобразователей (ФП) для измерения параметров световых потоков, цветовых измерений источников света, оптических коэффициентов материалов, изложенные в докладе представителя Западного Берлина Krochman [9]. Показано, что люкс-амперные характеристики кремниевых фотопреобразователей линейны в интервале освещенностей 10^{-4} - $2 \cdot 10^5$ лк. В докладе продемонстрированы широкие возможности использования ФП для фотометрических целей. Следует отметить, что уровень разработок в этой области в нашей стране значительно отстает. В СССР необходимо интенсифицировать работы по созданию широкого набора фотопреобразователей фотометрического назначения. Доклады советских

ученых продемонстрировали большие возможности полупроводниковых приборов для применения их в качестве контрольных, регистрирующих и командных устройств в системах энерговыделения на атомных станциях, различного рода фотосчитывателях, медицинской аппаратуре и др. Следует отметить, что упомянутые выше разработки находятся на уровне лучших мировых стандартов и вызвали большой интерес иностранных ученых.

Химические преобразователи энергии. Подсекция «Химические преобразователи» обсуждала современное состояние, перспективу развития и применение химических источников тока (ХИТ), электрохимических генераторов (ЭХГ) и молекулярных систем преобразования информации.

Основными направлениями развития способа преобразования энергии, основанного на использовании энергии химических реагентов, являются: совершенствование так называемых традиционных ХИТ, разработка источников тока на основе новых электрохимических систем с высокими удельными энергетическими параметрами, применение дешевых и недефицитных катализаторов для ЭХГ, использование достижений в разработках ЭХГ для смежных областей преобразования энергии и информации. Новой важной и актуальной проблемой, обсуждаемой на подсекции, была проблема использования химических и электрохимических источников энергии в большой энергетике с учетом энергетического кризиса в западных странах и необходимости рационального использования энергоресурсов (аккумуляция энергии в период сильных «провалов» нагрузки, для покрытия пиков и т. п.).

Рассматривалась также проблема «водородной» энергетики и возможность применения в этом аспекте ЭХГ.

Традиционные и перспективные источники тока. Основные направления развития традиционных химических источников тока: совершенствование электродов, конструкции, технологии изготовления с целью увеличения удельных характеристик и срока службы.

В связи с увеличением производства ХИТ и истощением сырьевых запасов весьма актуальной становится проблема материалоемкости и представляется целесообразным сосредоточить усилия специалистов на разработке ХИТ на основе новых менее дефицитных и дешевых электрохимических систем.

В результате комплекса исследований и разработок, проведенных в СССР, созданы щелочные марганцево-цинковые первичные источники тока массового потребления. Эти источники тока отличаются простотой конструкции, малым количеством деталей, что позволило комплексно автоматизировать процессы их производства.

К проблемам, решенным за последние годы, относятся разработка конструкции с максимально полным полезным использованием объема элемента, исследование и предотвращение процессов, приводящих к внутренним коротким замыканиям элементов при их хранении и разряде, усовершенствование узла герметизации элемента.

Работы по совершенствованию свинцовых аккумуляторов во Франции и ФРГ позволили существенно ускорить их заряд и увеличить время работы без обслуживания до четырех лет. В СССР разработаны технология и конструкция щелочных аккумуляторов с металлокерамическими электродами. Эти электроды обладают повышенной коррозионной стойкостью, имеют меньший саморазряд при хранении и более высокий коэффициент использования массы при интенсивных разрядных токах.

Среди перспективных химических источников тока отмечались высокотемпературные аккумуляторы. Одна из основных проблем при их разработке — создание твердого электролита. Введение окиси бериллия позволило упростить технологию изготовления электролита и улучшить его физико-химические свойства и стабильность.

В США разрабатываются аккумуляторы на основе электрохимической системы литий-алюминиевый сплав – сульфид железа. Основой аккумулятора является элемент, состоящий из одного положительного и двух отрицательных электродов. В качестве

электролита используется эвтектика хлористого калия. Удельная энергия этих аккумуляторов 80 - 110 Вт·ч/кг. Средний экспериментально достигнутый ресурс аккумулятора – 200 циклов (2500 ч). Однако некоторые элементы имели ресурс выше 7000 ч и более 500 циклов без снижения емкости. Следует отметить, что работы по использованию научных достижений при создании действующих высокотемпературных аккумуляторов в США опережают аналогичные работы в нашей стране. Однако как в США, так и в СССР конкретных законченных работ в этом направлении еще нет.

Основные области применения перспективных источников тока – электромобили и система аккумулирования избыточной электроэнергии вырабатываемой электростанциями в период неполной нагрузки. Специалисты США провели сравнительный анализ различных методов накопления избыточной электроэнергии и показали перспективность применения для этих целей высокотемпературных аккумуляторов, редокс-систем и цинк-хлорных батарей при времени заряда до 4,5 ч. В настоящее время в США разработана и осуществляется программа БЭСТ, которая определяет оптимальную электрохимическую систему, обеспечивая получение независимых экспериментальных данных в широком диапазоне рабочих условий, и оценивает работоспособность исследуемых систем при их работе параллельно с коммунальной сетью. Примерно 5 - 10% электроэнергии, вырабатываемой в США, может быть аккумулировано электрохимическими системами. В ходе дискуссии обсуждались перспективы применения ЭХГ для целей накопления энергии. Из выступления специалистов США очевидно, что для решения проблемы аккумулирования энергии, вырабатываемой в часы неполной нагрузки, могут быть использованы электрохимические системы. Несмотря на многие трудности, электрохимическое аккумулирование энергии представляется перспективным и технологически возможным решением, которое будет играть важную роль в энергосистемах будущего.

В СССР продолжают исследования ХИТ для питания электромобилей. В настоящее время наиболее реально применение на транспорте никель-цинковых аккумуляторов. Удельная энергия опытных образцов достигает 50 Вт·ч/кг, наработка до 300 циклов. Использование натрий-серных и литий-сульфидных аккумуляторов с удельной энергией 120 - 180 Вт·ч/кг и удельной мощностью 150 - 180 Вт/кг позволит существенно улучшить параметры электромобиля. Выпуск первых партий аккумуляторов планируется в 1980 - 1985 гг.

В Италии (фирма «Фиат») разрабатывается воздушно-цинковый генератор для электромобиля. Создана и испытана передвижная установка полезной мощностью 1 кВт и в пиковой нагрузке до 1,5 кВт.

Электрохимические генераторы. В ряде областей – транспорт, энергетика кораблей, переносные устройства (радио, телевидение) и т.д. – ЭХГ при их дальнейшем развитии и доработке смогут успешно конкурировать с традиционными источниками энергии (двигатели внутреннего сгорания, аккумуляторы, гальванические элементы и т.д.). Для ряда задач, в частности малой энергетике, где требуются источники с ресурсом несколько тысяч часов и более, ЭХГ в перспективе являются оптимальными. Для окончательной отработки и внедрения ЭХГ предстоит решить большой круг теоретических и экспериментальных проблем, в том числе и в области кинетики, электродинамики, тепло- и массообмена и т.д.

В ФРГ (фирма «Сименс») разработан электрохимический генератор со щелочным электролитом мощностью 7 кВт. Отличительная особенность конструкции ЭХГ – объединение функциональных установок и батареи топливных элементов в один блок. Энергетические показатели ЭХГ (без учета теплообменника для охлаждения воды) – 10 кг/кВт и 8 л/кВт.

Применение ЭХГ может стать более широким в случае использования воздуха и конвертированного водорода. В связи с этим в последние годы большое внимание уделяется созданию систем с кислым электролитом и разработке недефицитных

катализаторов. В целом работы по внедрению недефицитных катализаторов взамен металлов платиновой группы для активации электродов ЭХГ необходимо интенсифицировать.

В СССР много внимания уделяется теоретическим вопросам, связанным с работой ЭХГ, в частности, предпринята попытка выявить роль электронной структуры металлов в процессах, происходящих на водородом электроде.

На подсекции обсуждались также частные вопросы создания датчиков на основе молекулярных преобразователей, а также рассматривались перспективы разработки соответствующих приборов.

Резюмируя итоги работы секции, можно сделать вывод о растущем внимании, проявляемом практически во всех промышленных странах, к новым нетрадиционным способам преобразования видов энергии и информации.

Работа конгресса несомненно будет способствовать прогрессу в области прямого преобразования энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. O. Herwiq (USA). Review of the Solar Energy Program of the United States Energy Research and Development Administration. Доклад ВЭЛК № 5А.10. Москва, Информэлектро, 1977.
2. F. E. Rossel (USA). Terrestrial and undersea applications of radioisotope thermoelectric generators (RTG's). Доклад ВЭЛК № 5А. 23. Москва, Информэлектро, 1977.
3. G. Germano (Italy) A sr^{90} radioisotope thermoelectric generator for undersea applications. Доклад ВЭЛК № 5А.64. Москва, Информэлектро, 1977.
4. Малевский Ю. Н., Маркман М. А., Коломоец Н. В., Ржевский В. М. (СССР). Солнечный термоэлектрический генератор с трубчатым модулем. Доклад ВЭЛК № 5А.30. Москва, Информэлектро, 1977.
5. V. Raag (USA). Considerations in the design of miniature thermoelectric generators. Доклад ВЭЛК № 5А.25. Москва, Информэлектро, 1977.
6. N. B. Elsner, H. Garney, E. Steeger, H. Staley (USA). Current trends in design and fabrication of small Bi_2Te_3 generators. Доклад ВЭЛК № 5А.27. Москва, Информэлектро, 1977.
7. G. Hoyos, K. R. Rao, D. Jerger (USA). Fast transient response of Novel Peltier Junctions. Доклад ВЭЛК № 5А.26. Москва, Информэлектро, 1977.
8. Иорданишвили Е. К. (СССР). Термодинамические приборы в космических исследованиях. Доклад ВЭЛК № 5А.22. Москва, Информэлектро, 1977.
9. I. Krochmann (W. Berlin). New developments in electronic sight and colour measurement. Доклад ВЭЛК Л; 5А.55. Москва, Информэлектро, 1977.

Энергетика и транспорт, 1978, УДК 621.362

АНОМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ГИПЕРПРОВОДИМОСТИ

Теоретически предсказан и экспериментально обнаружен эффект получения аномально высоких электрических емкостей ~ 1 ф/см³ (рис. 1). Это удастся обеспечить искусственным (технологическим) сближением образующих емкость электрических зарядов

до малых расстояний, ответственных за рост градиента потенциала и соответствующий рост абсолютных значений емкости.

Получены макроскопические образования: пленки, волокна, ленты, обладающие аномальной емкостью, разработаны технологические методы управления законом дисперсии емкости от частоты проходящего тока $C(\omega)$, примеры которых приведены на рис. 2.

Аномальные значения емкости и технологическая возможность управления законом дисперсии $C(\omega)$ а также управления желаемым законом пространственного их распределения позволяют широко использовать обнаруженный эффект для построения локальных или встроенных в схему конденсаторов, электрических фильтров, компенсаторов экстратоков, линий задержки, в схемах компенсации $\cos \varphi$, безындуктивных проводах и линиях передач, а также других перспективных схем преобразования энергии и информации, в том числе в задачах силовой электротехники и энергетики.

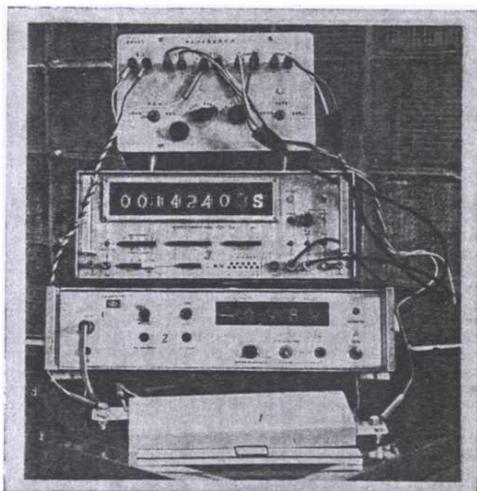


Рис. 1. Измерение аномальной емкости:
1 – модуль аномальной емкости, 2 – вольтметр,
3 – фарадомер: на приборе емкость 142,4 ф.

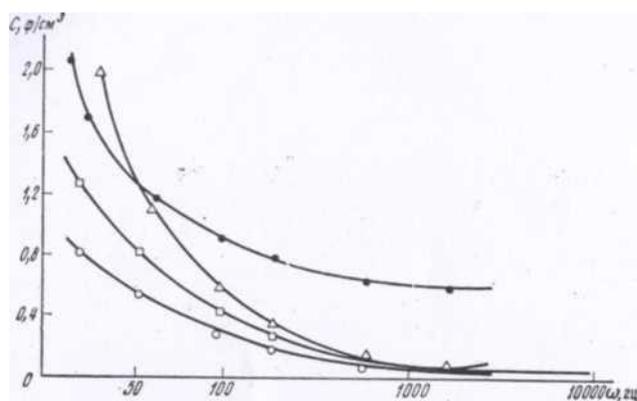


Рис. 2. Дисперсионные кривые емкостей различных модификаций.

По-видимому, открывается перспектива создания высокотемпературных (выше температур жидкого азота) квазисверхпроводящих линий — искусственных гиперпроводников.

Рис. 2. Дисперсионные кривые емкостей различных модификаций.

Современные микроскопические теории сверхпроводимости не отрицают возможности организации таких взаимодействий между частицами, которые приводят в двумерных моделях (в том числе искусственно синтезированных) к появлению связанных уровней (квазидвумерных аналогов сверхпроводимости).

Дальняя двумерная упорядоченность, соответствующая безэнтروпийному переносу электромагнитного поля, должна сводиться к построению макроскопических образований (проводников), диссипативные акты в которых должны быть приближены к минимуму.

По-видимому, теоретически постулированный и экспериментально апробированный метод получения макроскопических образований с аномальной емкостью отвечает перспективе построения квазидвумерных аналогов гиперпроводимости.

*Доклады Академии наук СССР 1974. Том 216, № 6,
УДК 537.1, Техническая физика*

ВОЗМОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ "ДЕМОНА МАКСВЕЛЛА"

В 1871 г. Д. Максвелл предложил мысленный эксперимент, включающий "существо, способности которого обострены настолько, что оно может проследить за динамикой каждой молекулы". Максвелл представил себе сосуд с газом, который разделен на две части (*A* и *B*) стенкой, в которой имеется маленькое отверстие. Существо наделено способностью видеть отдельные молекулы, а также открывать и закрывать это отверстие так, чтобы разрешить прохождение из *B* в *A* только быстрых молекул, а более медленным – проходить из *A* в *B*. Таким образом, без совершения работы, за счет статистического распределения, можно было бы поднять температуру в *A* и понизить температуру в *B*, в противоречии со вторым началом термодинамики. Механизм "статистического распределения" не рассматривался. Этот вызов второму закону термодинамики подразумевает, что двухкамерная система энергетически независима от своего окружения. В. Томсон, анализирувавший проблему, назвал открывание и закрывание заслонки между камерами "демоном Максвелла". На интерпретацию гипотетического феномена в свое время обратили свое внимание многие известные физики мира, включая Нобелевских лауреатов. В частности, Л. Сциллард написал, что "демон Максвелла" мог бы сортировать молекулы только тогда, когда имел бы информацию о них.

Деменье и Бриллюэн подтвердили это, подразумевая визуальное наблюдение (методом предварительной подсветки системы), которая бы маркировала частицы. Бриллюэн показал также, что энтропия, связанная с этим видом процесса сбора информации, существенна и может полностью компенсировать выигрыш от уменьшения энтропии самой сортировки.

Однако Лантауэр и Беннет отвергли категоричное утверждение Бриллюэна, чем вновь возбудили интерес к проблеме. Дальше сошлемся только на последующие обзоры.

Весьма полный из последних обзоров выполнен Harvy Sheff* в котором на моделях проведен анализ времени, если бы его следовало затратить "сортирующему демону" для приобретения заметного эффекта разделения частиц за счет термической диффузии, в условиях, если бы заслонка была просто открыта, так как Дж. Джинс перед этим высказал мнение о том, что при термической флуктуации молекул результат разделения связан со скоростью переноса энергии. В гл. II упоминаемой статьи, убедительно обосновано, что принцип неопределенности Гейзенберга в форме энергия-время действительно ограничивает быстродействие за счет последовательной сортировки. Например, в классическом газе и без стимулирующей диффузии для достижения цели при температуре 300 К верхний предел мощности, обеспечиваемый процессом в масштабе комнаты 1000 м^3 , не превышал бы $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$, а время для достижения разницы температуры по обе стороны заслонок в 2 К превысило бы 1000 лет.

В гл. III и IV автор ввел в модель более жесткие ограничения. Тщательно рассмотрев следствия последовательной обработки, он доказал неэффективность последовательной обработки результата. Только параллельная обработка разделения смеси газов могла бы быть эффективна. Проанализированы и результаты анализа Бриллюэна, а также пределы, накладываемые принципом неопределенности Гейзенберга.

В разное время интерес к проблеме проявили: Сциллард, Беннэг, Бриллюэн, Рекс, Вайнберг, Клейн, Даут, Джинс, Эренберг, Демер и др. Интерес этот не случаен, так как вслед за выяснением потенциальной возможности решения проблемы, возникает огромное число еще не разработанных вариантов возможного практического применения в новейших областях нелинейной физики и техники, о чем частично будет сказано ниже.

Разнообразие вариантов анализа мысленного эксперимента Максвелла, проведенных почти за 100-летие большой группой физиков, выявило и некоторые оптимизационные критерии задачи: маркировка частиц, уход за неэффективной последовательной обработкой результатов, открытие способа максимального развития числа "отверстий дьявола" для параллельного управления диффузией и в целях увеличения скорости обработки результатов. Часть критериев обязательна для того, чтобы уйти от предела, накладываемого принципом неопределенности Гайзенберга.

Используя современные достижения физики и технологии твердого тела, с нашей точки зрения, сосуд Максвелла с газом может быть построен, но не из нейтральных, а из заранее маркированных частиц, в полупроводниковых камерах, сделанных из термодинамически разнородных пар, как известно, содержащих газ фононов и электронов. Такая замена правомерна, так как даже при наличии огромной разницы в масштабе силового поля молекулярного газа или газа твердого полупроводникового кристалла они имеют общие закономерности обмена энергией, что широко используется в современной теории.

Двухуровневые системы. Похоже, что Максвелл предвосхитил актуальность перспектив термодинамического анализа двухуровневых структур, которые, много позже и, уже на квантовом уровне, стали одной из базовых моделей изучения физиками кинетики во всем многообразии ее проявлений в природе.

Пуанкаре, Эйнштейн, Дирак, Файман, Пригожин и др. внесли фундаментальный вклад в проблему на различных физических моделях.

В анализе "перегородки" Максвелла на квантовом уровне, если под перегородкой понимать разнообразие фазовых переходов, заинтересованы сегодня и специалисты по физике лазеров и полупроводников, и электрохимии, и специалисты по сверхпроводимости и динамике живых структур.

Сопряженные слоистые среды, рассматривающие стык уровней энергии Гиббса (энергия поверхностных вакансий) и двумерной (энергия Ферми) исследуются сегодня практически всеми методами безмашинного производства электричества: фотоэффектом, гальвани-эффектом, эффектами Пельтье, Зеебека, Периста, Фарадея и др., открытыми в прошлом веке и открываемые по сей день.

На микроскопическом уровне проблема разработана.

Однако корректное квантовое описание вариантов фазовых переходов на микро уровне затруднено (проблема многих тел) и продвижение проблемы кинетики вперед зависит до настоящего времени от эксперимента и корректности его анализа.

Основными проблемами являются: а) технологическое освоение детектирования спектра потерь, в том числе энтропийных, в сопряженных средах;

б) эффективное преобразование разнообразных процессов в электричество путем управления спектральными характеристиками этих процессов.

До сего дня эти проблемы решаются на границе "строгой" теории и инженерной интуиции.

Опуская раздел физической мотивации формирования и кинетики квазидвумерных структур, рассмотрим лишь один пример из области термоэлектрического преобразования энергии, в котором как раз и реализуется изящная идея Максвелла об эффективности разделения быстрых частиц от медленных. При технологических усовершенствованиях ее реализация внесла бы фундаментальный вклад в кинетику не только альтернативных источников энергии, но и составила бы конкуренцию машинным циклам преобразования тепловой энергии в электрическую.

Проблемы. За 30 лет развития космической энергетики успехи теории и технологии полупроводников привели к шестикратному росту коэффициента преобразования солнечной энергии (от 3,5 до 20%) и более. За этот же срок эффективность термоэлектрического

преобразования (обратимые эффекты Зеебека и Пельтье) выросла незначительно. Между тем, повышение коэффициента термоэлектрического преобразования смогло бы обеспечить решение таких глобальных проблем, как удешевление способа производства электричества из энергии солнечной радиации, изящно решить важную для человечества экологическую проблему замены фреона в холодильных системах бытового, транспортного и энергетического назначения, а также обеспечить термоэлектрическое (безопасное) преобразование энергии в атомных электростанциях путем частичной или полной замены жидкого теплоносителя, расширить возможности построения нового класса приборов (сенсоров и сенсорных систем) для кибернетики, медицины, предсказания катастроф и др.

Анализ показывает, что теоретических ограничений для аналогичного с фотоэффектом роста КПД термоэлектрического преобразования или возможностей, превышающих показатели фотоэффекта, не существует.

Современная теория и технология термоэлектричества базируется на термодинамическом использовании двухуровневого фононного и электронного газов, распределенных как в объеме полупроводниковых камер, так и на поверхности сопряжения (кристаллов). Именно современная технологическая неспособность управлять спектральными параметрами энтропии кристаллов и границ их сопряжений определила огромные тепловые и электрические потери, что в действующей технологии привело к резкому снижению КПД преобразования тепловой энергии (около 1% на 100° перепада температур).

Автором сделан анализ теоретической и экспериментальной возможности перманентного усовершенствования технологии и кумулятивного роста термоэлектрического КПД, в том числе и за счет повышения термо-ЭДС и снижения теплопроводности при одновременном повышении электропроводности системы.

Именно эти факторы оптимизации в данном виде преобразования являются определяющими и обеспечивающими конкурентоспособность в отношении машинных циклов.

Выводы. 1. Для молекулярного немаркированного газа невозможно в изолированной системе построить отверстие с управлением и обратной связью, обеспечивающее сортировку частиц по энергиям с нарушением второго закона термодинамики, что обосновано в многочисленных трактатах авторов, изучавших "демон Максвелла" в предшествующие десятилетия.

Однако в открытых системах, например циклах преобразования тепловой энергии в электрическую, для газа фононов и электронов, распределенного в твердом теле, функциональная цель проблемы становится разрешимой, так как вполне возможно обеспечить управление подвижностью газа фононов и электронов при наличии даже экстремальных эксплуатационных условий – полного управления тензорами подвижности электронов и фононов, обеспечив при этом параллельную сортировку частиц, чтобы обойти запрет Шредингера, т. е. обеспечить при этом минимальную диссипацию в механизме образования заряда, не нарушая закона сохранения энергии. Параллельное считывание информации за счет увеличения числа "отверстий дьявола" может быть доведено до атомных масштабов.

2. Предлагаемая модель полупроводниковых камер хотя и не полностью соответствует требованиям анализа статистики молекул термически возбуждаемого газа в поле импульсов, предложенного Максвеллом для сепарации нейтральных частиц, полностью соответствует функциональным целям "демона Максвелла", т. е. позволяет параллельно и эффективно сепарировать быстрые частицы (электроны) от медленных (фононов) и содержит выявление новых фундаментальных перспективных применений получаемых результатов в полупроводниковой энергетике.

3. Апробированная теорией и экспериментом возможность повышения КПД преобразования энергии в открытых системах расширяет известные и открывает новые горизонты для

применения новых технологий в космической и в наземной энергетике, информатике, теплофизике.

Только производство нового поколения рентабельных солнечных электростанций с высоким коэффициентом использования солнечной энергии, а также масштабная индустрия электронных (бесфреоновых) охлаждающих систем бытового, транспортного, энергетического назначения составляют базу новой многомиллиардной промышленности.

4. Следует подчеркнуть убежденное мнение автора данной работы о том, что наука об электричестве, являющаяся фундаментальной областью человеческих знаний, не завершена, и переходит на конец XX века и в XXI век с перспективой бесконечного разнообразия открытия новых явлений и масштабных областей их коммерческого использования.

Известия Академии наук. Энергетика. УДК 621.3, 1997 г.

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ МАТЕРИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Прогресс любой отрасли техники связан с непрерывным ее обновлением – освоением новых, более совершенных видов промышленной продукции, отражающей последние достижения науки. В аспекте электротехники прогресс связан с практическим использованием фундаментальных достижений физики и смежных наук, раскрывающих мир удивительных явлений, сопутствующих исследованию электрической природы материи.

Электротехника многообразна, спектр современных ее технических применений чрезвычайно широк. Он охватывает разработку всех методов и средств генерирования электромагнитного поля, распределения и управления им, всех видов преобразования энергии электромагнитного поля в энергию других физических полей, всех методов измерения его компонент и т. п.

Множество областей применения и огромная номенклатура электротехнической продукции привели к тому, что исследования и их разработка рассредоточены по различным разделам науки и многим областям промышленности: электрические машины, трансформаторы (инверторы) всех компонент электромагнитного поля, большая номенклатура средств распределения и управления полем, разработка проектов и технологии строительства мощных электростанций и линий передач, огромная номенклатура элементов и средств электропривода и автоматики, источники света, источники тока, многочисленные электротехнические устройства бытовой, производственной и сельскохозяйственной технологии и т. п.

В самостоятельные технические отрасли выделяются средства связи – радиотехническая и электронная техника; развиваются отрасли вычислительной техники, медицинской электротехники и т. п.

Научное содержание проблем электротехники. В аспекте теории электрическая природа материи исследуется современными разделами физики твердого тела, классической и квантовой электродинамикой, физикой плазмы, электрохимией, некоторыми разделами физики ядра, физической и квантовой химией, биологией, медициной и т. п.

Большинство этих исследований в той или иной мере реализуется как в традиционных, так и во вновь возникающих инженерных направлениях электротехники.

Однако, несмотря на разнообразие физических моделей, областей исследования и применения, а также многочисленную номенклатуру электротехнической продукции, научное содержание проблем электротехники, по-видимому, может быть сформулировано коротко, как исследование условий (законов) генерирования электромагнитного поля, его

распространения в твердых, жидких, газообразных средах и на их границах и применение широкого спектра результатов этих исследований для практических целей.

Несмотря на кратность этого определения, его содержание далеко перекрывает существующие и видимые горизонты технического применения.

Известно, что не раскрыто еще полностью и тем более технически не использовано до конца многообразие электронных свойств твердых тел и всех особенностей распространения в них электрических зарядов. Нет законченных теорий жидкой и газообразной среды.

Исследования электронных свойств границы раздела твердых, жидких и газообразных сред и их применение в технике находятся лишь в начальной стадии. До сего времени «загадкой эпохи» является внутренняя структура электрона, физический смысл величины элементарного заряда, природа шаровой молнии и др. Имеются лишь гипотетические предположения об электронных моделях небольшого числа биологических объектов, в том числе проводника нервного импульса-нейрона, электронных аналогов чувствительных (сенсорных) элементов биологических объектов: рецепторов температуры, вкуса, запаха, электронной модели аппарата зрения и т. п. Отсутствуют даже гипотезы об электронной модели мозга, причинах его высокой надежности и огромной емкости запоминания информации и т. д.

Поэтому можно утверждать, и это частично будет показано ниже, что перспективы технического использования многообразия результатов исследования электрической природы материи для усовершенствования существующей и развития новой номенклатуры электротехнической продукции не только не снижаются, но наоборот, далеко еще не достигли своего апогея.

Электротехника существует давно, однако на базе очередных фундаментальных достижений науки спонтанно возникают открытия новых удивительных явлений, раскрывающих электрическую природу атомов и молекул, порождающих новые области технического ее применения. Лишь недавно – в последнее двадцатилетие и еще сегодня мы являемся свидетелями бурного, качественного скачка в номенклатуре электротехнической продукции, вызванного использованием полупроводников, позволивших на принципиально новом, буквально революционном уровне оптимизировать ряд классических схем сильноточной электротехники, техники связи, средств вычислительной техники, автоматизации и т. п.

Более поздние исследования физики твердого тела привели к разработкам ряда вариантов микроскопической теории сверхпроводимости и хотя эти теории еще несовершенны, они явились стимулом к экспериментальному обнаружению ряда новых эффектов (стационарного и нестационарного эффектов Джозефсона [1], эффекта Литтла и Паркса [2] и др.).

Как известно, обычная (классическая) проводимость возникает (наблюдается), например, в металлах за счет приложенной разницы потенциалов к границам проводника. При не очень высоких плотностях тока и температурах справедлив закон Ома: ток прямо пропорционален приложенному напряжению. Сверхпроводимость характеризуется возможностью протекания постоянного тока в замкнутом контуре при внешнем напряжении, равном нулю.

Эффект Джозефсона основан на туннелировании связанных электронных пар между двумя сверхпроводниками, разделенными несверхпроводящим барьером. Так как при этом энергия на разрыв пар не затрачивается, возможно протекание тока между сверхпроводниками при равной нулю разности потенциалов на барьере. В эффекте Литтла и Паркса наблюдается периодическая зависимость температуры сверхпроводящего перехода тонкой проводящей пленки, нанесенной на изолирующую подложку от величины аксиального магнитного поля. Эти эксперименты указывают на то, что «сверхпроводимость, по-видимому, базируется на волновых (коллективных) свойствах электронов твердотельной плазмы

сверхпроводника, о волновой природе которой свидетельствуют также и опыты по экспериментальному подтверждению эффектов Джозефсона и его разновидностей, открытых также И. Янсоном, В. Свистуновым, И. Дмитриенко в СССР [3] и другими, а также многочисленные эффекты взаимодействия сверхпроводников с магнитным полем.

Однако не создана теория сверхпроводимости, учитывающая реальную кристаллическую структуру, истинный характер электронных взаимодействий.

Советскими учеными интенсивно развивается теория сверхпроводимости, предполагающая образование в объеме или на поверхности полупроводников связанных электронно-дырочных пар (экситонов, биекситонов, полиэкситонов), при определенных условиях способных объединиться (конденсироваться) в капли [4-7]. У электронно-дырочной жидкости возможно возникновение свойств сверхпроводимости и сверхтекучести, так как при низких температурах плотность эффективной массы в капле очень мала, а рассеяние электронов и дырок по условиям модели незначительно.

В специальном случае, когда эффективные массы электронов и дырок почти изотропны, возникает коллективное связывание электронов с дырками, приводящее к переходу жидкости в диэлектрическое сверхтекучее состояние (полиэкситоны).

Сама модель чисто квантовая и базируется авторами на теории твердого тела, а ее применение отнесено к области низких температур. По нашему мнению, модель не имеет ограничений для возможного распространения ее на более общие случаи интерпретации связей в электромагнитном поле, в том числе и на общие случаи межфазовых переходов и для более широкой области температур.

Как и в случае применения полупроводников, само открытие сверхпроводимости и сопутствующих эффектов (эффекта Мейснера [8], основанного на выталкивании магнитного поля из сверхпроводящей среды; эффекта Джозефсона и др.) стимулировало дальнейшие экспериментальные и теоретические разработки, которые открывают новые горизонты в понимании природы электричества, приводят к перспективе революционизирующего скачка в использовании ее результатов.

Почему исследования полупроводников в прошлом и последующие исследования свойств твердого тела уже привели и содержат дальнейшую перспективу новых революционизирующих воздействий на структуру электротехники, расширив ее области применения и существенно изменив ее номенклатуру? Ответ на этот деликатный вопрос частично может быть получен из анализа исследованных свойств электрической природы материи и законов электромагнитного поля. Из классической электродинамики известно, что взаимодействия в электромагнитном поле: электрическая индукция, дипольный момент, проводимость и т. п. существенно зависят от характера распределения зарядов (положительных и отрицательных) в пространстве реальной среды, в частности, в электротехнических схемах или конструкциях.

Значительная номенклатура инженерных решений традиционной электротехники развивалась на базе творческого инженерного осмысливания вариантов построения макроскопических схем и устройств, базирующихся на многообразии пространственной корреляции, разделенных диэлектриком электрически заряженных сред (проводников) или «магнитных» зарядов (R , C , L -структур).

Многообразие областей применения и номенклатуры инженерных решений, базирующихся на использовании свойств электрической природы материи, объясняется наличием в электромагнитном поле двух полевых характеристик: магнитной с напряженностью H и энергией $BH/2$ и электрической с напряженностью E и с энергией $DE/2$ (в отличие, например, от меньшего однополевого многообразия взаимодействий в гравитационном поле, исследуемом классической и квантовой механикой).

Линейные соотношения в электромагнитном поле описываются классической (макроскопической) электродинамикой. Нелинейные являются предметом усовершенствования классических моделей и углубленно исследуются современной микрофизикой.

Исследование многочисленных моделей и схем преобразования электромагнитного поля начинается с изучения элементарных актов образования (рождения) зарядов, условий транспорта зарядов к зоне потребления, условий их распределения в реальной конструкции. Таким образом, в реальной электротехнической системе мы всегда имеем дело с так называемыми «распределенными» параметрами.

Скачки и градиенты потенциала в современных электротехнических конструкциях могут быть образованы:

- на границах кристаллических решеток, принадлежащих двум или более различным веществам, разделенным плазмой твердого тела (дырочно-электронные переходы, используемые при фотоэлектрическом или термоэлектрическом преобразовании);
- на межфазовых границах твердое тело – жидкая среда (разнесенные в пространстве дырочно-электронные переходы, промежуток между которыми заполнен электролитом), используемых в схемах прямого получения электричества из химических реакций;
- на электронно-дырочных переходах, разнесенных в пространстве, заполненном плазмой (плазменные диоды, используемые в МГД методе или при термоэмиссионном преобразовании) и др.

Традиционная электрическая машина также может быть интерпретирована как устройство, в котором происходит разделение зарядов с образованием «диполей». Детальная структура поля, образующего заряды в электрических машинах, сложна, и корреляционные соотношения классической Электродинамики в уравнениях переноса, как и в предыдущих схемах прямого преобразования, (требуют использования экспериментальных коэффициентов.

Скачки и градиенты потенциала могут быть стимулированы и энергией излучения, электромагнитным или гравитационным полем, гидродинамическим или акустическим импедансами, химическим потенциалом и др.

Следовательно, в современных электротехнических конструкциях элементарный акт образования (рождения) заряда происходит в трехмерном пространстве реальных твердых, жидких и газообразных сред или на их границах.

Законы распределения (или распространения) заряда в них требуют детального знания (учета) не только макроскопической картины распределения, но и микроскопической атомной природы поляризации.

Проблемы инженерно-технической оптимизации классических электротехнических конструкций и сооружений, например минимизация схем, в основном базировались на исследованиях по повышению изоляционных свойств – электрической прочности – материалов (создание новых изоляционных материалов и покрытий), повышении плотностей электрической составляющей (рабочие напряжения) и магнитной составляющей электромагнитного поля, прогресс в исследовании которых наряду с открытием многообразия схем использования законов электростатики и электродинамики, обусловили развитие современной электротехники.

Полупроводники вносят революционное качество в решение многих классических задач электротехники тем, что позволяют или содержат перспективу сведения ряда вариаций пространственного распределения зарядов до уровня, приближающегося к молекулярным размерам. Градиенты поля и особенно градиенты плотности информации (число и топологическое множество распределения знакопеременных полей в единице объема), реализуемые в полупроводниковых схемах, существенно выше, чем это удавалось

достигнуть в конфигурационных компоновках поля классических схем (в вариациях проводник – диэлектрик – магнитопровод).

Металлоемкость многих проектных решений полупроводниковой электротехники, которая, по-видимому, может являться одним из важных критериев прогресса, сокращается в 101 - 104 раз в сравнении с существующими классическими решениями.

Благодаря развитию физики твердого тела и новым технологическим возможностям появилось большое разнообразие в топологических вариантах использования законов распространения, управления и передачи энергии электромагнитного поля.

Прогресс, по-видимому, состоит в доведении топологического разнообразия сближения зарядов до расстояний молекулярных размеров и меньше, что может способствовать дальнейшей миниатюризации электротехнических систем и повышению их эффективности.

Предельная возможность оптимизации заключается в использовании межфазовых переходов (корреляционных соотношений на границе твердых, жидких и газообразных сред) или в сверхпроводниках, или в вакууме.

Теоретические пределы сближения зарядов в моделях сверхпроводимости обуславливаются плотностью зарядов, образующих «экситонную» жидкость, для которой минимальная концентрация экситонов $n_e \approx 10^{12} \text{ см}^{-3}$ является достаточной.

Таким образом, перспективы очередного прогресса электротехники базируются на использовании новых возможностей конфигурационного пространства, приводящих к минимизации пространственной топологии зарядов, например, использовании свойств фазовых границ тонких металл-диэлектрических пленок, использовании твердотельной голографии с оптической индикацией информации и других многообещающих возможностей нелинейной оптики. Известно, что использование когерентной оптики позволяет в сочетании, например, с твердофазными голограммами, получить плотность информации 10^8 - 10^9 бит·см⁻³, что соответствует или приближается к возможностям построения схем на молекулярном уровне и др.

Электронные свойства границы раздела твердых, жидких и газообразных сред и их перспектива в электротехнике. Использование результатов исследований электронных корреляций на границе раздела сред относится к общей проблеме физики фазовых переходов.

Феноменологическая (общая теория) фазовых переходов была предложена Ландау в 1937 г. [9].

Дальнейшее развитие феноменологическая теория фазовых переходов получила в работе Гинзбурга-Ландау, посвященной теории сверхпроводимости [10].

Позже в теорию были внесены ряд существенных уточнений, однако последовательная теория фазовых переходов трехмерных систем еще полностью не построена. Различают фазовые переходы

1-го рода, для которых характерно наличие скачка первых производных термодинамического потенциала (к таким переходам относятся переход жидкость— пар, переход в сверхпроводящее состояние при наличии магнитного поля и др.) и переходы

2-го рода, для которых характерно наличие скачка вторых производных термодинамического потенциала (например, переход в сверхпроводящее состояние в отсутствие магнитного поля, сегнетоэлектрический переход, переход ферромагнетика в парамагнитное состояние и др.).

Как уже сказано, фазовые переходы, по-видимому, отражают факт наличия коллективных взаимодействий зарядов в реальных средах, которые зависят от пространственной топологии зарядов в зоне перехода, т. е. от характерных расстояний и характерных энергий для атомных явлений, определяющих масштаб и меру взаимодействия. Физический смысл состоит в том, что межатомные расстояния задаются

диаметром электронного облака – длиной, которую можно рассматривать как амплитуду колебаний электрона в основном состоянии.

Масса ядер (m_j) во много раз больше массы электронов (m_e) и амплитуда ядер (λ_j) значительно меньше амплитуды электронов (λ_e): $\lambda_j/\lambda_e = \sqrt{m_e/m_j}$.

Учет этой разницы, по нашему мнению, весьма важен для причинной интерпретации кинетических закономерностей переноса заряда как в твердом теле, так и на его границе.

В кристаллах и упорядоченных структурах (например, в металлах) ядра образуют локализованный ионный остов, обладающий собственной специфической скоростью распространения электромагнитной волны, отличной от скорости распространения электромагнитной волны по электронному газу.

Пространственные конфигурации электронной волновой функции определяют фиксированное положение ионов, благодаря чему электронная волновая функция принимает вполне определенные состояния, характеризующиеся образами с простой симметрией, связанной с симметрией поля сил между ядром и электронами.

В этом аспекте квантовая механика вносит ограничение, требующее признания понятия идеального тождества – идентичности. Либо два атома находятся в одинаковом квантовом состоянии и тогда они абсолютно идентичны, либо их состояния отличаются и тогда они резко отличаются.

Масштаб и мера взаимодействия в этих условиях определяются характерными расстояниями и характерными энергиями, т. е. пространственной топологией зарядов в реальной среде. Для атомов сила электростатического притяжения между ядром и электроном (со специфической квантовой кинетической энергией электрона) дает в связанном состоянии характерную длину l и энергию E , определяемые фундаментальными константами – элементарным зарядом e , массой электрона m и постоянной Планка h , при этом $l = h^2/me^2$ (боровский радиус), $E = -me^4/2h^2$. Постоянная Ридберга при этом равна $me^4/4\pi h^3 c$.

Таким образом, современная физика твердого тела, физика жидкой среды и газов базируются на изучении квантовых законов движения электронов в кулоновском поле их атомных ядер.

Законы распространения электромагнитного поля в твердых, жидких и газообразных средах и на их границах, статические и динамические корреляционные соотношения, проявляющиеся в химии, молекулярной биологии, являются следствием квантовых законов движения электронов в реальных атомных структурах. Энергетическая устойчивость электронно-ионного остова весьма ограничена и не превышает порядка долей характерной энергии, т. е. постоянной Ридберга.

Возмущения, имеющие порядок нескольких долей электрон-вольта, в состоянии привести к нелинейным корреляционным соотношениям или полностью разрушить их стехиометрию. Именно слабой устойчивостью электронно-ионного остова определяется граница применения законов классической (макроскопической) электродинамики, за пределами этой границы действуют нелинейные уравнения, исследуемые современной физикой.

Для вывода уравнений переноса в реальных средах интерпретации квантовых эффектов недостаточно.

Согласно развиваемой нами модели реальные электроны, принадлежащие разным атомам, находятся в разных состояниях, присущих собственным системам отсчета. Они не идентичны и, например для межфазовых превращений, при сближении электронов и дырок через межфазовую границу, образуют связанные состояния, обладающие новой плотностью энергии, отличной от плотности в самих сопрягающихся средах.

В первом приближении энергия взаимодействия, по-видимому, может оцениваться

$$W = e^2/\epsilon r,$$

где r - расстояние между зарядами: ϵ - диэлектрические свойства разделяющей заряды среды.

Упомянутые ранее затруднения в построении уравнений переноса в сильных электрических полях и состоят в отсутствии возможности вычислить теоретические значения r и ϵ для реальных сред и реальных случаев взаимодействия.

Несмотря на затруднения в построении общей последовательной теории фазовых превращений за последние годы получено много полезных для электротехники экспериментальных фактов, что в известной мере подтверждает предыдущие высказывания о глубокой связи прогресса электротехники с успехами фундаментальных наук – достижений современной физики твердого тела, дальнейшего развития теории фазовых переходов, создании макроскопической теории сверхпроводимости и успехов развития других наук, исследующих электрическую природу материи.

Несмотря на взаимосвязь и взаимообогащение теоретических и прикладных исследований часть новых инженерных решений и фундаментальных открытий возникает спонтанно, часто из эксперимента, как бы без видимого взаимного влияния.

Одним из практических примеров оптимизации корреляционных соотношений на межфазовых границах являются завершённые в ряде стран (СССР, США) исследования по прямому получению электричества из энергии соединения водорода с кислородом (воздухом) [13].

Проблема заключалась в преодолении кинетических ограничений принципиально существующей возможности использования энергии, запасённой в электрически нейтральных газах — диэлектриках. Длительные эксперименты, выполненные в ряде стран большим числом ученых и инженеров, привели к технологическим решениям, обеспечившим образование структуры двойного слоя, ответственной за электронный обмен на трехфазной границе: диэлектрик – металл – раствор. За образование когерентности в зоне сопряжения (промежуточные состояния) ответственны структуры, называемые катализаторами. Катализаторы оптимизируют рекомбинацию электронов на межфазовых границах, снижая энергетические барьеры в элементарном акте рекомбинации. Детальные механизмы кинетики переноса заряда через границу фаз, как и в предыдущих случаях, теорией не разработаны.

Отсутствие завершённой общей теории катализа вызвало необходимость разработки и применения новых экспериментальных методик, направленных на выяснение распределения электронной плотности на реальной поверхности твердого тела и границы раздела контактирующих сред. Именно это обстоятельство, по нашему мнению, обуславливает современный все возрастающий интерес к науке о поверхности (особенно об электронных микроскопических ее свойствах), которая сейчас начинает приобретать новое звучание и содержит по нашему глубокому убеждению перспективу решения фундаментальных проблем интерпретации кинетических закономерностей, отражающих многообразие связей в природе. Несмотря на то, что современная наука о поверхности, по-видимому, находится на уровне понимания физики твердого тела конца 40-х годов XX в., систематическое усовершенствование ее арсенала приводит к открытию новых полезных явлений.

В современном арсенале исследований широко используется вакуум около 10 - 12 *торр*, все виды спектроскопии, включая ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонансы, дифракция мягких электронов, рентгеновских лучей и нейтронов, разновидности кинетических закономерностей взаимодействия когерентного излучения с реальной поверхностью – вакуумная эллипсометрия и др. Используются также современные методы определения феноменологических параметров – пористости, теплоты адсорбции, электропроводности тонких сопряженных сред, интегральных и дифференциальных коэффициентов теплопроводности, коэффициентов диффузии и т. д.

По результатам исследований и экспериментам были заложены основы построения технологии разнообразных электрогенерирующих устройств, практически осуществивших реализацию идеи непосредственного и непрерывного получения электрической энергии из энергии газообразных химических реагентов. В СССР созданы установки, использующие энергию водорода и кислорода (рис. 1), водорода и воздуха (рис. 2), аммиака, спиртов, ряде твердофазных топлив и др.

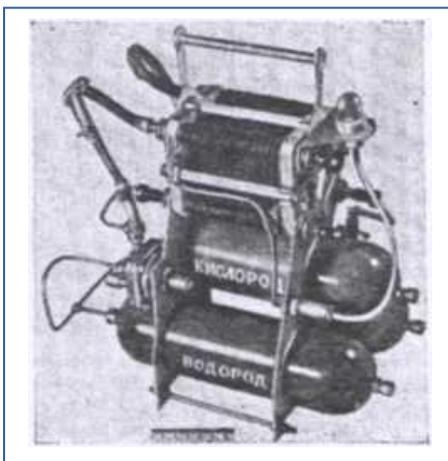


Рис. 1.

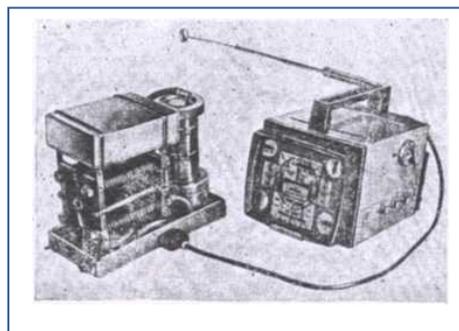


Рис. 2.

Второй пример практической реализации фазовых переходов относится к сфере преобразования информации и перспективам исследования в области жидкостной (молекулярной) электроники. Эти исследования привели к построению ряда схем и устройств, демонстрирующих высокую эффективность преобразования информации, существенно превышающих чувствительность твердофазных преобразователей. Созданы разнообразные индикаторы отказа электронных схем, интеграторы дискретного и непрерывного действия, рецепторы запаха, модели нейрона и ряд других элементов эвристического типа. По-видимому, в этих устройствах мы также сталкиваемся с реализацией возможности технологического сближения топологии пространственного распределения зарядов в схемах до молекулярных размеров и соответствующей экспериментальной возможностью минимизации информационных схем.

Аномальная электрическая емкость и модель гиперпроводности. Предсказан и экспериментально обнаружен эффект получения аномально высоких электрических емкостей около 1 Ф/см^3 [11].

Это удалось обеспечить искусственным (технологическим) сближением образующих емкость электрических зарядов до малых расстояний, определяющих рост градиента потенциала и соответствующий рост абсолютных значений емкости.

Получены макроскопические образования: пленки, волокна, ленты, обладающие аномальной емкостью, разработаны технологические и схемные методы управления законом дисперсии емкости от частоты проходящего тока $C(\omega)$.

Аномальные значения емкости, технологическая возможность управления законом дисперсии $C(\omega)$, а также управления законом пространственного их распределения по заданной программе, позволяют в принципе широко использовать обнаруженный эффект для построения локальных или встроенных в схему конденсаторов, электрических фильтров экстремальных токов, возникающих при размыкании высоковольтных сетей под нагрузкой или в коммутационной аппаратуре, в линиях задержки, в многочисленных схемах компенсации $\cos \varphi$, безындуктивных проводах и линиях передач, а также других перспективных схемах преобразования энергии.

Экспериментально осуществлена модель гиперпроницаемости, которая постулирована и базируется на макроскопических корреляционных топологических соотношениях в электромагнитном поле и не противоречит современным микроскопическим теориям

фазовых переходов, постулирующих появление связанных уровней между частицами в двумерной задаче, при наличии сколь угодно слабого взаимодействия между ними.

С формальной точки зрения возникновение когерентных состояний соответствует появлению отличных от нуля недиагональных элементов в матрице плотности, описывающей атомный ансамбль.

Условием отсутствия поглощения (потерь) в среде является равенство нулю мнимых частей комплексных диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей [12].

В реальных структурах с различного рода дефектами рассеяние электромагнитных волн увеличивается, что приводит, в частности, к повышению диссипации энергии.

Положение существенно меняется для гетерогенных структур (межфазовые границы, линии спайности кристаллов, границы раздела сред, в том числе границы разнозаряженных полупроводников и т. п.), в которых когерентные состояния могут быть обеспечены при выполнении определенных формальных и структурно-топологических условий, способствующих макроскопической упорядоченности (трансляционная симметрия) вдоль вектора переноса, сохраняющих когерентные или квазикогерентные связи. Эти структуры названы нами гиперпроводниками. Практические примеры будут даны в других статьях.

Литература

1. Josephson B. D. Possible new effects in superconductive tunneling. - «Physics Letters». 1962, vol. 1, № 7, p. 531 - 253.
2. Little W. A. Parks R. D. Observation of Quantum periodicity in the transition temperature of a superconducting cylinder. - «Phys. Rev. Lett.», 1962, vol. 9. № 1, p. 9 - 12.
3. Янсон И., Свистунов В., Дмитриеико И. Экспериментальное наблюдение туннельного эффекта для куперовских пар с излучением фотонов. - «ЖТФ», 1965, т. 46, вып. 3, с. 976 - 979.
4. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. М., «Наука», 1974.
5. Москаленко С. А. Обратимые оптико-гидродинамические явления в неидеальном экситонном газе. - «ФТТ», 1962, т. 4. вып. 1, с. 276 - 284.
6. Келдыш Л. В. Электронно-дырочные капли в полупроводниках. - УФН. 1970, т. 100, вып. 3, с. 514 - 817.
7. Абрикосов А. А. О фазовой диаграмме экситонного диэлектрика в сильном магнитном поле. - «ЖЭТФ», 1973, т. 66, вып. 4, с. 1508 - 1517.
8. Meissner W. t Ochseufeld R. Ein neuer Effekt bei Eintntt1 der SupraleitfShigkeit. - «Naturwiss.», 1933. Bd 21, S. 787.
9. Ландау Л. Д. К теории фазовых переходов. - «ЖТФ». 1937, т. 7, вып. 1, с. 19 - 32.
10. Гинзбург В. Л., Ландау Л. Д. К теории сверхпроводимости.- «ЖЭТФ». 1950, т. 20, вып. 12, с. 1061 - 1082.
11. Лидоренко Н. С. Аномальная электрическая емкость и экспериментальные модели гиперпроводимости. - «ДАН СССР», 1974. т. 216, № 6, с. 1261.
12. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М., ГИТТЛ. 1967.
13. Лидоренко Н. С., Мучник Г.Ф. Перспективы и научные проблемы применения методов непосредственного получения электроэнергии из химических топлив. - «Известия АН СССР. Энергетика и транспорт», 1973. М 2, с. 16 - 27.

Электричество, № 7, 1976 г.

НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ XXI ВЕКА

Проанализированы причины техногенных загрязнений планеты Земля, обусловленные экологически далеко не безукоризненной, гигантской индустрией добычи химического и ядерного энергоносителей, а также термодинамическими ограничениями технологии переработки их в электричество.

Рассмотрены электродинамические ограничения, присущие технологиям преобразования электричества в полезные области применений: электрометаллургия, электротранспорт, освещение, машиностроение и др.

На ряде экспериментальных данных, при исследовании безмашинных способов производства электричества, обоснована возможность эффективной обратимости энергии электромагнитного поля.

I. Энергетика и экология

Ежегодный рост масштабов применения ядерного и химического топлива из-за негативных экологических последствий для Земли мировым сообществом отвергается, и все отчетливее признается антинаучным. Актуальность проблемы в мире известна, она подтверждается на большинстве мировых конгрессов по экологии. Перспективы были обозначены открывающейся возможностью ускорить решение проблемы на основании имеющихся в НПО "Квант" экспериментальных факта полученных из усовершенствования теории и технологии безмашинных способ производства электричества, являющихся продуктом конверсии космической технологии.

II. Энергетика и экономика

XX век продемонстрировал жесткую связь между экономическим ростом и развитием энергетики.

За последние 80 лет мировое энергопотребление увеличилось более чем в десять раз, и в XXI веке эта тенденция сохранится. Однако энергетика оказалась и среди главных факторов индустриального, теплового и радиационного загрязнений планеты. Прогрессивно увеличивается техногенное радиационное и электромагнитное загрязнение Земли.

Как отмечено на международных конференциях в Рио-де-Жанейро (1992 г.) и Киото (1997 г.), более 25% расхода энергоресурсов и промышленных выбросов приходится на США. Журнал "Шпигель" отмечает, что "Америка позволяет себе использовать автомобили, сжигающие 20 литров бензина на 100 км пробега". Расход бензина в среднем на каждого жителя США в 1996 г. составил 1705 л, в то время как в Германии только 496 л соответственно. Неоправданный расход энергии присутствует во многих образцах бытовой и производственной техники, изготавливаем) США, Россией и рядом других стран.

Загрязнение планеты достигло предельного значения. Наибольший удельный вес загрязнителей занимают продукты сгорания органического топлива, и рекордсменами сжигания оказались автомобили. Опасными для человека являются содержащиеся в выхлопных газах соединения свинца. К 2000 г. выделение свинца с выхлопными газами из автомобилей превысило 3,5 млн. т. Бензиновое противостояние, вспыхнувшее в конце 2000 г. в ряде стран Европы и США, является лишь предвестником грядущего энергетического кризиса планеты, который политикам следует учитывать.

В начале XXI века мир поставлен перед фактом того, что жизнь на Земле оказывается в биологическом тупике: демография, радионуклиды, тепловые, химические, индустриальные и электромагнитные загрязнения.

Загрязнения континентов неодинаковы и все увеличиваются, благодаря очень низкому КПД преобразования в электричество химического и ядерного энергоносителей.

Между тем живая природа, используя энергию атома и окружающей среды, демонстрирует примеры более экономного потребления энергоресурсов и обеспечивает при этом условия экологического равновесия и сохранения жизни на Земле. Она потребляет энергию не на уровне высоких потенциалов и температур, а на биологическом уровне температур и корреляционных связей.

Это происходит за счет высокой эффективности преобразования энергии в работу или в другие виды полезных применений в специфичных для органической среды, так называемых, "слабых" взаимодействующих полях. Современную технологическую концепцию повышения быстродействия вычислений в информатике природа заменила на более эффективный - эвристический алгоритм распознавания, черпая информацию от сенсоров, в том числе пассивных, обеспечивающих параллельное считывание и селекцию спектральных компонент внешнего физического образа.

Одной из целей творческого поиска ученых XXI века является раскрытие механизмов и реализация экономичных способов производства и преобразования электричества в работу, а также восприятие и переработка информации, присущих живой природе.

III. Экологией планеты управляют политики?

Сформулированная В. Вернадским в 1922 г. [1] концепция – «биосфера является основополагающей областью научного познания», - мировым сообществом своевременно не была осознана и не принята к действию. Не восприняты политиками и более поздние разработки Форрестреля, доклады Римского клуба о несоответствии роста населения Земли темпу прироста продуктов питания. Выводом, который помог бы выжить землянам, было бы принятие мировым сообществом глобальных межнациональных программ по экологии планеты.

Однако политика войн, продолжавшаяся с целью захвата власти, рассредоточила "мировую научную мысль по национальным интересам, нацелила ее не на заботу о сохранении биосферы планеты, а на создание средств борьбы с себе подобными.

Во второй половине XX века индустриальные страны мира в первую очередь и щедро финансировали национальные исследования по ядерному оружию, реактивной авиации, ракетным системам.

Эти направления требовали достижения высоких энергий, высоких температур, сверхзвуковых режимов, быстро протекающих процессов. И все это требовало огромного и все возрастающего объема добычи и переработки энергоресурсов, проводимых неэкологичными устаревшими технологиями с низкими КПД.

В научном мире – в термодинамике, физике, газодинамике, электротехнике, – стало модным и поощрялось изучение высокоэнергетических процессов, ядерных превращений, лазерного оружия, высокотемпературной плазмы, гигантских ракет и самолетов.

Были забыты регулярные протесты международных экологических конгрессов, заветы Вернадского, призывы отдельных ученых о глобальной значимости поддержания экологического соответствия между масштабом энергозагрязнений от индустрии и жизнеспособностью окружающей среды.

На рубеже XX-XXI столетий переживаемые людьми природные катаклизмы очередной раз напоминают политикам о правах народов требовать от руководителей своих государств вложения инвестиций не в войну, а в более глубокое изучения научных

механизмов экологичного производства и использования энергоресурсов планеты на уровне, реализуемом живыми структурами.

К концу XX века одна из проторенных дорог этого направления обозначена как дальнейшее усовершенствование теории безмашинных способов производства электричества. Стимулом этому послужили программы конверсии космической энергетики, продемонстрировавшие, на примере создания электрохимического генератора, высокоэффективное, до 70-98%, превращение энергии химического топлива в электричество.

Выявлены электродинамические закономерности элементарных актов возбуждения заряда, механизмы его распространения и высокоэффективного преобразования в нелинейных электромагнитных структурах, специфичных для энергетических и информационных циклов живых структур.

Углубленная разработка физики и технологии гиперпроницаемости – управления микро- и макровзаимодействиями на границе раздела жидких, твердых и газообразных сред, – управление динамикой подвижности заряда, позволяет экспериментально понизить расход электричества на всех циклах его производства и преобразования в другие виды [2].

IV. Экологичная энергетика – продукт космической технологии и релятивистской термодинамики!

Одним из крупных событий второй половины XX века, возбудивших творческую мысль, явилась конкуренция СССР – США за приоритеты в освоении космического пространства. Стимулирующим фактором для конкурирующих стран было удовлетворение их военных амбиций, а для ученых – расширение познаний о строении материального мира.

Крупное финансирование и научный интерес привлекли к участию в разработке космических технологий интеллектуальный потенциал большинства индустриальных стран мира. К концу 1965 г. только проблемами космической энергетики занимались ~ 50 крупных лабораторий и предприятий в США, Европе и СССР.

Космонавтика открыла недоступные раньше средства глобальных оценок экологических последствий от индустриальных загрязнений планеты, непредсказуемые ранее технические решения проблем навигации, телекоммуникаций и средств измерений физических полей на новом уровне техники, усовершенствование методов предсказаний погоды и др.

Среди задач, решаемых космическими технологиями, как выяснилось позже, оказалось и создание нетрадиционных способов производства электричества в условиях невесомости космического пространства.

Молекулярная кинетика, ответственная за энергообмен в космосе в большей степени чем ожидалось, оказалась критичной к полю гравитации.

Машинные циклы, разработанные и используемые к тому времени для наземных целей, преобразующие химическое или ядерное топливо в электричество через молекулярный теплоноситель, для условий невесомости оказались непригодными.

Пришлось возвратиться к функциональному анализу энергообменных технологий, в открытых ранее физических явлениях, демонстрирующих способность непосредственному – безмашинному способу получения электричества, базирующихся на явлениях Л. Гальвани, А. Вольта, Т. Зеебека, Ж. Пельтье, фотоэффекте и др., преобразующих в электричество: химическую, тепловую, солнечную и ядерную энергию.

Как показали исследования, все перечисленные эффекты производства заряда базируются на использовании контактной разности потенциалов, возникающих между разнородными атомами, молекулами, кластерами, дефектами структуры кристаллов, границами раздела сред, возбуждаемых энергией окружающей среды: химической,

солнечной, тепловой, ядерной с удельной плотностью заряда, превышающей достижения машинных циклов.

Механизмы возникновения и переноса заряда, исследованные на основе многолетних экспериментальных данных по безмашинным способам возбуждения и переноса заряда в нелинейных средах излагаются ниже.

V. Электроэнергетики в XX веке. (Достижения и перспективы)

XX век справедливо называют веком электричества. Небывалые успехи в темпах технического прогресса, производительности труда и облегчения умственной деятельности, автоматизация и кибернетика, новые средства связи, – основаны на использовании электричества, как энергоносителя, без которого обеспечить динамичный рост экономики было бы невозможно. В силовой энергетике конкуренция с Т. Эдисоном в начале века привела к победе идей гениального Н. Тесла, М.И. Доливо-Добровольского и других ученых, разработавших технологии переменного тока.

Трансформаторы, двигатели переменного тока, преобразователи, системы использования высокой частоты, высоковольтные линии электропередач, электротранспорт, электрометаллургия, вспомогательное оборудование составили главные компоненты силовой электротехники XX века, созданные талантом Н. Тесла, М.И. Доливо-Добровольского, Дж. Вестингауза и их последователей. Многофазные линии электропередач переменного тока в мире развивались в направлении повышения качества изоляции, соответственно, роста напряжения сетей и преобразуемой мощности.

Теория классической электротехники развивалась, в основном, используя пространственно распределенные изотропные среды и соответствующие материальные уравнения для их описания.

Предложенные Н. Тесла магнитные структуры обеспечили производство, трансформирование, преобразование электричества в другие виды энергии, но к концу века так и не достигли экономики оправданных показателей по пропускной способности, реактивным потерям, устойчивости к нагрузкам сетей и потребителей.

Стоимость передачи энергии по электрическим сетям высока, КПД преобразования электричества в другие виды энергии крайне низок, суммарные потери генератор - сеть - потребитель снижаются медленно. В целом, использование энергии недостаточно эффективно. Для планируемых масштабов энергетики Земли XXI века эти технологии оказываются бесперспективными.

За 100 лет развития гигантской индустрии производства и использования электроэнергии, планета начинает задыхаться от индустриальных и тепловых загрязнений. В настоящее время становится ясно, что эти загрязнения определяются только весьма низким КПД производства электричества из энергии ядерных и химических превращений и еще более низким КПД превращения электричества в выше обозначенные полезные применения.

Из энергии всего добываемого ядерного и химического топлива, проходящего через теплоноситель и машинное преобразование, в среднем только 40% преобразуется в электричество, 60% энергии топлив загрязняют планету выделяющимся теплом бесцельно, не производя при этом полезной работы. Однако даже из 35% электричества только 10% продуцируется в полезный продукт: свет, синтез новых материалов, электротранспорт, металлургию, машиностроение и т.п.

Таким образом, из огромной экологически далеко небезукоризненной энергетической индустрии добычи ядерного и химического топлива, только 4% производит полезную работу, около 96% превращается в тепло, загрязняя планету.

Следует обратить внимание на разработку и использование скрытых, пока еще нетрадиционных решений в технологиях безмашинного преобразования, однако содержащих крупный резерв экономии энергоносителей, расходуемых на единицу валового национального продукта.

Проблемой научно обоснованного планирования масштаба развития энергетики XXI века становится выбор между динамикой дальнейшего развития неэкологичной энергетической индустрии и перманентным развертыванием новых электрофизических технологий, кардинально повышающих КПД производства и преобразовывающих электричества в другие виды.

Научно обоснованный рост мировой энергетики XXI века и соответствующий подъем экономики могут быть обеспечены только через реализацию новых электрофизических и экологических технологий космической энергетики, научные основы которых опираются на углубленное изучение самих электрических явлений в нелинейных средах [3-5].

VI. Электричество без электрических машин

Новые теоретические оценки и технологические решения перманентно обнаруживались в процессе экспериментальных, многолетних исследований электромагнитных свойств жидких, твердых, газообразных сред и границ их сопряжений. Данные кинетики использовались при производстве электричества безмашинными способами, непосредственно из солнечной, тепловой энергии, химических и ядерных превращений

Профессионально исследовались фото, Гальвани, Пельтье, Зеебека и другим эффекты возбуждения и распространения заряда в жидких, твердых и газообразных средах при различных параметрах их взаимодействия с энергией различных возбуждающих полей и окружающей среды [6, 7].

Изучалась подвижность заряда в самих средах, кинетические явления на границах их сопряжений, разрабатывались методы измерений, технология управления кинетикой и факторами оптимизации КПД преобразования.

За 30 лет исследований КПД фотодиодов в производстве вырос в десять раз (от 2,3 до 23%); в 1964 - 1974 гг. впервые в мире созданы молекулярные конденсаторы с пятидесятикратным и более ростом удельной энергии, против существующих в то время открыт поперечный фотоэффект (1968 г.), обеспечивающий преобразование в электрический сигнал 1000-кратную плотность потоков светового излучения, созданы детекторы прямого преобразования в электричество энергии α, β, γ, n -излучений [8-10].

Все исследования по физике твердого тела, начиная с 1950 г. до настоящего времени проводятся под научно-методическим руководством Петербургского физико-технического института им. А.Ф. Иоффе, ФИАН им. Лебедева и других институтов г. Москвы [11].

Создана серия электрохимических генераторов. Получен рекордный КПД преобразования энергии химического топлива в электричество, который достиг 70% в силовых установках и 98% в информативных (слаботочных системах) соответственно.

Организованы производства серий новых химических источников тока с использованием 56 электрохимических пар, в том числе, на электролитах-расплавах с 30-летней сохранностью заряда, серии батарей резервного типа ампульной конструкции с 25-летней сохранностью заряда, серии мощных серебряно-цинковых аккумуляторов на $6 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{ч}$, термоэлектрических генераторов и солнечных батарей с использованием монокристаллического кремния и арсенида галлия, а также технологии аморфного кремния, обеспечивающие космические программы России, заказы Индии и Франции, а также ряд совместных программ с США, включая станции "МИР", МКС и др.

Экспериментально и теоретически исследованы электромагнитные явления на границах раздела сред, в том числе процессы, происходящие на стыке микро- и

макроявлений, включающие и теорию полупроводников, теорию фазовых переходов, разделы физики поверхности, квантовой электродинамики, физики металлов и диэлектриков, электрохимию и сверхпроводимость. Это привело к прогнозированию явления "гиперпроницаемости" (1974 г.) [12], а затем к созданию технологии квазисверхпроводимости, в эксперименте продемонстрировавшей условия аномального переноса заряда при температурах 300-350 К (13).

Механизмы энергомассообмена отвечают современным представлениям науки, включая теорию фазовых переходов, квантовую электродинамику, физику твердого тела и др. [14 - 17].

Технология квазисверхпроводящих сред, в отличие от технологии проводников с классической "низкотемпературной сверхпроводимостью", а также современных технологий микроэлектроники, обеспечивает построение не информативных, а силовых электрических цепей, обладающих широким спектром переноса заряда по амплитуде, частоте и плотности состояний материи [18].

Экстремумы оптимизации имеют цель повышения КПД преобразования энергии за счет усовершенствования термодинамики столкновительных процессов заряженных частиц в предварительно возбужденном энергоносителе, обеспечении снижения энтропии процесса производства электричества в нелинейных искусственно синтезированных средах, возбужденных низкопотенциальной энергией окружающей среды*.

Концепция не нарушает закона сохранения энергии и других фундаментальных законов природы, но опирается на исследования мировых, в том числе российско-белорусских научных школ и технологий в области нелинейных явлений, с учетом границ раздела сред, исследуемых классической и квантовой термодинамикой (диссипативные среды), в которых, по терминологии Э. Неттер, И. Пригожина и других, допускается возможность расширения и делокализации спектрального распределения частиц и самообращение волнового фронта [19].

VII. Максвелл был прав?

В 1871 г. Д. Максвелл предложил мысленный эксперимент, включающий "существо, способности которого обострены настолько, что оно может проследить за динамикой каждой молекулы". Максвелл представил себе сосуд с газом, разделенный на две части А и В стенкой, в которой имеется маленькое отверстие. Существо наделено способностью видеть отдельные молекулы, а также открывать и закрывать это отверстие так, чтобы разрешить прохождение из В в А только быстрых молекул, а более медленным – проходить из А в В, то без совершения работы, за счёт статистического распределения, можно было бы поднять температуру А и понизить температуру В, что противоречит второму началу термодинамики. Механизм "статистического распределения" не рассматривался. Этот вызов второму закону термодинамики подразумевает, что двухкамерная система энергетически не зависит от своего окружения. В. Томсон, анализировавший проблему, назвал открывание и закрывание заслонки между камерами "демоном Максвелла". На интерпретаций гипотетического феномена в свое время обратили внимание многие известные физики мира, включая Нобелевских лауреатов. В частности, Л. Сциллард написал, что «Демон Максвелла» мог бы сортировать молекулы только тогда, когда он имел бы информацию о них.

Рассмотрение проводится и на уровне термодинамики "открытых систем".¹

¹ Законы сохранения не нарушаются. Второй закон сохранения справедлив только для замкнутых консервативных систем. В открытых системах энергомассообмен теорией не запрещен. Он возникает между системами через фазовый переход. Отток энтропий из системы, поэтому, способен и уравновесить, и снизить общий уровень энтропии в системе, что специфично для фазовых переходов.

- Энтропия является аддитивной функцией состояния системы и равна сумме энтропий ее подсистем $\Delta U - \Delta G + \Delta A$, $\Delta S = dG/T$

Л. Бриллюэн и Деменье подтвердили это, подразумевая визуальное наблюдение методом предварительной подсветки системы, которая бы маркировала частицы Бриллюэн показал, что энтропия, связанная с этим видом процесса сбора информации, существенна и может полностью компенсировать выигрыш от энтропии самой сортировки.

Однако Лантауэр и У. Беннет отвергли категоричное утверждение Бриллюэна, чем вновь возбудили интерес к проблеме. Далее сошлемся только на последующие обзоры.

Достаточно полный обзор выполнен Х. Леффом [20], в нем на моделях тщательно проведен анализ времени, которое следовало затратить «сортирующему демону» приобретения заметного эффекта разделения частиц за счет термической диффузии, если бы заслонка была открыта; Дж. Джинс перед этим высказал мнение о том, что при термической флюктуации молекул результат разделения связан со скоростью переноса энергии. В гл. 2 вышеупомянутого обзора убедительно обосновано, что неопределенности В. Гайзенберга в форме энергия - время, действительно ограничивают быстродействие за счет последовательной сортировки. Например, в классическом газе и без стимулирующей диффузии для достижения цели при температуре 300 К, верхний предел мощности, обеспечиваемый процессом в комнате 1000 м³ не превышал бы $1,5 \cdot 10^{-6}$ Вт, а время для достижения разницы температуры по обе стороны 2 К превысило бы 1000 лет.

В гл. 3 и 4 автор ввел в модель более жесткие ограничения; рассмотрев результаты последовательной обработки, он доказал неэффективность ее результата. Только параллельная обработка разделения смеси газов могла бы быть эффективной. Проанализированы и результаты анализа Бриллюэна, а также пределы, накладываемые принципом неопределенности Гейзенберга.

В разное время интерес к проблеме проявили: Л. Сциллард, У. Беннет, Л. Бриллюэн, Рекс, С Вайнберг, О. Клейн, Дж Даут, Дж Джинс, Эренберг, Демер и др. Интерес этот не случаен. Так как вслед за выявлением потенциальной возможности решения остается множество еще не разработанных вариантов возможного практического применения в новейших областях нелинейной физики и техники, о чем будет сказано ниже.

VIII. Двухуровневые системы – базовая основа кинетики

Разнообразие вариантов анализа эксперимента Максвелла, проведенных почти за 100-летие большой группой физиков, выявило и некоторые оптимизационные критерии задачи: маркировка частиц, уход от неэффективной последовательной обработки результатов, открытие способов максимального развития числа "отверстий дьявола" для параллельного управления диффузией заряда и в целях увеличения скорости обработки результатов. Часть критериев обязательна для того, чтобы уйти от предела, накладываемого принципом неопределенности Гайзенберга.

Процессы инвариантного обмена энтропией между системами описываются нелинейными системами. В открытой системе для увеличения динамики обмена энергией или энтропией необходима регулировка встречных потоков, что, например, в молекулярных средах достигается изменением порядка деструкций, парением фазы, намагниченностью и др.

По физическому смыслу – параметр порядка это корреляционная функции, определяющая степень последующей упорядоченности системы (потока газа, жидкости, тепла, звукового поля).

В электромагнитном поле главным критерием (экстремумом) порядка является перенос заряда, зависящий от времени (скорости) подвижности электрона V/C_0 , применительно к сверхпроводимости, например. видом волновой функции деструкции бозоновых пар.

Динамика фазового перехода, таким образом, определяется двумя временами релаксации и описывается кинетическими уравнениями Фокера-Планка:

- временем формирования метастабильного состояния;
- временем установления равновесного распределения (эволюция параметра порядка).

Технология построения структур, удовлетворяющих релаксационным временам систем, должна, следовательно, учитывать и время установления равновесия относительно границ энергетической щели (скорость заполнения носителями поверхности Ферми) и скоростью релаксации на границе несущей волны $1/\lambda$.

Рассмотрение проводится и на уровне термодинамики "открытых систем".¹

Используя современные достижения физики и технологии твердого тела, автор полагает логичным камеры Максвелла с газом представить состоящими не из нейтральных молекул, а из заведомо маркированных частиц, синтезированных в полупроводниковых камерах, изготовленных из термодинамически разнородных кристаллов, как известно, содержащих газ позитронов, фононов и электронов. Замена правомерна, так как даже наличие огромной разницы в масштабе силового поля модулярного газа и газа твердого полупроводникового кристалла, они в динамике проявляют общие закономерности обмена энергией, что в современной теории начинает широко использоваться.

По-видимому, Максвелл предвосхитил актуальность перспектив термодинамического анализа подобных структур на молекулярном уровне, которые много позже и уже на квантовом уровне стали одной из базовых моделей изучения физиками кинетики во всем многообразии ее проявлений в природе.

Сопряженные слоистые структуры в двухуровневых системах, рассматривающие стык уровней энергии Гиббса (энергия поверхностных состояний) и двухуровневой – энергии Ферми, изучаются и в настоящее время исследователями циклов безмашинного производства электричества: фотоэффектом, эффектами Пельтье, Гальвани, Зеебека, Нернста, Фарадея, и других, открытыми в прошлом веке, но относительно кинетики на квантовом уровне до сего дня расшифровываются медленно и только экспериментально.

Корректное квантовое описание спин-спиновых состояний в континуумах по обе стороны фазового перехода, ответственных за кинетику, под влиянием внешних возмущающих полей на микроуровне затруднено (проблема многих тел) и еще не завершено.

Идея Максвелла о сепарации энергетически выгодных "быстрых" частиц через "регулируемую диафрагму" на быстрые и медленные, таким образом, потенциально стимулировала возможность квазидвумерного подхода к рассмотрению подвижности носителей электрических зарядов как в сопряженных средах, так и через фазовый переход*.

Анализ "Демона Максвелла", выполненный ведущими физиками мира в последние десятилетия, позволил подойти и к выводу о неэффективности реализации теплофизических циклов производства электричества, например, реализуемых в современных машинных циклах ядерных и химических превращений.

Следствия

1. К началу XXI века электричество остается единственным экологически чистым энергоносителем, обладающим способностью к восстановлению (рекуперации) своих исходных качеств после совершаемой работы, что недоступно ни химическому, ни ядерному энергоносителям, использующим в циклах термодинамических преобразований промежуточные теплоносители.

Электричество присутствует всюду: в ядре, атоме, межатомных связях, в молекулах, кластерах, кристаллах, границах раздела фаз жидких, твердых и газообразных сред. Использование теплоносителя снижает первичную энергию электронов и рассеивает ее в окружающей среде.

2. Одной из причин крайне низкой эффективности использования ядерного и химического видов топлива является традиционное применение молекулярных энергоносителей (пара или газа), а также машинных способов преобразования их в электричество. Дальнейшее увеличение использования традиционных циклов в XXI веке с экологическим состоянием планеты не совместимо.

**В кинетике энергомассообмена двухуровневых систем энтропия определяется уже не температурой, а только числом степеней свободы частиц.*

3. Технология квазисверхпроводящих сред является единственным экспериментально апробированным методом обеспечения эффективной обратимости

энергии электромагнитного поля при высоких температурах (300-350 К), что недоступно моделям низкотемпературной сверхпроводимости.

4. Новая технология открывает перспективы кардинального (десять процентов) повышения эффективности использования электричества на единицу валового национального продукта и во многих областях практических применений.

5. Технология и теория содержат возможность высоко эффективного их применения в ряде смежных областей техники: в перспективных проблемах нелинейной механики, гидродинамики, кинетики химических и ядерных превращений.

6. Научно обоснованное планирование развития энергетики в XXI веке зависит от компетентного выбора пропорций между расширением использования ядерного и химического энергоносителей и перманентным внедрением наукоемких электрофизических технологий в современную энергетику, обеспечивающих значительную экономию расхода энергоресурсов на единицу валового национального продукта.

Литература

1. Вернадский В. Философские мысли. М.: Наука, 1988.
2. Лидоренко Н.С. Научное открытие/Ассоциация авторов научных открытий. № 41. Рег. 21. XI.1996. Диплом № 41. М.
3. Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. М.: Мир, 1980.
4. Лоренц Г.А. Лекции по термодинамике. М.-Л.: ГТТЛ, 1946.
5. Захарчани Б.П., Майер Ф. Оптическая ориентация. М.: Наука, 1989.
6. Фейнман Р. Характер физических законов. М.: Мир, 1959.
7. Фарадей М. Связь между тяготением и электричеством. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 224-231.
8. Френкель Я.И. На заре новой физики//Сб. ст. Л.: Наука, 1976.
9. Зильберварг В.Е., Креишина Л.Т., Лидоренко Н.С., Нагаев ЭЛ. Металлизированные субмонослои атомов, адсорбированных на непроводящей подложке//Письма в Ж. 1981. Т.34. Вып. 1. С. 9-12.
10. Лидоренко Н.С., Коломоец Н.В. Размерные эффекты в монокристаллических пленках РbТе//Докл. АН. 1980. Т. 250. № 1.
11. Проблемы современной физики // Сб. ст. к 100-летию А.Ф. Иоффе. Л.: Наука, 1980.
12. Лидоренко Н.С. Аномальная электрическая емкость и экспериментальные модели гиперпроводимости // Докл. АН СССР. 1974. Т. 216. № 6.
13. Больцман Л. Избранные труды. М.: Наука, 1984.
14. Зельдович Б.Я., Пилинецкий П. Обращение волнового фронта. М.: Наука, 1985.
15. Бароне И.А., Патерно Д. Эффект Джозефсона. М.: Мир, 1982.
16. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М.: Огизтехиздат, 1948.
17. Лидоренко Н.С., Нагаев ЭЛ. "Химический" механизм фазового перехода изолятор – металл//Физика твердого тела. 1980. Т. 22. Вып. 2. С. 566-569.
18. Лидоренко Н.С. Научное открытие/Ассоциация авторов научных открытий. Рег. № 199 15.IV.2001. Диплом, № 168, М.
19. Зельдович Б.Я. Частицы, ядра, вселенная. М.: Наука, 1985. Паркер Б. Мечта А. Эйнштейна. М.: Наука, 1991.
20. Leff H.S. Maxwell's demon, power, and time. California: University Pomona, 1988.

Известия Академии наук. Энергетика. УДК 621.3, 2003 г.

Содержание

<i>Фаворский О.Н.</i> Николай Степанович Лидоренко	3
<i>Янченко Г.И., Янченко В.Д.</i> Вспоминая Николая Степановича Лидоренко	5
<i>Волгин А.Б.</i> Мои воспоминания	7
<i>Стребков Д.С.</i> Вклад Н.С. Лидоренко в создание солнечной энергетики	10
<i>Каган М.Б.</i> Космическая фотоэнергетика – достижения и перспективы	15
<i>Нестеришин М.В., Стадухин Н.В., Макарова Н.Ф., Воронцова Е.О.</i> Тенденция разработки солнечных батарей АО «НПП «Квант»	25
<i>Евдокимов В.М.</i> Термодинамика фотоэлектрического преобразования солнечного излучения в электрическую энергию	28
<i>Чижевский С.В., Артеменко Б.Н.</i> Молекулярная электроника и суперконденсаторы	37
<i>Троценко В.М.</i> Датчики внутриреакторного контроля	43
<i>Тереков А.Я.</i> Вклад чл.-корр. РАН Н.С. Лидоренко в развитие термоэлектричества в России	48
<i>Каричев З.Р.</i> Взгляд через забор. Способность предвидеть	57
<i>Павлушков Б.Э.</i> Системы преобразования энергии для транспортных и стационарных устройств	62
<i>Воронков Г.Я.</i> Роль Н.С. Лидоренко в развитии электрохимических преобразователей (хемотроники)	64
<i>Кузьменко Б.Б.</i> Электрохимические преобразователи механических величин и хемотронные приборы на их основе	69
<i>Каричев З.Р., Тейшев Е.А.</i> Электрохимические генераторы. История развития и итоги разработки	85
<i>Денискин А.Г.</i> Резервные тепловые химические источники тока. Этапы развития и перспективы	92
<i>Утямышев И.Р.</i> Разработки НПО «Квант» для медицины	97
<i>Лихоносов С.Д., Кожухарь В.Д.</i> Идеи, воплощенные в жизнь	103
<i>Лебедев А.А., Слыщенко Е.В., Вагапова Н.Т., Генали М.А.</i> Связь времён, связь поколений.	111
<i>Некрасов А.В.</i> Акционерное общество, «Научно-производственное предприятие «Квант»	113
ФОТО	116
Открытие Н.С. Лидоренко	118
Публикации	
Новые способы получения электрической энергии	119
Состояние исследований и перспективы непосредственного преобразования видов	125
Об ускорении внедрения результатов фундаментальных исследований	131
Способы преобразования энергии	137
Аномальная электрическая ёмкость и экспериментальные модели гиперпроводимости	145
Возможность реализации «Демона Максвелла»	147
Об электрической природе материи и перспективах электротехники	150
Научные и технологические основы экологической энергетики XXI века	159

Составитель сборника – Е.А. Тейшев, к.т.н.

Научный редактор – А.Н. Федоровский, к.ф.-м.н.

Редактирование и компьютерный дизайн – М.П. Кондрашова, фото – Н.И. Семёнов