

Безручко К.В., Губин С.В.,
Екимов А.А., Туркин И.Б.,
Шепетов Ю.А., Горбенко Г.А.,
Капустин А.А.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ
СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК КОСМИЧЕСКОГО И НАЗЕМНОГО
ПРИМЕНЕНИЯ И УЧАСТИЕ ХАИ В ИХ РЕАЛИЗАЦИИ НА УКРАИНЕ**

Солнечные энергоустановки (СЭУ) являются сложными многокритериальными техническими системами, в состав которых входят: батарея фотоэлектрических преобразователей (БФ) в качестве первичного источника энергии, батарея химических аккумуляторов (БХ) в качестве буферного накопителя энергии, электронная аппаратура регулирования и контроля, обеспечивающая эксплуатацию БФ и БХ на нагрузку.

На Украине рассматриваемый тип энергоустановок является одним из основных источников электроэнергии на борту разрабатываемых космических аппаратов связи. Начинают рассматриваться и наземные аналоги этих установок – автономные малогабаритные переносные солнечные энергоисточники для питания бытовой электроаппаратуры и других потребителей.

На сегодняшний день можно назвать ряд перспективных направлений, по которым на Украине осуществляется разработка солнечных энергоустановок:

– использование и развитие методов математического и физического моделирования при проектировании, испытаниях и эксплуатации СЭУ, что позволяет существенно сократить сроки разработок, снизить материальные затраты и значительно повысить информативность работ;

- разработка новых агрегатов и элементов и, в первую очередь, создание собственных украинских фотопреобразователей (солнечных элементов);

- развитие специализированных испытательных средств и стендовой базы для испытаний СЭУ и их элементов;

- разработка семейства конструкций малогабаритных автономных переносных солнечных источников электропитания бытовых потребителей на основе опыта работ по космической солнечной энергетике.

Харьковский авиационный институт, активно участвуя в решении рассматриваемой проблемы по каждому из перечисленных направлений в составе кооперации организаций Украины (КБ "Южное", ПО ХЗЭА, НИТИП, НПО "Знамя", ИПАН, НПО "Метрология", ИПМаш и других) выполнил комплекс взаимосвязанных исследований, результаты которых излагаются ниже.

Применение методов математического и физического моделирования при решении задач проектирования СЭУ космических аппаратов (КА) связи, создаваемых КБ "Южное"

Развивая имеющийся в ХАИ научный задел по моделированию космических энергосистем и их элементов, решен ряд проектных задач на различных стадиях разработки бортовых солнечных энергоустановок.

На ранних стадиях разработки СЭУ КА необходимы оптимальные схемные решения и согласование основных параметров агрегатов в системе. Задача такого класса решена для СЭУ геостационарного спутника связи "Гранат" на стадии аванпроекта, где с помощью комплекса математических моделей выполнен анализ структур солнечных энергоустановок высокоорбитальных КА. Определена оптимальная структура СЭУ на основе низковольтных никель-водородных химических батарей с последовательно включенным регулятором напряжения, что позволило снизить массу СЭУ КА "Гранат" на 7%.

К задачам такого же класса относятся и вопросы синтеза новых эффективных систем терморегулирования агрегатов СЭУ КА и систем терморегулирования космического аппарата в целом на основе двухфазных контуров теплопереноса с капиллярной прокачкой. Данная работа обеспечена комплексом созданных новых элементов термоциркулярных контуров (гидроаккумуляторов, сепараторов и т.п.).

Задачи более поздних стадий (например, эскизного и технического проектирования) рассматривают вопросы улучшения характеристик СЭУ путем рациональной организации и оптимизации режимов работы агрегатов в составе солнечной энергоустановки. Например, для энергосистемы среднеорбитального КА "Океан-У" с помощью экспериментально обоснованных математических моделей аккумуляторной батареи (АБ) выполнены исследования возможности повышения ресурса СЭУ на основе организации кулонометрического управления циклированием батареи никель-кадмиевых аккумуляторов (типа НКГ-110 КА, 110 СКА).

Кулонометрическое управление работой химической батареи основано на использовании в бортовом счетчике ампер-часов (САЧ), являющимся одним из регуляторов СЭУ, переменного коэффициента интегрирования (т.е. переменного коэффициента эффективности использования тока в процессе заряда-разряда батареи). Этот коэффициент зависит от изменений тока, температуры и степени заряженности, которые непрерывно регистрируются в процессе бортовой работы химбатарей. Для решения такой задачи разработана методика экспериментального определения зависимости эффективности использования тока заряда-разряда АБ от измеряемых параметров: напряжения, тока, скорости изменения давления, внутреннего тепловыделения аккумуляторов.

Разработанные в ХАИ экспериментально обоснованные математические модели солнечной и аккумуляторной батареи, СЭУ в целом использованы для имитационного моделирования и создания комплекса компьютерной диагностики, предназначенного для оперативного обнаружения и локализации нештатных ситуаций солнечной энергоустановки при эксплуатации высокоорбитального КА "СМ-ИИ". Разработанный программный комплекс диагностирования технического состояния солнечной энергоустановки предназначен для решения двух последовательных задач: а) обнаружения отказов при работе СЭУ на основании непрерывно поступающей телеметрической информации с борта КА "СМ-ИИ"; б) поиск места возникновения обнаруженных отказов.

Разработка и испытания фотопреобразователей для солнечных батарей космического и наземного применения

Фотоэлектрические преобразователи (ФП, солнечные элементы), на которых основана конструкция солнечных батарей, ранее разрабатывались и производились в НПО "Квант" (г. Москва) и других организациях России. С разрывом экономических связей задачи разработки ФП на Украине стали чрезвычайно актуальными. На сегодняшний день по заданию КБ "Южное" кооперацией организаций и предприятий Украины (ИТИП, ХАИ, ХПИ (г. Харьков); НПО "Знамя" (г. Полтава); ИΠΑИ (г. Киев); завод чистых металлов (г. Светловодск Кировоградской области) и др.) созданы первые образцы солнечных элементов на основе монокристаллического кремния. В ХАИ выполнен комплекс работ по созданию методик испытаний и метрологической аттестации (совместно с НПО "Метрология") новых кремниевых солнечных элементов, выполнены экспериментальные исследования солнечных элементов, созданных в различных организациях Украины.

Испытания проведены на специализированном стендовом оборудовании, разработанном в ХАИ. Результаты испытаний ФП, созданных в НИТИП (г. Харьков), ИПАН (г. Киев), НПО "Знамя" (г. Полтава), представлены на рис. I (для сравнения даны характеристики серийного ФП, разработки НПО "Квант", г. Москва).

Разработка специализированных испытательных средств и стендовой базы для исследований, аттестации и комплексных испытаний солнечных энергоустановок и их элементов

В ХАИ разработано семейство специализированных испытательных стендов:

- для исследований и метрологической аттестации единичных фотопреобразователей; установки используют вольфрамовые лампы накаливания ЗК 500-220 и галогенные лампы КГ-1000, автоматизированную систему измерений; обеспечивают освещенность от 300 до 1500 Вт/м² при неравномерности до 4 %;

- для исследования статических и динамических характеристик панелей солнечных батарей площадью до 4 м² в диапазоне освещенностей 0 + 1600 Вт/м² и температур +5 + 100 °С;

- для голографической диагностики новых фотопреобразователей с целью выявления трещин, некачественных просветляющих покрытий и других дефектов; при этом используется метод получения голографических интерферограмм во встречных пучках с использованием диффузной подсветки элементами волоконной оптики;

- для исследований единичных химических аккумуляторов и аккумуляторных батарей больших емкостей (до 160 Ач) в диапазоне температур -20 °С + 80 °С и заряд-разрядных токов 3 + 300 А;

- для комплексных исследований солнечной энергоустановки в целом с использованием масштабных физических моделей, моделей-

имитаторов и натуральных агрегатов; при этом управление работой стенда и измерения параметров осуществляются автоматизированной системой управления и измерений с использованием ЭВМ и волоконно-оптических линий связи.

Использование результатов работ по космическим СЭУ
при разработке семейства автономных малогабаритных
переносных солнечных установок электропитания
наземного применения

Такие установки предназначены для электропитания бытовой электро-радиоаппаратуры. В ХАИ разработано семейство автономных наземных солнечных энергоустановок со следующими параметрами:

- электрическая мощность: 0,5; 1,0; 1,5 Вт;
- удельная мощность солнечной батареи: $60 \pm 70 \text{ Вт/м}^2$;
- технический ресурс (не менее): 20 лет;
- масса энергоустановки: $100 \pm 130 \text{ г/Вт}$;
- емкость аккумуляторной батареи: 0,26; 0,45; 0,85 Ач;
- выходное напряжение: 3; 4,5; 9; 12 В.

В рассматриваемых установках использованы фотопреобразователи, созданные в НИТИП (г. Харьков).

Предполагается, что при серийном выпуске таких малогабаритных солнечных энергоустановок можно в значительной мере удовлетворить потребности в бытовых источниках электропитания во всех регионах Украины.

Таким образом, работы по названным направлениям создания солнечных энергоустановок космического и наземного применения успешно выполняются при активном участии ХАИ как в составе космической программы Украины, так и рамках приоритетного направления науки на Украине "Экологически чистая энергетика и ресурсосберегающие технологии".

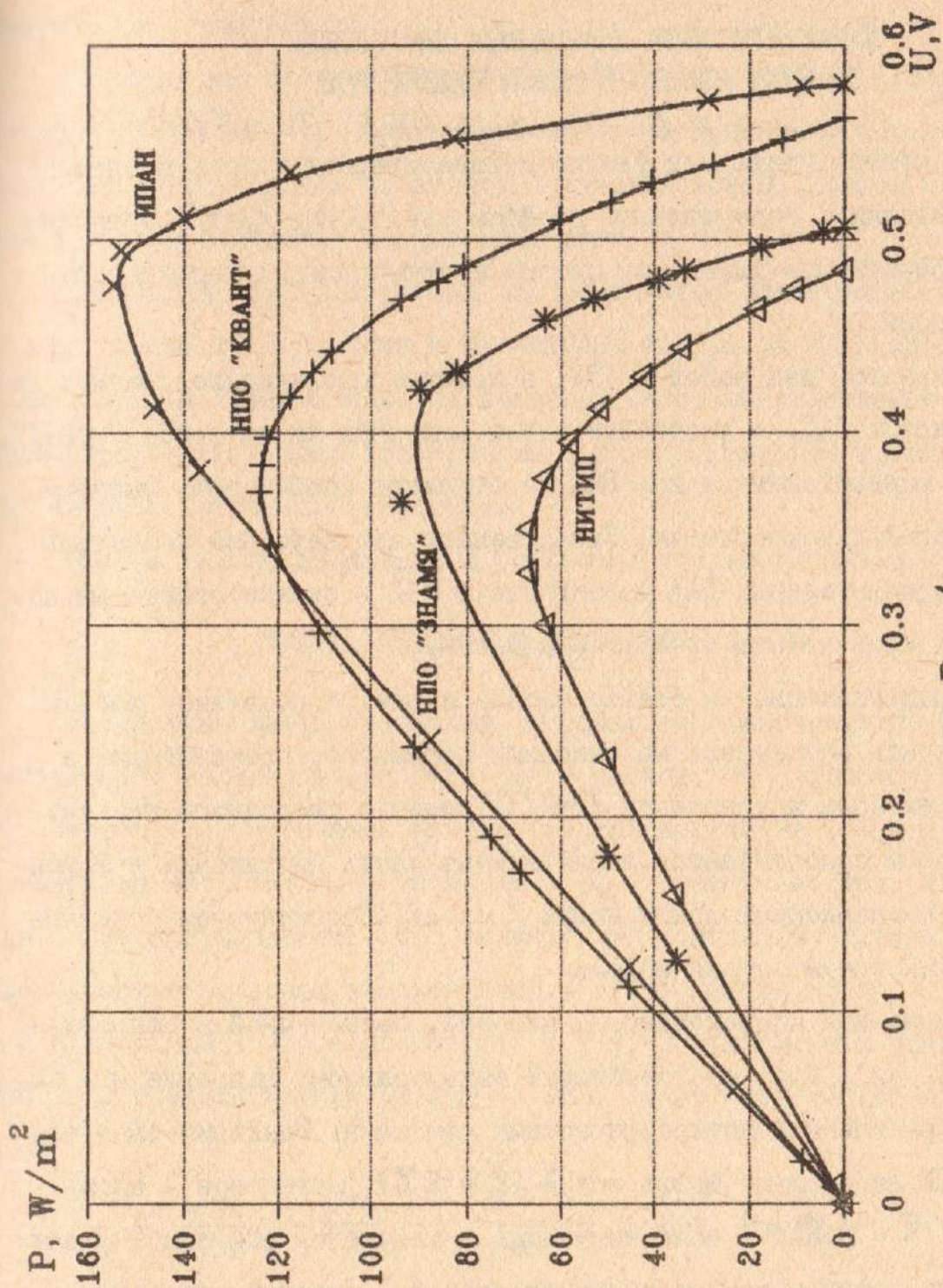


Рис. 1.