

В.Я. ПУПКО И КОСМИЧЕСКАЯ ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

О.Ф. Кухарчук, В.А. Линник, А.П. Пышко, Ю.С. Юрьев

АО «ГНЦ-РФ ФЭИ им. А.И. Лейпунского»

249020, Калужская обл., г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1



Рассматриваются исторические предпосылки становления и развития отечественной космической ядерной энергетики. Описывается роль в создании данной отрасли науки и техники видного ученого, лауреата Государственной премии, доктора физико-математических наук, профессора Виктора Яковлевича Пупко. Анализируется сложный и противоречивый исторический путь, описываются опыт и итоги создания отечественных ядерных ракетных двигателей и космических ядерных установок с прямым преобразованием энергии. Приводится сравнительный анализ опыта разработки и использования ядерной энергии для освоения космического пространства на примере энергетических наземных испытаний термоэлектрических ЯЭУ, термоэмиссионных ЯЭУ и космической эксплуатации ЯЭУ SNAP-10A, БУК, ТОПАЗ. Отмечается, что в становлении космической ядерной энергетики участвовало большое число сотрудников подразделений ГНЦ РФ-ФЭИ и смежных предприятий.

В.Я. Пупко в течение всей своей творческой научной деятельности постоянно был ориентирован на космическую ядерную энергетику. За более чем тридцатилетний период руководства научным направлением по космическим ЯЭУ он создал уникальную научную школу по космической ядерной энергетике, которая занимает в настоящее время одну из ведущих позиций в мире.

Статья подготовлена к 90-летию со дня рождения В.Я. Пупко – основоположника и создателя космической ядерной энергетики в России.

Ключевые слова: космическая ядерная энергетика, ядерные ракетные двигатели, ядерные установки, прямое преобразование энергии, сравнительный анализ, отечественные и зарубежные установки.

Земля – колыбель человечества,
но нельзя же вечно жить в колыбели
К.Э. Циолковский

Спустя более полувека трудно определить, кто конкретно был первым, предложившим начать научно-инженерную разработку проблемы создания ядерных ракетных двигателей (ЯРД) и энергетических установок (ЯЭУ) для космических аппаратов. Несомненно, что в первых рядах данного направления стояли сотрудники Лаборатории «В» (ныне АО ГНЦ РФ-ФЭИ), Д.И. Блохинцев, А.И. Лейпунский, И.И. Бондаренко и В.Я. Пупко. В 1951 г. В.Я. Пупко совместно с И.И. Бондаренко провели по своей инициативе расчетную оценку гомогенного уран-графитового реактора для ракеты с использованием водорода в качестве рабочего тела. В 1953 г. при поддержке директора института Д.И. Блохинцева и начальника технологического отдела В.А. Малыха началось изучение вопросов использования ядерной энер-

© **О.Ф. Кухарчук, В.А. Линник, А.П. Пышко, Ю.С. Юрьев, 2016**

гии в ракетных двигателях. Более детальные и углубленные проработки закончились в 1954 г. выпуском отчета «Баллистическая атомная ракета (БАР)». По существу это был предэскизный проект водородной ракеты с ЯРД [1, 2]. В ходе выполнения этой работы в Лаборатории «В» сформировался коллектив талантливых молодых ученых, нацеленных на разработку научных основ и решение проблем использования ядерной энергии в космосе.

В этом же году В.Я. Пупко провел расчетные исследования по воздушно-реактивному двигателю с ядерным реактором в качестве источника энергии. Таким образом, впервые было предложено применение ядерных силовых установок для авиационных и летательных аппаратов. Позднее исследовалась возможность использования ядерного реактора в целях создания летательного аппарата на воздушной подушке, а также применения его на морских транспортных средствах (1970-е гг.).



Виктор Яковлевич ПУПКО (18.03.1927, Харьков – 09.11.1999, Обнинск)

В.Я. Пупко – один из основателей ядерной космической энергетики. Под его непосредственным руководством были доведены до энергетических испытаний наземные прототипы ЯРД, созданы и работали на околоземной орбите термоэлектрические ЯЭУ БУК в системе морской космической разведки и целеуказания и термоэмиссионные ЯЭУ ТОПАЗ в системе испытания плазменных движителей (рис. 1).

Научная деятельность В.Я. Пупко, в основном, была ориентирована на космическую ядерную энергетику. Все отечественные достижения в этой области связаны с именем В.Я. Пупко. Как ученый-теоретик он внес неоценимый вклад в развитие основ реакторной физики, что наиболее ярко проявилось в научных трудах о применении теории возмущений в математическом моделировании взаимосвязанных процессов в ядерных реакторах и оптимизации ядерных энергетических установок [3]. Свои труды по классической теории реакторов В.Я. Пупко впоследствии развил и распространил на решение инженерно-физических задач теплообмена, гидродинамики, прочности, электротехники и диагностики. Метод сопряженных функций В.Я. Пупко применил даже для исследования проблем экономики ядерной энергетики [4]. Он был не только физиком-теоретиком, но и инженером. В инженерных вопросах В.Я. Пупко мог дать фору любому из своих ближайших помощников.

А помощниками у него были корифеи.

Владимир Андреевич Коновалов развивал теоретические работы по обоснованию нейтронно-физических характеристик реактора ЯРД и принципов управления им, до этого – сотрудник Первой в мире АЭС, которому было доверено знакомить со станцией государственных деятелей, гостей и специалистов нашей страны и всего мира. Владимир Андреевич сочетал в себе глубокие знания научно-технических вопросов и культурно-исторических источников – читал наизусть Гомера.

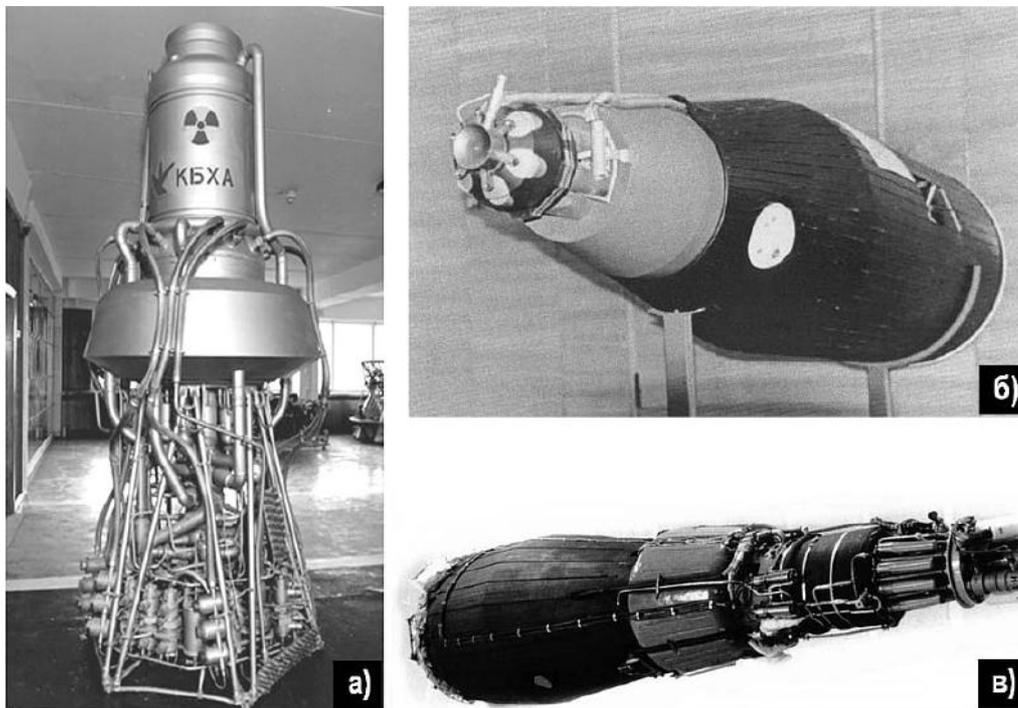


Рис. 1. Созданные в отрасли под научным руководством ФЭИ космические ЯЭУ: а) – наземный прототип ЯРД типа 11Б91; б) – ядерная термоэлектрическая энергетическая установка БУК; в) – ядерная термоэмиссионная энергетическая установка ТОПАЗ

Игорь Моисеевич Гусаков и Виктор Маркович Дмитриев отвечали за расчетно-теоретические и инженерные вопросы реактора и ЯЭУ БУК и ТОПАЗ. Однажды при ядерных наземных испытаниях установки БУК случилась чрезвычайная ситуация в режиме автоматического запуска от САУ. Первым из присутствующих на эту ситуацию среагировал лауреат Ленинской премии И.М. Гусаков, который скомандовал: «Сбрасывайте аварийную защиту!». В.М. Дмитриев взвалил на себя ношу по анализу вышедшего из строя одного из прототипов ЯЭУ ТОПАЗ, который проработал в наземных условиях всего три секунды, и выработке рекомендаций по его дальнейшему использованию, которые реализовал эксплуатационный персонал испытательного комплекса здания 224.

Армен Артаваздович Абагян руководил работами по авиационным ядерным силовым установкам (АЯСУ), возглавлял работы по радиационной защите ядерных установок, разрабатываемых в институте, в том числе реализованных в «железе» ИРГИТ, БУК, ТОПАЗ. Он был самым дипломатичным человеком в команде В.Я. Пупко, очень тонко понимавшим все научно-технические и человеческие проблемы. Впоследствии он стал генеральным директором ВНИИАЭС, членом-корреспондентом РАН, а затем и вице-президентом концерна «Росэнергоатом».

Юрий Иванович Лихачев руководил подразделением, отвечающим за инженерно-физические задачи по прочности элементов конструкции. В.Я. Пупко нашел Юрия Ивановича в другом институте и пригласил к себе на работу. Ю.И. Лихачев являлся высококвалифицированным специалистом по прочности в нашей стране.

Ведущими специалистами у В.М. Дмитриева были В.В. Астафьев, Ф.П. Раскач, С.С. Сатин, позднее В.И. Ионкин и М.К. Овчаренко.

В подразделении И.М. Гусакова мастером на все руки был Ю.С. Юрьев, который занимался инженерными вопросами по всем установкам. Петлевые реакторные испытания термоэмиссионных электрогенерирующих сборок возглавляли А.В. Визга-

лов и В.Г. Петровский, расчетно-проектными работами ядерных установок занимался В.А. Линник. За динамику установок отвечали В.И. Лукашов и А.В. Зродников.

Ведущими специалистами у А.А. Абагына были Э.Е. Петров и А.А. Дубинин, позднее А.Н. Забудько, В.М. Левченко и А.П. Пышко; у Ю.И. Лихачева – В.И. Борисов, В.П. Звонарев, В.В. Попов и В.Б. Богуш.

Следует заметить, что по мере роста возлагаемых на коллектив задач подразделение П.Я. Пупко расширялось за счет лабораторий Б.И. Синицина, А.А. Кутузова, Е.С. Матусевича, П.П. Дьяченко, Ю.К. Гуськова (С.С. Сатина, В.И. Ярыгина), М.А. Лебедева и испытательного комплекса А.И. Ельцова.

Исследования в области прямого преобразования ядерной энергии в энергию лазерного излучения были начаты в ФЭИ в 1981 г. по инициативе В.Я. Пупко, который до этого провел аналитический обзор в этой области знаний [5]. В работах по физике ядерно-возбуждаемой плазмы и проблеме лазеров с ядерной накачкой активно участвовали П.П. Дьяченко, О.Ф. Кухарчук и ученики В.Я. Пупко – А.В. Зродников и А.В. Гулевич.

В 1990-х гг. В.Я. Пупко занялся проблемой создания фотонных ядерных двигателей для исследования отдаленных планет Солнечной системы и полетов к звезде Альфа-Центавра, а также проблемой создания аннигиляционного гамма-лазера. Работы в области ядерных фотонных ракет для исследования дальнего Космоса, позволяющих достичь уже околосветовых скоростей [6, 7], очень его интересовали в последние годы жизни. Идея фотонного двигателя основана на использовании преобразования тепловой энергии ядерного реактора в энергию направленного потока электромагнитного излучения, а именно, на использовании «тепловых» фотонов радиатора космической ЯЭУ.

За более чем тридцатилетний период руководства научным направлением по космическим ЯЭУ В.Я. Пупко создал уникальную научную школу по космической ядерной энергетике, которая занимает в настоящее время одну из ведущих позиций в мире. Когда В.Я. Пупко стал выезжать за границу, из-под его пера появились обширные обзорные материалы, посвященные отчету о посещениях научных центров США, Японии, Китая, об итогах конференций, публикации взглядов по программе «звездных войн» и др. [8].

Виктор Яковлевич возглавлял большой научно-технический коллектив, перед которым ему приходилось выступать о достижениях коллектива в целом, отдельных научных групп, ученых и инженерно-технических работников в производственной и общественной деятельности.

Он активно участвовал в пропаганде научно-технических достижений в институте и стране, возглавляя в течение продолжительного времени Обнинское городское отделение общества «Знание», интересовался литературой, писал стихи и пьесы, занимался спортом, участвовал во всех мероприятиях коллектива, был активным членом городского клуба «Дом ученых».

ЯДЕРНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Исторически первые применения ядерной энергии для космических приложений связаны с созданием в СССР и США ядерных ракетных двигателей [9]. Что касается первых расчетно-теоретических работ в СССР по ядерным двигателям для ракет, то они в 1951 г. были выполнены И.И. Бондаренко, В.Я. Пупко и другими сотрудниками Лаборатории «В» под руководством Д.И. Блохинцева. Уже в 1955 г. после ознакомления с материалами отчета БАР и проведения Д.И. Блохинцевым ряда обсуждений на эту тему с заинтересованными предприятиями страны к исследованиям подключаются НИИ-1 (М.В. Келдыш, В.М. Иевлев), ОКБ-1 (С.П. Королев), ОКБ-456 (В.П. Глушко), ОКБ-670 (М.М. Бондарюк) и др.

В ГНЦ РФ-ФЭИ развивались расчетно-теоретические (В.А. Коновалов, В.Е. Левин,

Ф.П. Раскач, А.А. Дубинин и др.) и экспериментальные (В.А. Кузнецов, Ю.А. Прохоров, И.И. Захаркин, А.Г. Портяной и др.) работы по обоснованию нейтронно-физических характеристик реактора и принципов управления им, выбору и исследованию характеристик блока радиационной защиты и другие работы. Физические особенности реакторов ЯРД потребовали разработки высокоточных методов расчета и экспериментального обоснования основных физических характеристик реактора. В работах по ЯРД (руководитель темы В.А. Коновалов) большой вклад внесли Ю.С. Юрьев, С.А. Куликов, М.С. Юдкевич, В.И. Мазин, И.А. Могильный, В.П. Слизов, В.И. Ионкин, А.Г. Матков и др.

В СССР работы по ЯРД были доведены до стадии полномасштабных натурных испытаний (ИРГИТ № 1 – 3), в течение 1961 – 1984 гг. были спроектированы, изготовлены и испытаны 10 ядерных реакторов различных модификаций (ИГР, ИВГ, ИРГИТ и др.) по программе ЯРД. Их испытания проводились в 1978 – 1984 гг. [6, 11] и показали достаточную работоспособность.

Национальная программа США по ядерным ракетам ROVER/NERVA охватывала период с 1955 по 1973 гг. В США в этой области (реакторы Phoebus, Pewee, NF1) было испытано около 40 установок с реакторами ЯРД, более двадцати подверглись полномасштабным испытаниям, в том числе были отработаны двигатели в целом, включая подачу жидкого водорода.

Работа по программе ЯРД в США была признана одной из наиболее успешных технических разработок самых передовых технологий [12].

Таблица 1

Результаты, достигнутые в СССР и США по программе ЯРД

Параметр	СССР		США
	ИВГ1	ИРГИТ	
Тепловая мощность, МВт	230	42	4100 (Phoebus 2A)
Расход водорода, кг/с	16	2	120 (Phoebus 2A)
Эквивалентный удельный импульс, с	~950	~870	~ 848 (Pewee)
Средняя температура водорода на выходе из реактора, К	3100	2600	2550 (Pewee)
Средняя плотность энерговыделения в активной зоне, кВт/см ³	15	3	2,3 (Pewee)
Максимальная плотность энерговыделения в топливной композиции, кВт/см ³	25	5	5,2 (Pewee)
Наработанный ресурс на номинальной мощности, с	4000	90	6540 (NF1)

В таблице 1 приведены основные результаты выполненных в СССР и США исследований. Сопоставление показывает, что в СССР и США достигнуты близкие характеристики: температура водорода на выходе из реактора составляет приблизительно 2600 К, удельный импульс – 860 с [10]. Достигнутые в СССР характеристики топлива превышают характеристики, достигнутые в США, и подтверждают возможность создания компактных активных зон ЯРД различной мощности, обеспечивающих удельный импульс тяги более 900 с.

УСТАНОВКИ С ПРЯМЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ

Идея создания космических ЯЭУ установок возникла в ФЭИ в 1951 – 1954 гг. (А. И. Лейпунский, И.И. Бондаренко, В.Я. Пупко, В.А. Малых и др.). На основе все-

стороннего анализа различных схем преобразования энергии было предложено разработать термоэлектрическую (БУК) и термоэмиссионную (ТОПАЗ) установки. Затем к этим работам подключились и другие организации. ФЭИ в качестве идеолога и научного руководителя осуществлял исследовательскую работу и научно-техническую политику на всех этапах развития этих проектов и самих установок.

Разработка, создание и успешная работа в космосе ЯЭУ БУК и ТОПАЗ являются, в первую очередь, заслугой ученых и специалистов ведущих предприятий и институтов отрасли: ГНЦ РФ-ФЭИ, ОКБ-670, ММЗ «Союз», НПО «Красная Звезда» и др. Научное руководство работами по прямому преобразованию в ФЭИ на различных стадиях осуществляли А.И. Лейпунский, И.И. Бондаренко, О.Д. Казачковский, В.А. Кузнецов, В.Я. Пупко и другие талантливые ученые. Однако только В.Я. Пупко в течение всей своей творческой научной деятельности постоянно был ориентирован на космическую ядерную энергетику, несмотря на все реорганизации, которые проводились в этом направлении.

ЯЭУ с термоэлектрическим преобразованием энергии. Первой реакторной установкой с термоэлектрическим преобразованием тепла ядерного деления в электрическую энергию была советская установка РОМАШКА, реализованная в виде наземного образца в 1964 г. [13].

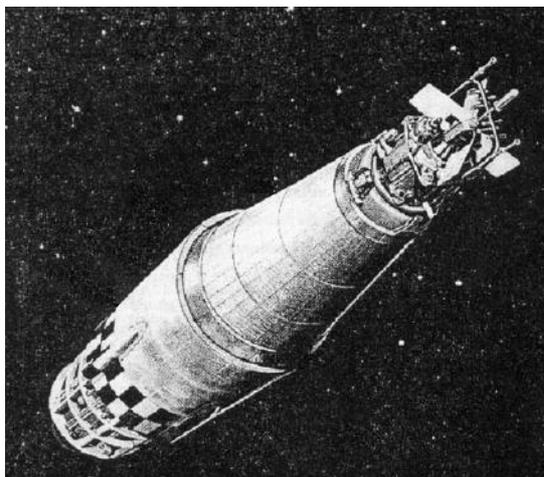


Рис. 2. Термоэлектрическая установка SNAP-10A: мощность – 500 Вт-эл; ресурс – 10000 ч (проработала 43 сут); теплоноситель – Na-K (588 – 818 К); преобразователь – Si-Ge (12 модулей); период разработки 1956 – 1965 гг.

SNAP-10A – первая бортовая электростанция США с атомным реактором, испытанная в космосе в 1965 г., электрической мощностью приблизительно 500 Вт, которая проработала 43 суток и была выключена преждевременно из-за дефекта в регуляторе напряжения (рис. 2) [14]. Аналогичная ЯЭУ на Земле проработала более 10000 часов.

Альтернативным решением установок РОМАШКА и SNAP-10A была установка БУК, предложенная ФЭИ (А.И. Лейпунским, И.И. Бондаренко, В.Я. Пупко и др.) и созданная под его научным руководством, а затем эксплуатировавшаяся в космосе в течение более двух десятков лет. Установка использовалась в системе морской космической разведки для питания электроэнергией космической радиолокационной станции. Успешное применение ЯЭУ БУК в космосе обеспечило приоритет СССР в области целеуказания во всех сферах земной деятельности (рис. 3, 4).

Тепловая мощность реактора ограничена величиной ~ 100 кВт. Ресурс ЯЭУ БУК в процессе ее эксплуатации был доведен до 4400 часов. Удельная масса ЯЭУ – 300 кг/кВт-эл.

На разработку и создание термоэлектрической ЯЭУ БУК потребовалось приблизительно 10 лет (1961 – 1970 гг.). К 1970 г. был закончен основной объем научных исследо-

ваний, изготовлены первые опытные образцы и проведены наземные сдаточные испытания ЯЭУ БУК. Натурные наземные и летно-конструкторские испытания ЯЭУ проводились с 1970 по 1975 гг. [6, 15]. Всего за период испытания и эксплуатации было осуществлено более 30-ти запусков искусственных спутников Земли серии «Космос» (1975 – 1988 гг.). Одновременно с 1971 г. велись научно-исследовательские работы по поиску путей увеличения мощности реактора и ресурса установки БУК.

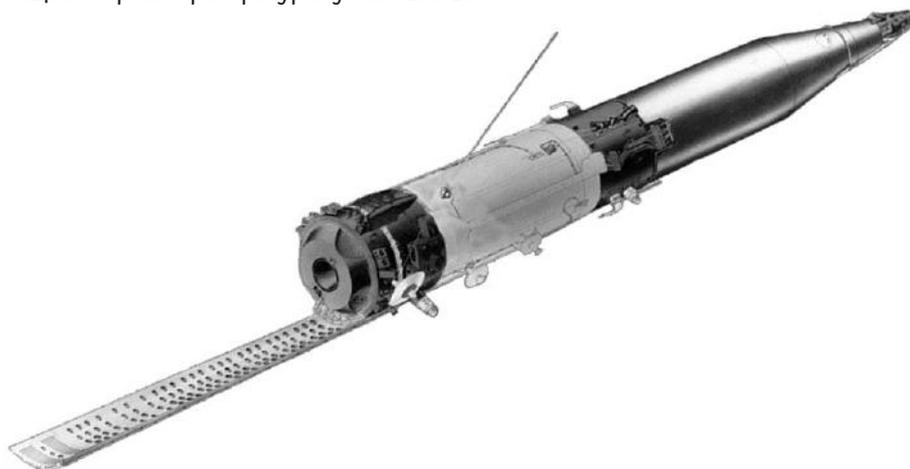


Рис. 3. ЯЭУ БУК совместно с КА одностороннего бокового радиолокационного обзора УС-А системы МКРЦ

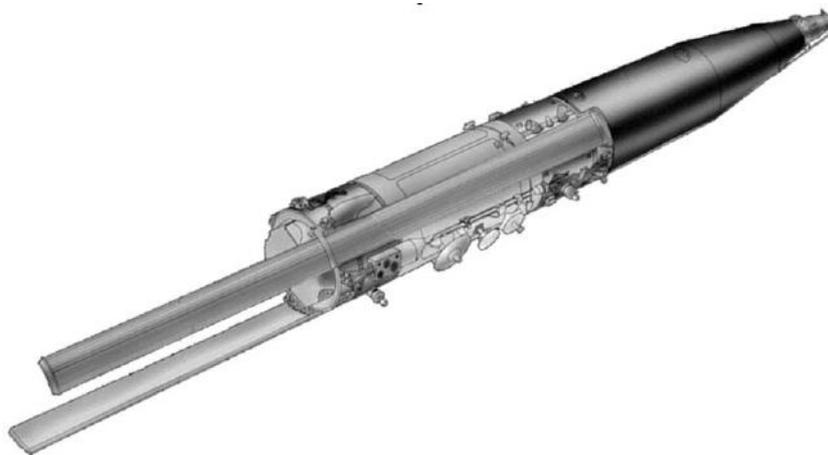


Рис. 4. ЯЭУ БУК совместно с КА двухстороннего радиолокационного обзора УС-АМ системы МКРЦ (после 1985 г.)

ЯЭУ с термоэмиссионным преобразованием энергии. У истоков развития проблемы термоэмиссионных ЯЭУ в СССР находились И.И. Бондаренко, В.А. Малых и В.Я. Пупко.

С начала 1960-х гг. интенсивно велись научно-исследовательские работы по созданию термоэмиссионных ЯЭУ с реакторами-преобразователями различной мощности и разного класса (В.Я. Пупко [16 – 21]). Физическая записка к эскизному проекту установки ТОПАЗ была выпущена в 1963 г., а в 1965 г. после проработки совместно с конструкторской организацией ММЗ «Союз» (Г.Л. Лившиц) различных вариантов термоэмиссионных реакторов-преобразователей с электрогенерирующим каналом в многоэлементном и одноэлементном исполнении был выбран основной вариант реактора-преобразователя ТОПАЗ с гидридциркониевым замедлителем и многоэлементными электрогенерирующими каналами (А.И. Лейпунский, В.Я. Пупко, Г.Л. Лившиц).

Прототипы ЯЭУ ТОПАЗ для космического аппарата успешно прошли полномасштабные энергетические испытания (первые наземные испытания в апреле 1970 г. [15]; В.А. Кузнецов, Г.М. Грязнов, В.Я. Пупко и другие), и после ряда усовершенствований установка была подготовлена к летно-конструкторским испытаниям. Наземные испытания проводились в ФЭИ на специально сооруженном уникальном испытательном комплексе (А.И. Ельцов, Е.П. Ларин и др.). Всего с 1970 по 1984 гг. были проведены наземные энергетические испытания семи прототипов термоэмиссионной ЯЭУ ТОПАЗ. Все это позволило приступить к разработке ЯЭУ для проведения летно-конструкторских испытаний на сооруженной специальной технической позиции полигона. Два образца ЯЭУ успешно прошли летные испытания в 1987 – 1988 гг. (рис. 5). Большой творческий вклад в разработку ЯЭУ внес В.Я. Пупко. Эти летные испытания были первыми в мире испытаниями ЯЭУ термоэмиссионного типа в космосе, высоко оцененными мировой общественностью.

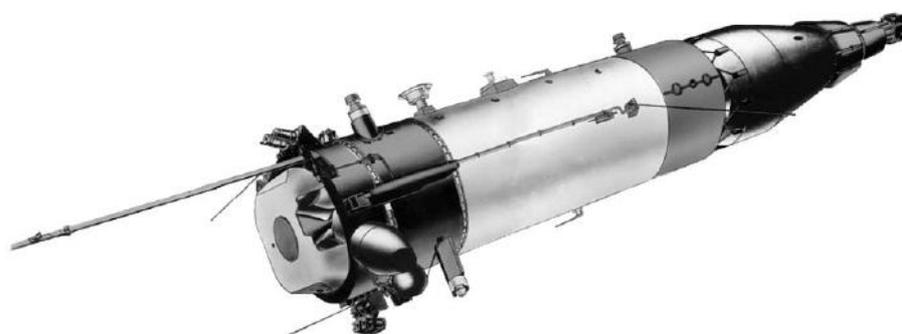


Рис. 5. Космическая ядерная энергетическая установка ТОПАЗ в составе космического аппарата «Плазма-А»

Результаты летных испытаний подтвердили надежную работу ЯЭУ в условиях космического пространства и возможность использования подобных типов установок в качестве бортовых источников питания (табл. 2).

Таблица 2

Полеты космических аппаратов с ЯЭУ БУК и ТОПАЗ

	Годы запуска														
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1980	1981	1982	1985	1986	1987	1988
БУК	1	2	1	1	2	3	2	2	1	3	4	2	2	2	2
ТОПАЗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-

Опыт использования технологий БУК и ТОПАЗ дает основание рассматривать дальнейшие перспективы развития подобных ЯЭУ [6]. Сопоставим результаты работ, выполненных в мире по ядерным установкам с прямым преобразованием энергии.

Следует сравнивать установки РОМАШКА (СССР, ИАЭ), SNAP-10A (США, фирма «Атомикс интернейшнл»), БУК (СССР, ФЭИ) с термоэлектрическим преобразованием энергии, ТОПАЗ (СССР, ФЭИ) и ЕНИСЕЙ (СССР, ИАЭ) с термоэмиссионным преобразованием энергии. В таблице 3 приведены результаты выполненных в СССР и США работ на наземных натурных сборках, а в табл. 4 – результаты работ СССР и США по установкам, реализованным в космосе.

Работы по прямому преобразованию осуществлялись в 1960-х гг. во многих странах мира. Разработкой ядерных установок с прямым преобразованием энергии занимались СССР, США, ФРГ и Франция. Техническая реализация проектов достигнута только в США

(SNAP-10A) и в СССР (БУК, ТОПАЗ и ЕНИСЕЙ). БУК – единственная в мире космическая реакторная энергоустановка, работавшая на экономику страны. Термозмиссионная ЯЭУ ТОПАЗ, два образца которой прошли летно-конструкторские испытания в 1987 – 1988 гг., остается уникальной в мировой практике установкой, которую трудно будет превзойти в течение еще длительного времени.

Таблица 3

Основные результаты проведенных в СССР и США работ на Земле

Программа	SNAP-10A	РОМАШКА	БУК	ТОПАЗ	ЕНИСЕЙ
Тепловая мощность, кВт	34-40	28,2	100	150	≤135
Электрическая мощность, кВт	0,43-0,55	0,45	2,5	5	5
Ресурс, мес.	6	24	3 – 6	6 – 12	18
Количество пусков	5	1	4	7	6
Годы пусков	1961 – 1965	1964	1970 – 1975	1970 – 1984	1975 – 1988

Таблица 4

Основные результаты проведенных в СССР и США работ в космосе

Программа	SNAP-10A	БУК	ТОПАЗ
Тепловая мощность, кВт	34	100	150
Электрическая мощность, кВт	0,54	2,5	7
Ресурс, мес.	1,5	6	12
Масса, т	0,45	0,9	1,2
Количество запусков	1	32	2
Годы запусков	1965	1970 – 1988	1987

При В.Я. Пупко направление космической ядерной энергетики превратилось в одно из главных направлений деятельности института, а его отделение – в сильный научный коллектив, способный решать важнейшие научно-технические задачи. Виктор Яковлевич Пупко стал одним из ярких представителей отечественной научной школы в области реакторной физики и техники.

За заслуги перед отечеством доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии, «Заслуженный деятель науки и техники» В.Я. Пупко был награжден орденами Октябрьской революции и Трудового Красного Знамени (дважды). Его мировой авторитет был отмечен международной премией Шрайбера-Спенса (США) за «феноменальные достижения в области космической ядерной энергетики».

Литература

1. Пупко В.Я. История работ в ФЭИ по разработке и созданию ЯРД и космических ЯЭУ. // В сб. «50 лет ФЭИ». – Обнинск: ФЭИ, 1996. – С. 201-211.
2. Пупко В.Я. История работ по летательным аппаратам на ядерной энергии для космических и авиационных установок в ГНЦ РФ ФЭИ. / Личные воспоминания. – Обнинск: ФЭИ, 2000. – 56 с.
3. Пупко В.Я. Использование сопряженных уравнений и функций ценности тепловых источников при исследованиях процессов теплопроводности и теплоотдачи. Препринт ФЭИ-176, Обнинск, 1969.
4. Гулевич А.В., Зродников А.В., Пупко В.Я., Шиманский А.А. Применение теории возмущений в инженерных задачах ядерной энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 208 с.
5. Пупко В.Я. Обзор свойств газовых лазеров с традиционными способами накачки. Ч. I (препринт ФЭИ-1244). Обзор экспериментальных работ по непосредственной ядерной

накачке газовых лазерно-активных сред. Ч. II (препринт ФЭИ-1245). Энерговклад заряженных частиц в газовых лазерах с непосредственной ядерной накачкой. Ч. III (препринт ФЭИ-1246). Методы оценки характеристик газовых лазеров с непосредственной ядерной накачкой. Ч. IV (препринт ФЭИ-1247), Обнинск, 1981.

6. Зродников А.В., Забудько А.Н., Линник В.А., Дубинин А.А. Взгляд на космическую ядерную энергетику: 50 лет назад, 50 лет вперед. / Доклад на Международной конференции «50 лет атомной энергетике». Москва-Обнинск, 2004. – IAEA-CN-114. – 40 с.

7. Физико-энергетический институт: летопись в судьбах. / Под ред. А. В. Зродникова / ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2006. – С. 215-220.

8. Космический мудрец. Избранные труды В.Я. Пупко. Воспоминания. – К 80-летию со дня рождения В.Я. Пупко (1927 – 1999) / Редактор А.Н. Забудько. Обнинск, 2007.

9. Демянко Ю.Г., Конюхов Г.В., Коротеев А. С. Ядерные ракетные двигатели. – М.: 000 «Норма-Информ». 2001. – 414 с.

10. Ионкин В.И., Линник В.А., Мальцев В.Г., Портяной А.Г., Сердунь Е.Н., Сорокин А.П. Вклад Калужского региона – города Обнинска в космическую ядерную энергетику: история, опыт, итоги деятельности, 2006. / Труды регионального конкурса научных проектов в области гуманитарных наук. Вып. 8. – Калуга, 2007. – С. 326-344.

11. Сметанников В.П., Уласевич В.К., Черепнин Ю.С. (НИКИЭТ), Павшук В.А., Пономарев-Степной Н.Н. (РНЦ «Курчатовский институт»), Денискин В.П., Дьяков Е.К., Федик И.И. (НПО «Луч»), Васильев Ю.С., Колбаенков А.Н., Колодешников А.А., Пивоваров О.С., Тихомиров Л.Н., Тухватулин Ш.Т. (НЯЦ, Казахстан). Реактор ИВГ.1. Опыт и итоги 30-летней эксплуатации / Материалы научной конференции «Ядерная энергетика в космосе-2005». – Т. 1. – Москва-Подольск, 2005. – С. 7-13.

12. Блэк Д. Л., Фарбах Д. Х., Вэрт Д.Ф. Программа NERVA: история и технический обзор. / Международная конференция «Ядерная энергетика в космосе». – Обнинск, СССР, 1990. – С. 283-306.

13. Миллионщиков М.Д., Гвердцителли И.Г., Меркин В.Н., Пономарев-Степной Н.Н. Высокотемпературный реактор прямого преобразования РОМАШКА / Доклад № 873 на III Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1964.

14. Разработка и испытание установки SNAP-10A (реферат) // Атомная техника за рубежом. –1966. – №6.

15. Дубинин А. А., Забудько А. Н., Ионкин В. И., Линник В. А. Обзор научно-технической и проектной деятельности в ФЭИ в 1953 – 1999 гг. по аппаратам на ядерной энергии для космических и авиационных установок. / Препринт ФЭИ-0301, 2004. – 20 с.

16. Забудько А. Н., Линник В. А., Раскач Ф. П. Сравнение и анализ характеристик термоэмиссионных реакторов-преобразователей различного типа для космических ЯЭУ. / Препринт ФЭИ-3025, Обнинск, 2004.

17. Бондаренко И.И., Горелов И.Н., Гуськов Ю.К., Дмитриев В.М., Касиков И.И., Кармазин В.П., Лебедев С.Я., Лебедев М.А., Малых В.А., Маев С.А., Пупко В.Я., Петровский В.Г., Пащенко В.П., Сибир Е.Е., Стависский Ю.Я., Стаханов И.П., Степанов А.С., Юрьев Ю.С. Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с разработкой термоэлектронных реакторов-преобразователей. / Доклад № 317 на III Международной конференции ООН по использованию атомной энергии в мирных целях. Женева, 1964.

18. Пупко В.Я., Малых В.А., Юрьев Ю.С. Некоторые проблемы разработки термоэмиссионного реактора-преобразователя. / Международная конференция по термоэмиссионной генерации электроэнергии. Лондон, 1965 (препринт ФЭИ-27, Обнинск, 1965).

19. Пупко В.Я., Бологов П.М., Визгалов А.В., Купцов Г.А., Линник В.А., Петровский В.Г., Ружников В.А. Петлевые испытания и отработка электрогенерирующих каналов установки ТОПАЗ в реакторе Первой АЭС. / Отраслевая юбилейная конференция. – Обнинск, 1990.

20. Грязнов Г.М., Пупко В.Я. ТОПАЗ-1 – советская космическая ЯЭУ. // Природа. – 1991. – № 10.

21. Акимов В.Н., Гафаров А.А., Коротеев А.С., Пришлецов А.Б. Ядерная энергетика в космонавтике XXI века. // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2000. – № 10.

Поступила в редакцию 28.07.2016 г.

Авторы

Кухарчук Олег Филаретович, зам. генерального директора, директор ОКЭС д.ф.-м.н.

E-mail: kuh@ippe.ru

Линник Владимир Алексеевич, ведущий научный сотрудник, к.т.н.

E-mail: valin@ippe.ru

Пышко Александр Павлович, начальник отдела, к.ф.-м.н.

E-mail: pyshko@ippe.ru

Юрьев Юрий Сергеевич, главный научный сотрудник, д.ф.-м.н.

E-mail: yurev@ippe.ru

UDC 621.039.577:362

V.Ya. PUPKO AND SPACE NUCLEAR POWER

Kukharchuk O.F., Linnik V.A., Pyshko A.P., Yuriev Yu.S.

Joint-Stock Company State Scientific Center of Russian Federation –
Institute for Physics and Power Engineering n.a. A. I. Leipunsky
1 Bondarenko sq., Obninsk, Kaluga reg., 249033 Russia

ABSTRACT

The Article is prepared and devoted to the 90-th anniversary of Victor Yakovlevich Pupko who initiated development of space nuclear power in Russia.

In the presented Article the certain historic backgrounds for formation and development of Russian space nuclear power are considered, namely: nuclear propulsions (NP), space nuclear power installations (NPI), direct conversion of nuclear energy to the energy of laser emission, photon nuclear propulsion for investigation of distant planets of Solar System and rendezvous missions to the Alpha Centauri star system, annihilation gamma-ray laser. All mentioned subjects were in the sphere of activities of Victor Pupko in the last years of his life.

The role played by Victor Pupko in development of highlighted area of research and science is described. Victor Ya. Pupko was an outstanding scientist, Professor, Doctor of Science in physics and mathematics, State Prize Winner of the USSR, Honored Worker of Science and Engineering. He was awarded the Order of October Revolution, two Orders of the Red Banner of Labor. In 1995 Victor Pupko and Georgy Gryaznov (NPO «Krashaya Zvezda») were recipients of the Schreiber-Spence Achievement Award «For Outstanding Contributions to Space Nuclear Power and Propulsion» (the USA, Los Alamos National Laboratory).

The complicated historical way with peculiar conflicts is studied, experience and results of construction of ten domestic nuclear propulsions and space nuclear power installations with direct conversion of thermal energy to electricity, namely installations BUK and TOPAZ are described. Installations BUK operated in space over twenty years. Two prototypes of installation TOPAZ have passed successful flight tests in space.

The comparative analysis of history of Russian and world experience of development and application of nuclear power for conquest of outer space is presented by examples of power ground-based tests of thermoelectric nuclear power installations (NPI) such as ROMASHKA, SNAP-10A, BUK, thermionic NPIs such as TOPAZ, YENISEI and operating in space NPIs, namely: SNAP-10A, BUK, TOPAZ.

It is highlighted that many experts from different departments of JSC «SSC RF-IPPE» and associate companies took part in development of space nuclear power.

Successful space operation of NPIs BUK and TOPAZ was realized first of all due to efforts of scientists and specialists of leading nuclear power enterprises and institutes. Over a long period the creative scientific activities of Victor Pupko were targeted to the space nuclear power.

Being the Leader of scientific direction on space NPIs over thirty years, Victor Pupko has organized a unique science school on space nuclear power that now is among the leading ones in the world.

As a member of State Commission, Victor Pupko participated in all launchings of space nuclear power installations.

Key words: space nuclear power, nuclear propulsions, nuclear installations, direct conversion of energy, comparative analysis, domestic and foreign installations

REFERENCES

1. Pupko V. Ya. History of IPPE Works on Development and Construction of NPs and Space NPIs. *Digest: 50 Years of IPPE*. Obninsk, FEI Publ., 1996, pp. 201-211 (in Russian).
2. Pupko V. Ya. History of Works on Nuclear Power Aircrafts for Space and Air Installations in SSC RF-IPPE. Personal memoirs. Obninsk, FEI Publ., 2000, 56 p. (in Russian).
3. Pupko V. Ya. Use of Adjoint Equations and Heat Sources Value Functions upon Performance of Researches in Processes of Heat Conduction and Heat Transfer: IPPE Preprint-176. Obninsk, FEI Publ., 1969 (in Russian).
4. Gulevich A. V., Zrodnikov A. V., Pupko V. Ya., Shimanski A. A. Use of Perturbation Theory in Engineering Problems of Nuclear Power. Moscow. Energoatomizdat Publ., 1993, 208 p. (in Russian).
5. Pupko V. Ya. Review of the Properties of Gas Lasers with Conventional Methods of Pumping – part I: IPPE Preprint-1244. Review of Experimental Works on Direct Nuclear Pumping of Gas Laser-Active Media – part II: IPPE Preprint-1245. Energy Deposition of Charged Particles in Gas Lasers with Direct Nuclear Pumping – part III: IPPE Preprint-1246. Methods of Estimation of Characteristics of Gas Lasers with Direct Nuclear Pumping – part IV: IPPE Preprint-1247. Obninsk, FEI Publ., 1981 (in Russian).
6. Zrodnikov A. V., Zabudko A. N., Linnik V. A., Dubinin A. A., Ionkin V. I., Yarygin V. I. Space Nuclear Power in Views: 50 Years Ago and Prevision for 50 Years. Report at International Conference «Fifty Years of Nuclear Power». Moscow-Obninsk, 2004, IAEA-CN-114, 40 p. (in Russian).
7. Institute for Physics and Power Engineering: Chronicles of Lives. Edited by A. V. Zrodnikov, Obninsk, FEI Publ., 2006, pp. 215-220 (in Russian).
8. Cosmic Thinker. Selected Works of V. Ya. Pupko. Memoirs. To the 80th Anniversary of V. Ya. Pupko (1927 – 1999). Edited by A. N. Zabudko. Obninsk. FEI Publ., 2007 (in Russian).
9. Demyanko Yu. G., Konyukhov G. V., Koroteev A. S. Nuclear Propulsions. Moscow. JSC «Norma-Infom» Publ., 2001. 414 p. (in Russian).
10. Ionkin V. I., Linnik V. A., Maltsev V. G., Portyanoy A. G., Serdun E. N., Sorokin A. P. Contribution of City Obninsk in Kaluga Region to Space Nuclear Power: History, Experience, Results of Activities. 2006. Proc. of Region Competition of Scientific Projects in the Human Sciences. Kaluga, 2007, iss. 8, pp. 326-344 (in Russian).
11. Smetannikov V. P., Ulasevich V. K., Cherepnin Yu. S. (NIKIET), Pavshuk V. A., Ponomarev-Stepnoi N. N. (RRC «Kurchatov Institute»), Deniskin V. P., Dyakov E. K., Fedik I. I. (NPO «Luch»), Vasilyev Yu. S., Kolbaenkov A. N., Kolodeshnikov A. A., Pivovarov O. S., Tikhomirov L. N., Tukhvatulin Sh. T. (NNC, Kazakhstan). Reactor IVG.1. Experience and Results of 30-Year Operation. Proc. of Scientific Conf. «Nuclear Power in Space – 2005». Moscow-Podolsk. 2005, v. 1, pp. 7-13 (in Russian).
12. Black D. L., Fahrbach D. H., Watt D. F. Program NERVA: History and Technical Review. Proc. of Int. Conf. «Nuclear Power in Space». Obninsk, USSR. 1990, pp. 283-306 (in Russian).
13. Millionschikov M. D., Gverdtsiteli I. G., Merkin V. N., Ponomarev-Stepnoj N. N. High-Temperature Reactor for Direct Conversion – ROMASHKA. Report No. 873 at Third International Conference on Peaceful Use of Nuclear Power. Geneva, 1964.
14. Development and Testing of Installation SNAP-10A (Abstract). *Atomnaya tehnika za*

rubezhom, 1966, no. 6 (in Russian).

15. Dubinin A.A., Zabudko A.N., Ionkin V.I., Linnik V.A. Review of Scientific-Technical and Project Activities in IPPE Performed in 1953 – 1999 for Nuclear Power Installations for Space and Air Systems: IPPE Preprint-0301. Obninsk. FEI Publ., 2004. 20 p. (in Russian).

16. Zabudko A.N., Linnik V.A., Raskach F.P. Comparison and Analysis of Characteristics of Various Type Thermionic Reactors-Converters for Space NPI: IPPE Preprint-3025. Obninsk. FEI Publ., 2004 (in Russian).

17. Bondarenko I.I., Gorelov I.N., Guskov Yu.K., Dmitriev V.M., Kasikov I.I., Karmazin V.P., Lebedev S.Ya., Lebedev M.A., Malyh V.A., Maiev S.A., Pupko V.I., Petrovskiy V.G., Paschenko V.P., Sibir E.E., Stavissky Yu. Ya., Stakhanov I.P., Stepanov A.S., Yuriev Yu.S. Theoretical and Experimental Studies Related to Development of Thermionic Reactors-Converters. Report No. 317 at Third International Conference on Peaceful Use of Nuclear Power. Geneva, 1964.

18. Pupko V. Ya., Malyh V. A., Yuriev Yu. S. The Certain Problems in Development of Thermionic Reactor-Converter. International Conference on Thermionic Electric Power Generation, London, 1965. IPPE Preprint-27. Obninsk. FEI Publ., 1965 (in Russian).

19. Pupko V. Ya., Bologov P.M., Vizgalov A.V., Kuptsov G.A., Linnik V.A., Petrovsky V.G., Ruzhnikov V.A. Loop Tests and Testing of Power Generating Channels of Installation TOPAZ in the First NPP Reactor. Branch Jubilee Conference. Obninsk. FEI Publ., 1990 (in Russian).

20. Gryaznov G.M., Pupko V. Ya. Soviet Space NPI TOPAZ-1. *Priroda.*, 1991, no. 10 (in Russian).

21. Akimov V.N., Gafarov A.A., Koroteev A.S., Prishletsov A.B. Nuclear Power in Space Exploration of the XXI Century. *Obscherossijskij nauchno-tehnicheskij zhurnal «Polyot»*. 2000, no. 10 (in Russian).

Authors

Kukharchuk Oleg Filaretovich, Deputy General Director, Director of CECO, Dr. Sci. (Phys.-Math.)
E-mail: kuh@ippe.ru

Linnik Vladimir Alekseevich, Leading Researcher, Cand. Sci. (Engineering)
E-mail: valin@ippe.ru

Pyshko Aleksandr Pavlovich, Head of Department, Cand. Sci. (Phys.-Math.)
E-mail: pyshko@ippe.ru;

Yuriev Yuri Sergeevich, chief researcher, Dr. Sci. (Phys.-Math.)
E-mail: yurev@ippe.ru;