

ИГОРЬ ИЛЬИЧ БОНДАРЕНКО

А.Г. Портяной, Ю.В. Фролов

АО «ГНЦ-РФ ФЭИ им. А.И. Лейпунского»

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



Статья подготовлена к 90-летию со дня рождения Игоря Ильича Бондаренко – талантливого физика-экспериментатора, доктора физико-математических наук (1959), профессора (1960). За годы работы в Физико-энергетическом институте (1950 – 1964) он прошел путь от старшего лаборанта до заведующего сектором (отделением) и заместителя директора института, участвовал в создании первых в СССР экспериментальных реакторов на быстрых нейтронах, стал инициатором начала работ в ФЭИ по созданию ядерных ракетных двигателей, стал инициатором и руководителем исследований по созданию космических ЯЭУ с термоэлектрическим и термоэмиссионным преобразованием энергии.

Материал статьи основан на документах Архива АО «ГНЦ-РФ ФЭИ им. А.И. Лейпунского», работах Д.И. Блохинцева и А.И. Лейпунского, воспоминаниях сотрудников, коллег и друзей Игоря Ильича.

И.И. Бондаренко родился 14 октября 1926 г. в Киеве. В годы Великой Отечественной войны семья оказалась в Ташкенте, где в 1944 г. Игорь Бондаренко поступил в Авиационный институт. В 1945 г. со второго курса он перешел на физико-математический факультет Среднеазиатского госуниверситета, а в 1946 г. перевелся на физический факультет МГУ.

Дипломный проект И.И. Бондаренко выполнял в Институте химической физики (ИХФ) АН СССР. После окончания МГУ он успешно сдал экзамены в аспирантуру ИХФ.

Для работ по советскому атомному проекту отбирали лучших, и Бондаренко попал в орбиту этого отбора еще за год до окончания МГУ.

РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В 1940-е годы Энрико Ферми и Александр Ильич Лейпунский независимо пришли к идее создания ядерного реактора на быстрых нейтронах. С 1950 г. исследования по проблеме реакторов на быстрых нейтронах становятся одним из важнейших направлений деятельности Лаборатории «В». Лаборатория «В» (с 1960 г. – ФЭИ, в настоящее время АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского» в г. Обнинске) была создана в 1946 г. в рамках советского атомного проекта. К этим работам А.И. Лейпунский привлек старшего лаборанта И.И. Бондаренко, который в дальнейшем принимал активное участие во всех стадиях работ по физике реакторов на быстрых нейтронах. Исследования, о которых далее пойдет речь, выполнялись лично или под непосредственным руководством Бондаренко, который к 1962 г., последовательно пройдя все ступени научно-административной лестницы, стал заведующим отделением (сектором) и заместителем директора ФЭИ.

В марте 1950 г. А.И. Лейпунский вкратце изложил основные идеи быстрых реакто-

© **А.Г. Портяной, Ю.В. Фролов, 2016**

ров и их возможную перспективную значимость для развития ядерной энергетики.

Главной задачей на первом этапе было показать возможность создания управляемого реактора на быстрых нейтронах и экспериментально подтвердить (или опровергнуть) гипотезу о расширенном воспроизводстве ядерного топлива в таких реакторах. Разработка теории и методов расчета быстрых реакторов натолкнулась на почти полное отсутствие экспериментальных данных и надежных сведений по большинству ядерных констант.

В этой большой работе И.И. Бондаренко в феврале 1950 г. поручают измерение сечений деления и неупругого рассеяния урана-238 быстрыми нейтронами. Результаты измерения сечений стали одним из оснований, которые дали возможность А.И. Лейпунскому уже в июле 1950 г. подготовить доклад «Системы на быстрых нейтронах». Этот доклад, представленный на рассмотрение научно-технического совета Первого главного управления при Совете министров СССР, руководившего тогда атомной наукой и техникой, стал основополагающим для развития нового направления атомной энергетики в нашей стране. В нем было показано, что в системах на быстрых нейтронах следует ожидать наибольшего воспроизводства ядерного топлива по сравнению с системами других типов и обосновывалась эффективность использования в них жидких металлов в качестве теплоносителя.



Игорь Ильич БОНДАРЕНКО (1926 – 1964)

В 1950 – 1953 гг. И.И. Бондаренко были выполнены измерения сечений деления и неупругого рассеяния, впервые позволившие надежно оценить вклад делений урана-238 в коэффициент воспроизводства реакторов на быстрых нейтронах. В процессе работы для него становится очевидной необходимость создания системы констант для расчета быстрых реакторов. В 1953 г. на основе своих измерений, он разработал сначала шестигрупповую, а затем девятигрупповую систему констант. Так в первом приближении И.И. Бондаренко решает еще одну крайне важную задачу – создание системы константного обеспечения для реакторных расчетов.

В апреле 1955 г. в Лаборатории «В» был пущен первый реактор на быстрых нейтронах БР-1 (критический стенд), рассчитанный по константам И.И. Бондаренко. Следующим стал первый в Евразии действующий быстрый реактор БР-2 мощностью 100 кВт с ртутным теплоносителем и плутониевым топливом, принятый в эксплуатацию в 1956 г.

Основная тяжесть работ, связанных с пуском реактора, легла на И.И. Бондаренко.

Когда возникли сомнения о возможности расширенного воспроизводства ядерного топлива, И.И. Бондаренко совместно с Л.Н. Усачевым и другими сотрудниками предложили уникальный обходной путь – по остаткам продуктов взрыва плутониевой бомбы оценить коэффициент воспроизводства ядерного топлива для плутониевого реактора на быстрых нейтронах. Измерения показали, что коэффициент воспроизводства ядерного горючего в быстром реакторе может превосходить 2. Тем самым была экспериментально подтверждена возможность расширенного воспроизводства ядерного горючего в реакторах этого типа.

В 1957 г. И.И. Бондаренко провел исследования физических процессов в экспериментальном комбинированном реакторе на быстрых и тепловых нейтронах (комбинированный быстро-тепловой реактор). Исследования показали возможность улучшения характеристик реактора при сохранении расширенного воспроизводства ядерного горючего.

В 1958 – 1961 гг. при непосредственном участии И.И. Бондаренко была проведена большая серия исследований физических характеристик реакторов на быстрых нейтронах с замедляющими отражателями. Была обоснована перспективность использования реакторов нового класса на транспортных установках летательных аппаратов. Результаты этих исследований в дальнейшем широко применялись при проектировании реакторов для космической техники.

В процессе исследований, начатых в 1956 г., И.И. Бондаренко впервые экспериментально показал влияние резонансной структуры сечений на характеристики быстрых реакторов. В дальнейшем для широкой области энергий нейтронов и большого числа элементов были выполнены измерения параметров резонансной структуры сечений, необходимых для расчета энергетических и транспортных реакторов на быстрых нейтронах.

В одном из экспериментов, проводимых на БР-1, И.И. Бондаренко обратил внимание на аномалию в распределении нейтронного потока. Объяснение этой аномалии привело его к введению фактора блокировки при создании следующей 12-групповой системы констант.

Основная часть работ по созданию многогрупповой системы констант была завершена в 1963 г. Созданная 26-групповая система констант отражает все важнейшие особенности взаимодействия нейтронов с материалами. Это, пожалуй, единственная начатая большая работа из задуманных, которая завершилась при жизни Игоря Ильича. Ее авторами являются И.И. Бондаренко, М.Н. Николаев, Л.П. Абагян и Н.О. Базазянц. В 1962 г. работу представили на Международном семинаре по физике быстрых реакторов в Вене и перевели на французский язык. В 1964 г. по материалам этой работы была издана книга «Групповые константы для расчета ядерных реакторов», а ее перевод был опубликован в США. Труд советских ученых быстро получил мировую известность под именем «Система групповых констант БНАБ» (аббревиатура составлена по начальным буквам фамилий авторов).

В 1960 г. за цикл работ по созданию реакторов на быстрых нейтронах И.И. Бондаренко, А.И. Лейпунский, О.Д. Казачковский и Л.Н. Усачев получили Ленинскую премию.

Особое место в работах над быстрыми реакторами занимает импульсный быстрый реактор (ИБР). ИБР – это одно из достижений человечества, позволяющее исследовать тонкую структуру материи с помощью нейтронов. История ИБР началась в Обнинске – осенью 1955 г. на общем семинаре института Д.И. Блохинцев изложил свою идею создания пульсирующего реактора. Теория этого реактора была разработана И.И. Бондаренко и Ю.Я. Стависким. В 1960 г. ИБР был введен в эксплуатацию. В 1971 г. за создание ИБР И.И. Бондаренко в числе других присуждена Государственная премия (посмертно). А за его вклад в теоретическое и техническое обоснование реактора аббревиатуру ИБР сотрудники ФЭИ расшифровывали как «Игоря Бондаренко Реактор».

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Большинство исследований по ядерной физике, выполненных И.И. Бондаренко и руководимым им коллективом, связаны с работами по физике реакторов на быстрых нейтронах. Команда И.И. Бондаренко выполнила трудоемкую серию измерений сечений деления под действием быстрых нейтронов. В том числе было произведено первое детальное измерение энергетической зависимости сечения деления плутония-240 и обнаружено, что заметное сечение деления сохраняется и для промежуточных нейтронов. Выполненные измерения энергетической зависимости сечений деления урана-233, урана-235 и плутония-239 являлись, по некоторым оценкам, наиболее детальными из известных в то время. Они позволили обнаружить ранее незамечавшиеся особенности, связанные с открытием «каналов деления».

Еще в 1951 – 1952 гг. И.И. Бондаренко выполнил одно из первых измерений формы спектра нейтронов деления в области малых энергий (от 0 до 600 кэВ), результаты которого нашли подтверждение в более поздних работах. Под его руководством было выполнено первое вполне надежное сравнение спектров нейтронов деления урана-235, урана-233 и плутония-239, позволившее количественно установить небольшую разницу в форме этих спектров.

В 1955 – 1956 гг. коллектив И.И. Бондаренко провел первые точные измерения средних чисел вторичных нейтронов, возникающих при делении урана-233, урана-235 и плутония-239 моноэнергетическими быстрыми нейтронами, энергия которых не превышает порога реакции (n, nf) (несколько ранее аналогичные измерения были выполнены в ИАЭ им. И.В. Курчатова, но не для моноэнергетических нейтронов). Тогда же были выполнены первые точные измерения среднего числа вторичных нейтронов для урана-238, являющегося основным «ядерным сырьем».

Полученное значение значительно превосходило общепринятое (2,85 вместо 2,5). Этот факт был подтвержден последующими измерениями, проведенными отечественными и зарубежными учеными. Были проведены первые измерения средних чисел вторичных нейтронов для ряда других изотопов с пороговым ходом сечения деления (торий-232, плутоний-240, нептуний-237).

Результаты этих измерений позволили построить систематику значений средних чисел вторичных нейтронов, что имело важное значение для оценки роли трансурановых изотопов в реакторах с расширенным воспроизводством горючего.

В 1961 г. в ходе измерений энергетической зависимости среднего числа вторичных нейтронов для урана-235 в области относительно малых энергий были обнаружены отступления от обычно принимаемого линейного закона, которые связаны с появлением «канальных» эффектов при делении.

Под руководством И.И. Бондаренко выполнялись измерения угловых распределений упруго рассеянных нейтронов и спектров неупруго рассеянных нейтронов для ряда элементов. В 1955 – 1956 гг. совместно с Ю.А. Александровым впервые были измерены сечения рассеяния быстрых нейтронов на малые углы, происходящие за счет взаимодействия нейтронов с кулоновским полем ядер.

ТРИ ШАГА В КОСМОС (НАЧАЛО ЯДЕРНОГО КОСМОСА)

Ядерные ракетные двигатели

И.И. Бондаренко одним из первых в СССР начал заниматься решением проблем использования ядерной энергии для освоения космоса: ядерные ракетные двигатели, бортовые ядерные энергетические источники электричества, ионные движители. Это стало еще одним значительным направлением работ ФЭИ, которое создал И.И. Бондаренко. Вокруг него, одержимого космосом, сформировалась группа таких же вчерашних выпускников вузов: В.Я. Пупко, А.С. Романович, Э.А. Стумбур, Ю.Я. Стависский.

В 1951 г. И.И. Бондаренко и В.Я. Пупко по собственной инициативе выполнили расчетную оценку гомогенного уран-графитового реактора для ракеты с использованием водорода в качестве рабочего тела. Согласно основополагающей формуле К.Э. Циолковского, появлялась возможность свести до минимума выбрасываемую массу рабочего тела из ракеты для достижения необходимой скорости. Более детальные и углубленные проработки закончились в 1954 г. выпуском отчета «Баллистическая атомная ракета». Это, фактически, был предэскизный проект ракеты с ядерным ракетным двигателем (ЯРД) на водороде в качестве рабочего тела.

Так было положено начало работам по ЯРД в СССР, выполнявшимся при поддержке руководителя атомной отрасли А.П. Завенягина и кооперации организаций отрасли (НПО «Луч», НИИ-9 и др.) совместно со специализированными предприятиями С.П. Королева (ОКБ-1), В.П. Глушко (ОКБ-456), М.В. Келдыша (НИИ-1).

В 1955 г. Лаборатория «В» предложила проект баллистической ракеты с «твердым реактором» (так на языке физиков-ядерщиков называют реакторы с активной зоной в твердом состоянии). С.П. Королев и В.П. Глушко вначале считали, что такая ракета будет неконкурентоспособной в сравнении с ракетой на химическом жидком топливе.

Несмотря на то, что конструкторы космических летательных аппаратов не спешили воплощать идеи Лаборатории «В», в нашей стране выполнялась реализация проектов ЯРД. Достаточно быстро за Лабораторией «В» закрепился приоритет в этой новой области исследований. В частности, И.В. Курчатов, получая материалы по созданию атомных ракетных двигателей, просил направлять их «для получения заключения тов. Блохинцеву Д.И.»

В 1956 г. на основе предложений Лаборатории «В» вышло постановление Правительства СССР по созданию проекта ЯРД с малогабаритным высокотемпературным реактором. В ФЭИ для ЯРД был предложен малогабаритный гетерогенный реактор с гидрид-циркониевым замедлителем. Ориентация на гетерогенный реактор и поэтапную отработку его узлов составляла фундаментальное различие программ создания ЯРД в СССР и США. И это различие оказалось, как позднее было признано (в том числе и американскими специалистами), в пользу советской программы.

В 1965 г. к работам по ЯРД привлекается Конструкторское бюро химавтоматики (КБХА) в Воронеже. В 1966 г. выпущен проект ЯРД на водороде с тягой 3,6 тонны. Это был первый в СССР спроектированный, изготовленный и испытанный ЯРД. Так через пятнадцать лет осуществилась одна из желанных целей Игоря Ильича, путь к которой он наметил еще в 1951 г.

Ионный движитель

И.И. Бондаренко искал и другие способы путешествия во Вселенной. С помощью электроэнергии И.И. Бондаренко мечтал привести в действие ионный движитель (электрореактивный двигатель) и получить хотя бы малую тягу, которая в условиях космоса достаточна для перемещения космического аппарата на дальние расстояния.

В 1954 г. по предложению И.И. Бондаренко в ФЭИ организуется группа для создания моделей ионного движителя и экспериментальных исследований возможных его характеристик, выявления факторов, определяющих эти характеристики. Он предлагает тип экспериментальной модели ионного движителя и составляет программу исследований.

С 1954 по 1963 гг. был проведен большой цикл экспериментов по изучению моделей ионных движителей. В опытных моделях удалось впервые получить реактивную тягу около 20 г при скорости истечения паров цезия ~ 100 м/с.

Космические энергетические установки

И.И. Бондаренко активно занимался проблемой прямого преобразования ядерной энергии в электрическую. В качестве первого (как оказалось потом, и наиболее подходящего) варианта был выбран реактор на металлическом уране высокого обогащения с бериллиевым отражателем.

На приеме у В.Н. Челомея А.И. Лейпунский и И.И. Бондаренко доложили о проекте ЯЭУ с прямым преобразованием энергии для питания локаторов искусственных спутников Земли. На основе предложений Лаборатории «В» в 1956 г. вышло Постановление правительства СССР по разработке бортовых ядерно-энергетических установок для космических аппаратов. Начались работы по созданию энергетической установки БУК (бортовая установка космическая) с термоэлектрическим преобразованием. Конструктивная концепция самого реактора и всей ядерно-энергетической установки БУК были предложены И.И. Бондаренко. Он же руководил первым физическим пуском реактора-прототипа БУК.

Первая бортовая ядерная энергетическая установка БУК была выведена в космос 3 октября 1970 г. на спутнике «Космос-367». Всего было выполнено 33 запуска ЯЭУ БУК на околоземные орбиты в составе космических аппаратов боевой системы военно-морской космической разведки.

Последним рывком в космос для И.И. Бондаренко оказался ядерный термоэмиссионный преобразователь (ТЭП). Разработка термоэмиссионных ядерно-энергетических установок началась в ФЭИ с 1958 г., когда стало известно о готовящихся в Лос-Аламосской национальной лаборатории реакторных экспериментах доктора Дж. Гровера с одноэлементными образцами электрогенерирующих каналов.

В 1960 г. в условиях недостатка научно-технической информации И.И. Бондаренко с сотрудниками написал отчет по термоэмиссионному преобразованию энергии, который стал учебником для многих ученых и инженеров. Игорь Ильич разработал концепцию термоэмиссионного реактора-преобразователя вплоть до конструктивной схемы электрогенерирующего канала.

В ФЭИ (и впервые в Советском Союзе) пуск термоэмиссионного преобразователя был осуществлен 12 апреля 1961 г. Ю.К. Гуськовым и В.Г. Петровским под руководством И.И. Бондаренко на петле реактора БР-5. Первый петлевой образец ТЭП, проработавший 50 часов в плазменно-диффузионном режиме, повторял идею Дж. Гровера (голый катод из карбида урана с карбидом циркония, далее зазор с парами цезия и анод из нержавеющей стали).

После успешного эксперимента начался новый этап работ. И.И. Бондаренко создал электрогенерирующий элемент (ЭГЭ) собственной конструкции с выбором материалов, обеспечивающих повышенный ресурс. Для создания реактора-преобразователя он предложил объединить отдельные ЭГЭ между собой подстыковкой друг к другу и образовать электрогенерирующий канал. Такая многоэлементная конструкция оказалась более практичной в эксплуатации, чем одноэлементные варианты, предлагавшиеся позднее другими институтами. Физика самого ядерного реактора исследовалась на специальном критическом стенде.

Первый образец термоэмиссионной ЯЭУ, получивший название ТОПАЗ (термоэмиссионный опытный преобразователь в активной зоне), заработал в ФЭИ в апреле 1975 г. Первый летный образец ТОПАЗ на «Космосе-1818» стартовал на орбиту 2 февраля 1987 г. и проработал там 143 дня. Второй ТОПАЗ в составе «Космоса-1867» стартовал 10 июля 1987 г. и проработал уже 343 дня. Это был еще один успех идей И.И. Бондаренко.

Последний запуск отечественного космического аппарата с бортовой ЯЭУ состоялся 15 марта 1988 г. На спутнике «Космос-1933» была установлена доработанная установка БУК с шестимесячным сроком функционирования и электрической мощностью в конце ресурса 2400 Вт. И хотя полет прошел нормально, от эксплуатации аппаратов с ЯЭУ в космосе было решено отказаться. Основной причиной этого стало давление со стороны США и подконтрольных им международных организаций, требовавших от Советского Союза «прекратить загрязнение космоса», а заодно и

убиравших с пути значительно опередившего их конкурента. Отметим, что в последующие годы нигде, несмотря на неоднократные попытки, не смогли даже повторить технологию изготовления космических ЯЭУ типа ТОПАЗ, фундамент которой заложили ученые и специалисты ФЭИ во главе И.И. Бондаренко.

ЭПИЛОГ

Несмотря на чрезвычайную загруженность реакторной тематикой, Игорь Ильич проявлял постоянный интерес к философским проблемам мироздания. Его интересовал нейтрон не только как средство поддержания цепной реакции, но и как объект микромира. Он выбрал актуальное для того времени (середина XX века) изучение несохранения четности в слабых взаимодействиях на примере β -распада свободного нейтрона. Необходимо было измерить анизотропию вылета электронов относительно направления спинов распадающихся поляризованных тепловых нейтронов. Он организовал специальную группу непосредственных исполнителей в составе Ю.А. Александрова, Г.В. Аникина, В.Ф. Кузнецова, А.С. Солдатова для проектирования и создания установки РОН (распад ориентированного нейтрона) и привлек факультативно других экспериментаторов, занятых реакторными работами, для расчетов и обсуждения характеристик отдельных узлов РОН.

И.И. Бондаренко всерьез интересовался философией и в течение многих лет руководил философским семинаром в ФЭИ.

Обширные научные и технические знания, глубокое понимание сущности явлений, блестящая интуиция позволяли Игорю Ильичу быстро получать точные количественные результаты на основании простых физических соображений. Эти редчайшие качества особенно его выделяли. Почти во все направления работ ФЭИ И.И. Бондаренко внес важный вклад, чувствуящийся и до сих пор. Игорь Ильич прожил короткую, но яркую жизнь – он скончался на 38-м году, в самом расцвете творческих сил, и многое уже задуманное сделать не успел.

Поступила в редакцию 11.11.2016 г.

Авторы

Портяной Анатолий Григорьевич, зам. начальника отдела, канд. техн. наук

Фролов Юрий Викторович, историк-архивист,
начальник Управления документационного обеспечения