

УДК 621.039

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.1.14>*Оригинальная статья / Original paper*

К вопросу о создании БР-1 – первого экспериментального быстрого реактора в СССР

Ю.В. Фролов, В.М. Троянов

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»,

249033, Калужская обл, г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1

Реферат. На основании архивных документов и воспоминаний участников работ представлен лишь один эпизод из почти драматической истории создания в СССР энергетических реакторов на быстрых нейтронах, охватывающий период 1949–1955 гг. – от обсуждения и принятия решения о начале работ до пуска первого в СССР быстрого экспериментального реактора БР-1. Показано значение А.И. Лейпунского как инициатора, идеолога и научного руководителя работ по проблеме быстрых реакторов в СССР, вклад Д.И. Блохинцева и Л.Н. Усачева в создание теории быстрых реакторов, отражена роль руководителей советского атомного проекта И.В. Курчатова, Е.П. Славского и Научно-технического совета Первого главного управления при СМ СССР в принятии решения о сооружении в Лаборатории «В» (ныне – АО «ГНЦ РФ – ФЭИ») реактора БР-1, кратко отражены причина и история создания БР-1, названы основные участники НИОКР в Лаборатории «В», раскрыта причина передачи работ по быстрым реакторам из ЛИПАН (ныне – НИЦ «Курчатовский институт») в Лабораторию «В».

Ключевые слова: реактор на быстрых нейтронах, Лаборатория «В», АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», И.В. Курчатов, Е.П. Славский, А.И. Лейпунский, Д.И. Блохинцев, реактор БР-1, реактор БР-2, теория реактора, расчет, разработка и сооружение.

Для цитирования: Фролов Ю.В., Троянов В.М. К вопросу о создании БР-1 – первого экспериментального быстрого реактора в СССР. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2025;1:189–202. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.1.14>

Разработка быстрых реакторов (как и реакторов любого другого типа) началась с зарождения идеи, основанной на расчетно-теоретических оценках и немногочисленных экспериментальных данных. Затем последовало создание критических сборок и физических реакторов небольшой мощности, предназначенных для проведения исследований по физике реакторов, и измерения элементарных констант взаимодействия нейтронов с веществом.

Первый реактор на быстрых нейтронах «Клементина» был создан в 1946 г. в Лос-Аламосской национальной лаборатории США. Основной целью его создания было изучение возможностей воспроизводства топлива в реакторах на быстрых нейтронах, исследование проблем управления реакторами и получение источника

быстрых нейтронов. В качестве топлива использовался плутоний-239, замедлитель отсутствовал, отражатель был выполнен из естественного урана, теплоносителем служила ртуть, мощность 20 кВт. Реактор работал с 1946 по 1953 гг. 20 декабря 1951 г. на экспериментальной площадке Аргонской лаборатории в Айдахо (США) достиг критичности экспериментальный реактор-размножитель EBR-I. В реакторе на первых этапах использовались элементы из урана-235, охлаждение осуществлялось сплавом натрия-калий, максимальная тепловая мощность 1400 кВт.

В 1951 г. были начаты исследования реакторов на быстрых нейтронах в Харуэлле (Англия), которые привели к пуску в феврале 1954 г. реактора ZEPHYR мощностью 2 Вт с плутониевым сердечником, окруженным оболочкой из природного урана. В 1955 г. был построен и эксплуатировался до 1957 г. реактор нулевой мощности ZEUS, предназначенный для моделирования реактора большей мощности DFR [1, стр. 12 – 13].

В СССР изучение процессов, связанных с быстрыми нейтронами, началось с развертыванием работ по атомному проекту. Так в Тематические перечни научно-исследовательских работ по ядерной физике, подготовленные АН СССР и Первым главным управлением (ПГУ) при СМ СССР¹, утвержденные распоряжением СМ СССР 13 декабря 1946 г., которое подписал заместитель председателя СМ СССР Л.П. Берия, включены две работы по изучению взаимодействия быстрых нейтронов с атомными ядрами. Исполнители работ – Лаборатория № 2², Ленинградский физико-технический институт и Радиевый институт АН СССР [2, с. 38, 46, 49].

В декабре 1946 г. И.В. Курчатов и Н.Н. Семенов (директор Института химической физики АН СССР, ИХФ) обращаются к председателю НТС ПГУ Б.Л. Ванникову с предложением организовать при ИХФ под председательством Н.Н. Семенова семинар для обсуждения процессов в ядерном заряде, вызываемых быстрыми нейтронами, с участием ведущих специалистов организаций, занятых в оружейной тематике. А.И. Лейпунский был включен в этот список от Лаборатории № 3³, где он в 1946 – 1947 гг. был начальником сектора.

В ноябре 1949 г. начальник сектора ЛИПАН С.М. Фейнберг в записке «Атомная энергия для промышленных целей» писал: «В течение двух лет в ЛИПАН ведутся изыскания новых типов атомных котлов, предназначенных для производства ядерного горючего из неактивных элементов (урана-238 и тория-232) либо для двигателей. Эти работы не приобрели большого размаха вследствие недостаточности сведений относительно некоторых ядерных констант и, в еще большей мере – вследствие отсутствия экспериментальных возможностей ... До последнего времени довели более

¹ *Первое главное управление (ПГУ) при ГКО, затем при СНК (СМ) СССР – создано 20.08.1945 г. как орган непосредственного руководства научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями по использованию внутриатомной энергии урана и производству атомных бомб. На базе, главным образом, ПГУ и подчиненных ему организаций и предприятий в июне 1953 г. образовано Министерство среднего машиностроения СССР.*

² *Лаборатория № 2 АН СССР организована 12.04.1943 г. на основании распоряжения Госкомитета обороны на базе Ленинградского физико-технического института для возобновления «работ по урану». Начальником был назначен И.В. Курчатов. С 1949 г. – Лаборатория измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН), с 1960 г. – Институт атомной энергии АН СССР, ныне – НИЦ «Курчатовский институт».*

³ *Лаборатория № 3 АН СССР создана постановлением СНК СССР от 01.12.1945 г. для проведения работ по тяжеловодным реакторам; ныне – Институт теоретической и экспериментальной физики, который входит в состав НИЦ «Курчатовский институт».*

первоочередные задачи.» [2, с. 111]. «Первоочередные задачи», о которых пишет С.М. Фейнберг, – создание ядерного заряда. После решения этой задачи появилась возможность перейти к решению проблемы энергетических атомных реакторов, в частности, реакторов на быстрых нейтронах.

В конце 1949 г., вскоре после испытания первой советской атомной бомбы, А.И. Лейпунский направляет докладные записки руководителям советского атомного проекта, в которых показывает, что «наиболее обещающим аппаратом для целей расширенного воспроизводства активных веществ» является быстрый реактор.

В записке заместителю начальника ПГУ А.П. Завенягину, подготовленной А.И. Лейпунским в октябре 1949 г. и подписанной вместе с ним А.Д. Зверевым и Д.И. Блохинцевым, в частности, говорится: «Работы по энергетическим системам в настоящее время ведутся очень узко. ... Уже в настоящее время было бы полезно шире развить работы по различным энергетическим системам с целью их сопоставления и выбора наиболее эффективных путей решения задач...». В записке предлагалось поручить разработку энергетических реакторов на быстрых и промежуточных нейтронах Лаборатории «В» [2, с. 106 – 107].

В декабре 1949 г. А.И. Лейпунский направляет научному руководителю советского атомного проекта И.В. Курчатову доклад на тему «О воспроизводстве делящихся веществ», в котором вновь пишет о необходимости начала работ по быстрым реакторам и показывает, что «имеется значительная вероятность использования реакторов на быстрых нейтронах для успешного воспроизводства активных веществ» и, «учитывая большое значение создания воспроизводящих реакторов», предлагает построить «в Лаборатории «В» или другом месте» «маломощный опытный реактор на быстрых нейтронах из чистого Pu^{239} , измерения на котором дадут возможность определения β_0 » [3]. Результатом стало включение расчетных и экспериментальных работ по реакторам на быстрых нейтронах в Тематический план Лаборатории «В» на 1950 г., утвержденный ПГУ в марте 1950 г. [4].

С самого начала эти работы инициировались А.И. Лейпунским, который к этому времени пришел к твердому убеждению о необходимости развития атомной энергетики на основе быстрых реакторов. «Я вспоминаю, – пишет Д.И. Блохинцев, – как однажды мы ехали в машине в Обнинск и А.И. Лейпунский сказал мне: «Кажется, становится ясным, почему могут быть полезными реакторы на быстрых нейтронах»... Однако к концу 1940-х гг. никакой информации для убедительного расчета реакторов такого типа мы не имели. Необходимые экспериментальные данные были очень скудны и не давали однозначных ответов на множество возникавших вопросов.» [5, с. 23].

«В 1949 г. Александр Ильич рассказал мне о проблеме реакторов на быстрых нейтронах. И у меня создалось твердое впечатление, что эти умозрительные выводы принадлежат лично ему», – вспоминает О.Д. Казачковский [6, с. 291].

О начале работ и о том, как А.И. Лейпунский доносил свои идеи до научного сообщества, вспоминает Э.А. Стумбур: «В марте 1950 г. А.И. Лейпунский в узком кругу изложил вкратце основные идеи быстрых реакторов и их возможную перспективную значимость для новой стратегии развития ядерной энергетики. Помимо Д.И. Блохинцева и О.Д. Казачковского были также приглашены Л.Н. Усачев, А.С. Романович (теоретики), а также первые экспериментаторы, выбранные из МГУ, И.И. Бондаренко и я. Александр Ильич призвал нас всех глубоко вдуматься в его идею, подобрать как

аргументы в ее пользу, а также все критические замечания, возможные недоумения и сомнения – все, что придет в голову!» [7, с. 18].

В июле 1950 г. А.И. Лейпунский представил на рассмотрение НТС ПГУ, руководившего тогда всей атомной наукой и техникой, доклад «Системы на быстрых нейтронах», ставший основополагающим для развития нового направления атомной энергетики в нашей стране. В докладе была изложена идея воспроизводства в реакторах на быстрых нейтронах, обоснованная данными о нейтронных сечениях, прикидочные оценки критических масс систем, возможные значения коэффициентов воспроизводства, обосновывалась эффективность использования в реакторах жидких металлов в качестве теплоносителя, принципы регулирования, подходящие конструкционные материалы для систем такого типа [8, с. 62–69].

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. Разработка теории и методов расчета быстрых реакторов натолкнулась на почти полное отсутствие экспериментальных данных и надежных сведений по большинству ядерных констант. В Лаборатории «В» в 1950 г. были разработаны общие основы теории реакторов на быстрых нейтронах. Существенным отличием их от реакторов на тепловых нейтронах является, по свидетельству Д.И. Блохинцева, наличие неупругого рассеяния нейтронов. На основе этой теории были предложены упрощенные методы численных расчетов энергетического спектра нейтронов, воспроизводства, кинетики реактора на быстрых нейтронах. Это позволило директору Лаборатории «В» Д.И. Блохинцеву написать, что «в результате работ этого года Лаборатория «В» располагает теперь методами расчета реактора на быстрых нейтронах в смысле «первого приближения». Произведенные расчеты показали принципиальную возможность реакторов на быстрых нейтронах и их целесообразность в качестве систем, могущих обеспечить и производство энергии и одновременно воспроизводство радиоактивных веществ из урана или тория». Эти расчеты были выполнены Л.Н. Усачевым по руководством Д.И. Блохинцева.

Д.И. Блохинцевым в 1950 г. была выполнена первая работа по теории быстрых реакторов «Кинетические уравнения для быстрых нейтронов», в которой была поставлена задача нахождения пространственно-энергетического распределения нейтронов с учетом всех основных существенных эффектов взаимодействия нейтронов с ядрами. В ней дано кинетическое уравнение для функции распределения нейтронов и предложен ряд методов решения этого уравнения. В другой работе, выполненной в 1951 г., «К теории кинетических уравнений», им были сформулированы основы теории расчетов критических масс и воспроизводства в реакторах на быстрых и промежуточных нейтронах.

В рамках этой же тематики Лабораторией «В» в 1950 г. были выполнены работы по измерению ядерно-физических констант, необходимых для расчета реактора на быстрых нейтронах (рук. работ А.И. Лейпунский), измерению сечения деления урана и тория на нейтронах спектра деления (рук. работ О.Д. Казачковский, исп. И.И. Бондаренко), определению сечения захвата быстрых нейтронов методом активации (рук. работ О.Д. Казачковский, исп. Э.А. Стумбур) и другие.

Скоро стало очевидно, что основные работы выполняет Лаборатория «В». Поэтому в сентябре 1950 г. Б.Л. Ванников и И.В. Курчатov в докладной записке на имя Л.П. Берии пишут: «В связи с загрузкой ЛИПАН (т. Курчатov И.В.) не предусмотренными планом

работами ... решено поручить исполнение теоретических расчетов по кристаллизатору на быстрых нулевых точках⁴ Лаборатории «В» (г. Блохинцев, т. Лейпунский).» [9, с. 626].

Здесь необходимо отметить одно обстоятельство, важное для понимания ситуации. В отличие от ЛИПАН и ряда других организаций Лаборатория «В» не имела возможности использовать разведматериалы, полученные из-за границы, среди которых были отдельные сведения и даже справочник по реакторным данным и др. Это подтверждает, в частности, Э.А. Стумбур: «Никакой информации (по «любим каналам») о возможных формах конструкционного осуществления реакторов на быстрых нейтронах в это время в СССР не было. Первые публикации о критсборке «Зефир» ... и опытном реакторе EBR-1 ... появились лишь в докладах на I Женевской конференции в 1955 г. Отечественные конструктора (и ряд физиков) не только не имели «идей» по созданию быстрых реакторов, но и крайне негативно относились к реализуемости таких систем, в особенности по части управляемости их безопасностью и жидкометаллическому теплоносителю, а также реальности расширенного воспроизводства. Заслуга преодоления таких тенденций в основной мере принадлежит ФЭИ» [10, с. 26 – 27].

В докладной записке министру В.А. Малышеву в августе 1953 г. отсутствие зарубежной информации подтверждает и А.И. Лейпунский, который пишет, что «из технических публикаций в журналах США и Англии видно, что аппаратам на быстрых там придается большое значение. Так, в США в течение ряда лет работал опытный аппарат на быстрых мощностью 30 кВт, а с конца 1952 г. работает аппарат мощностью больше 1000 кВт. Недавно опубликованы некоторые намеки на проекты промышленных аппаратов, которые не отличаются от наших проектов 1950 года».

А.И. Лейпунский, докладывая НТС ПГУ о проделанной Лабораторией «В» в 1950 г. работе, выделяет главные результаты: усовершенствована теория реактора на быстрых нейтронах, выполнены примерные расчеты и получены интересные результаты, которые позволяли сделать выводы, что «коэффициент воспроизводства можно ожидать около 1,5», «возможно построить агрегат мощностью около 1 миллиона кВт, т.е. в сутки можно получать 500 грамм прибыли делящегося вещества», «не меньше 20% мощности можно превратить в электрическую»; группой Христенко П.Е. в ГСПИ-11 «разработан эскизный проект опытной установки на 50 000 кВт, требующий около 2 тонн урана, обогащенного до 13 – 14%».

В Отчете о выполнении Плана работ за 1950 г. по тематике ПГУ по теме «Теоретические работы по реакторам, работающим на быстрых нейтронах. Научный руководитель т. Курчатов И.В.» говорится: «Отчет научным руководителем не представлен, так как эта работа ЛИПАН не проводилась в связи с загрузкой ЛИПАН другими заданиями. Работы по быстрым нейтронам сосредоточились в Лаборатории «В» (Блохинцев, Лейпунский). В 1950 г. в Лаборатории «В» была разработана методика расчета систем на быстрых нейтронах и рассчитано несколько вариантов реакторов. Расчеты показали принципиальную возможность осуществить расширенное воспроизводство с коэффициентом 1,5 в агрегате с металлическим охлаждением на быстрых нейтронах.

⁴ Кристаллизатор на быстрых нулевых точках – в документах тех лет применялось легодирование основных терминов и понятий, данная фраза означает «Реактор на быстрых нейтронах». В статье легодирование терминов сохранено при цитировании опубликованных документов; при использовании неопубликованных документов легенды расшифрованы, чтобы не усложнять восприятие текста; если легенды сохранены, то даются пояснения.

В 1951 г. продолжение расчетных и экспериментальных работ по агрегатам на быстрых нейтронах поручается Лаборатории «В».

Активная позиция А.И. Лейпунского, который настаивал на разворачивании в стране работ по созданию реакторов на быстрых нейтронах и передаче их Лаборатории «В», полная поддержка его в этом со стороны директора Лаборатории «В» Д.И. Блохинцева способствовали тому, что в постановлении СМ СССР от 1 июля 1950 г. «О работе научно-исследовательских институтов «А» и «Г» и лабораторий «Б» и «В» Первого главного управления при СМ СССР», подписанном Председателем СМ СССР И.В. Сталиным, на Лабораторию «В» в числе других задач возлагалась задача «исследования возможности расширенного воспроизводства специальных веществ, в том числе выполнение теоретических и экспериментальных работ, связанных с разработкой кристаллизаторов на быстрых и промежуточных нулевых точках. (Основные исполнители: проф. Лейпунский, проф. Блохинцев).» [9, с. 230].

Таким образом, 1950 г. стал важным этапом в истории работ по реакторам на быстрых нейтронах. С этого момента исследования по быстрым реакторам и изучению жидкометаллических теплоносителей, по технологии жидких металлов и поведению в них конструкционных материалов сосредоточились в Лаборатории «В».

В последующие годы в Лаборатории «В» были продолжены расчетные и экспериментальные работы по быстрым реакторам. Л.Н. Усачевым под руководством Д.И. Блохинцева был выполнен цикл работ по теории и методам расчета быстрых реакторов. В 1951 г. были решены уравнения кинетики изотопного состава и впервые рассмотрены перспективы развития энергетики при размножении быстрых нейтронов на избытке воспроизводимого плутония. Полученные цифры показали возможности, заложенные в быстрых реакторах.

В кратком отчете о выполнении плана работ по тематике ПГУ за 1951 г., подписанном И.В. Курчатовым, говорится: «В 1951 году велась теоретическая разработка возможности расширенного воспроизводства активного металла. В Лаборатории «В» разработан предварительный эскизный проект агрегата на быстрых нейтронах, могущего по теоретическим расчетам обеспечить расширенное на 30 – 50% воспроизводство активного материала, т.е. выдать на каждый 1 кг сгоревшего активного металла вновь 1,3 – 1,5 кг активного металла. Процесс на быстрых нейтронах сопровождается получением большого количества нейтронов на каждый акт деления (по теоретическим данным)».

Важные результаты были получены в Лаборатории «В» в 1952 г. В области измерения сечений деления активных элементов были измерены сечения деления для нейтронов спектра деления и для нейтронов в 2,5 МэВ, большое количество работ было посвящено изучению эффективного сечения неупругого рассеяния нейтронов в 2,5 МэВ и нейтронов спектра деления для урана-238 и неактивных элементов. Большое значение для изучения процессов в реакторе имело открытое в Лаборатории «В» неупругое рассеяние для урана-238. В связи с проектированием реакторов БР-1 и БР-2 малого размера с плутониевой активной зоной была развита теория возмущений, исходя из одноруппового кинетического уравнения с учетом анизотропного рассеяния. В итоговых работах того периода Л.Н. Усачев изложил основные методические положения расчета быстрых реакторов [4].

Главной целью, которую ставили Д.И. Блохинцев и А.И. Лейпунский, было сооружение в Лаборатории «В», как минимум, экспериментального реактора. Поэтому в декабре 1951 г. они обращаются к И.В. Курчатову с письмом, в котором просят вклю-

чить в план 1952 г. сооружение в Лаборатории «В» опытного реактора на быстрых нейтронах с плутониевой активной зоной мощностью порядка 100 кВт с осуществлением его пуска уже в начале 1953 г.

13.06.1952 г. на заседании Секции № 1 НТС ПГУ, которое вел зам. председателя секции А.П. Александров (в состав секции входил Д.И. Блохинцев), были заслушаны сообщения А.И. Лейпунского и П.И. Христенко по теме «Перспективы использования процессов на быстрых нулевых точках (БНТ) и техническое задание на физический кристаллизатор БНТФ⁵».

В своем сообщении Лейпунский говорил о том, что для расчета проекта промышленного реактора на быстрых нейтронах мощностью 1 – 1,5 млн кВт необходимо сооружение опытного физического агрегата БНТФ с плутониевой активной зоной, мощностью по тепловыделению в активной зоне 100 кВт и ртутным теплоносителем. Сооружение агрегата БНТФ предполагалось осуществить в два этапа. В первую очередь – соорудить аппарат без защиты в обычном лабораторном помещении при мощности в несколько ватт для определения критической массы и свойств отражателя. Во вторую очередь – построить агрегат с ртутным охлаждением на 100 – 200 кВт для измерения радиационного захвата быстрых нулевых точек плутонием-239 и ураном.

Секция № 1 НТС по результатам обсуждения сообщений А.И. Лейпунского и П.И. Христенко решила: «Согласиться с направлением работ Лаборатории «В» по физическому агрегату БНТФ, предусматривающим в первую очередь создание агрегата только для измерения физических констант, необходимых для разработки опытного промышленного агрегата». При этом особо было отмечено, что дальнейшее развитие работ представляется следующим образом: во-первых, сооружение физического аппарата на 100–200 Вт с целью измерения констант для снижения неточности расчетов критической массы агрегата, во-вторых, сооружение физического агрегата на 100 – 200 кВт для измерения радиационного захвата быстрых нейтронов плутонием и ураном с целью снижения неточности оценки коэффициента воспроизводства при процессе на быстрых нейтронах и, в третьих – составление технического задания на проектирование опытного промышленного агрегата на 50 – 100 тыс кВт, предназначенного для определения промышленного коэффициента воспроизводства на быстрых нейтронах.

Постановлением СМ СССР от 08.07.1952 г. был утвержден план научно-исследовательских работ по тематике ПГУ на 1952 – 1953 гг., в который вошли и работы по созданию энергетических реакторов [9, с. 447 – 449]. Используя это Постановление для ускорения процесса принятия решений, А.И. Лейпунский в августе 1952 г. вновь обращается с письмом к И.В. Курчатову, в котором просит как можно скорее обсудить и одобрить на заседании НТС ПГУ решение Секции № 1 НТС от 13 июня 1952 г.

Заседание НТС ПГУ состоялось 17.11.1952 г. Присутствовали члены Совета И.В. Курчатов (председатель), А.П. Александров, А.А. Бочвар, Е.П. Славский, Н.А. Доллежалъ и др. С сообщениями о проектах опытных реакторов на быстрых нейтронах вновь выступили А.И. Лейпунский и П.И. Христенко.

⁵ БНТ – сокращение происходит от логотипирования терминов, расшифровывается – «быстрые нулевые точки», означает «быстрые нейтроны». Кристаллизатор БНТФ означает «Реактор на быстрых нейтронах, физический». Это одно из обозначений реактора БР-2 на стадии его проектирования и сооружения; БР-2 введен в эксплуатацию в Лаборатории «В» в 1956 г.

А.И. Лейпунский сообщил о работах по изучению ядерных процессов на быстрых нейтронах, которые проводились Лабораторией «В», и снова указал: «Цепной процесс на быстрых нейтронах позволяет осуществить реактор с расширенным воспроизводством активного вещества и при использовании в них отвалного урана и тория». ... Коэффициент воспроизводства в реакторе на быстрых нейтронах может быть около $1,4 \pm 0,3$ В отличие от агрегатов других типов агрегат на быстрых нейтронах характеризуется большим в 2–4 раза весом загружаемого активного вещества и малым объемом активной зоны...». «В качестве теплоносителя наиболее выгодно использовать жидкие металлы, так как они вызывают небольшое замедление нейтронов, мало поглощают нейтроны и имеют хорошие теплотехнические свойства.». При этом А.И. Лейпунский отмечал, что «указанные расчеты проводились на основании вероятных значений физических постоянных, которые, однако, еще недостаточно достоверны и нуждаются в опытной проверке. В первую очередь необходимо сооружение стенда для определения критической массы реактора на быстрых нейтронах. Одновременно необходимо начать строительство опытного физического агрегата БНТФ мощностью 100 кВт для определения коэффициента воспроизводства, радиационного захвата быстрых нейтронов ураном и плутонием и измерения других показателей.»

П.И. Христенко в своем выступлении сообщил, что проектное задание агрегата БНТФ мощностью 100 кВт и опытный стенд для определения критической массы в натуральную величину разработаны ГСПИ-11 под научным руководством А.И. Лейпунского в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 08.07.1952 г.

Члены НТС А.И. Алиханов, Г.Н. Флеров, С.А. Скворцов в своих заключениях по сообщениям А.И. Лейпунского и П.И. Христенко высказали замечания, суть которых сводилась к следующему: постройка «опытного физического аппарата очень малой мощности 100–200 ватт для измерения физических констант не вызывает сомнений», сооружение же опытного реактора мощностью 100 кВт «является задачей более сложной и целесообразно этот вопрос дополнительно изучить».

В результате НТС ПГУ постановил, «что первоочередной задачей в области использования процесса на быстрых нейтронах является сооружение специальной стендовой установки малой мощности (около 100 ватт без теплоносителя) для определения физических постоянных процессов на быстрых нейтронах». Одновременно поручено было «т.т. Блохинцеву Д.И., Алиханову А.И., Александрову А.П., Лейпунскому А.И. и Флерову Г.И. в двухнедельный срок рассмотреть и представить предложения о целесообразности осуществления агрегата на быстрых нейтронах мощностью 100 кВт».

Это постановление НТС ПГУ имело важное значение, так как послужило основанием для создания в Лаборатории «В» реакторов БР-1 («установки малой мощности около 100 ватт без теплоносителя»), а затем и БР-2 («агрегат на быстрых нейтронах мощностью 100 кВт»). Проектирование и сооружение этих установок на площадке Лаборатории «В» проходило одновременно.

На основании проведенных в Лаборатории «В» экспериментальных исследований были получены данные, позволившие произвести расчеты необходимой конфигурации физического стенда. Разработки показали рациональность сооружения аппарата БР-1 на основе активной зоны и экрана аппарата БР-2, что позволяло использовать конструкцию, разработанную ОКБ «Гидропресс», для сооружения не только БР-2, но и БР-1. Основным содержанием работ Лаборатории «В» по БР-1 на данном этапе стало научное руководство, консультирование и контроль за предварительным проектиро-

К вопросу о создании БР-1 – первого экспериментального быстрого реактора в СССР

ванием экспериментального реактора, расчеты всех узлов аппарата. Проектирование установки в целом, здания и систем оборудования проводилось в ГСПИ-11, собственно аппарата – в ОКБ «Гидропресс». Разработкой твэлов для аппаратов БР-1 и БР-2 занимался НИИ-9 по техническим условиям, выданным Лабораторией «В» (исполнители О.Д. Казачковский, Э.А. Стумбур, А.И. Абрамов).

К началу 1955 г. были проведены широкие исследования по расчету критмассы установки БР-1, который производился с помощью кинетических уравнений в одно- и двухгрупповом приближении. Расчет удалось осуществить с помощью программы для решения кинетических уравнений реактора на счетной машине ЭВ-80. Рассчитанное значение оказалось хорошо совпадающим с ранее полученными с помощью метода Романова и интерполяционной формулы Франка-Каменецкого значениями, а также с экспериментальным значением. В первом квартале 1955 г. был завершён монтаж механического оборудования, монтаж системы регулирования и защиты, прочих вспомогательных узлов, проведены пусконаладочные работы установки. Изготовление и монтаж БР-1 осуществлял НИИ-58, бывшее Центральное артиллерийское КБ В.Г. Грабина [4].

Что представлял собой первый реактор на быстрых нейтронах, сооруженный в Лаборатории «В»? Его подробное описание содержит отчет «Реактор на быстрых нейтронах БФ-1 мощностью 100 ватт» (1956 г.), который хранится в архиве ГНЦ РФ-ФЭИ. Отчет подписали научный руководитель А.А. Лейпунский, начальник отдела О.Д. Казачковский, исполнители Ф.И. Украинцев, Н.В. Краснояр, И.И. Бондаренко, Ю.Я. Ставиский.

«Аппарат БФ-1⁶ предназначен для экспериментальных работ по изучению поведения реакторов на быстрых нейтронах, для проверки методов расчета и проведения физических экспериментов с быстрыми нейтронами. Особое внимание при конструировании реактора было уделено возможности проведения исследования по расширенному воспроизводству активного материала.

Сам реактор размещен в отдельном здании... Зал реактора размерами 12×6 метров и высотой 6 метров... Реактор расположен в центре зала на специальном помосте высотой 2 метра (рис. 1). В качестве физической защиты служит бетонная стена толщиной 1 метр, отделяющая зал реактора от помещения пульта управления (рис. 2, 3). Все управление реактором производится дистанционно с пульта управления. На пульте управления сосредоточены основные приборы контроля уровня мощности, индикаторы положения регулирующих органов, звуковые и световые указатели неисправности измерительных схем.

Активная зона реактора находится внутри центральной трубы диаметром 131 мм и представляет из себя набор активных стержней. Каждый активный стержень состоит из плутониевого сердечника диаметром 10 мм и длиной 130 мм, заваренного в трубку из нержавеющей стали диаметром 10,8×10,2 мм. Вес плутониевого сердечника 159 граммов. Кроме активных стержней в активной зоне размещаются неактивные холостые стержни из U^{238} , Cu или Fe того же диаметра. Полная емкость зоны – 108 стержней, никаких особых приспособлений, закрепляющих стержни на своем месте, нет, они могут легко удаляться и заменяться другими.

⁶ БФ-1, Быстрый Физический – обозначение БР-1 на стадии проектирования, сооружения и пуска.



Рис. 1. Экспериментальный быстрый реактор БР-1



Рис. 2. Общий вид пульта управления и щита приборов БР-1



Рис. 3. Персонал БР-1 на пульте управления

К вопросу о создании БР-1 – первого экспериментального быстрого реактора в СССР

По оси активной зоны расположен сквозной центральный (вертикальный) канал диаметром вн. 10,2 мм для различных физических экспериментов. Кроме того могут быть созданы каналы для физических измерений в любом месте активной зоны удалением соответствующего стержня. Количество активных стержней, находившихся в активной зоне, зависело от материалов отражателя и холостых стержней, количество дополнительных каналов в активной зоне лежало в пределах от 73 до 81 штуки (от 11,7 до 12,3 кг Pu^{239}).

Отражатель реактора изготовлен из обедненного урана в форме цилиндра высотой и диаметром 700 мм. Верхней частью отражателя служат хвостовики стержней активной зоны. ... Часть отражателя, расположенная непосредственно сбоку [от] активной зоны, является подвижной. Она состоит из трех элементов... На различных расстояниях от оси отражателя через 40 – 50 мм имеются сквозные вертикальные отверстия – каналы диаметром 10 мм для измерения потока нейтронов, количества делений, захватов и спектра нейтронов в материале отражателя. Для измерения этих величин на больших расстояниях от активной зоны с одной стороны отражателя пристраивается колонна из урана, меди или железа толщиной 225 мм. Сбоку отражателя против центра активной зоны имеется горизонтальный канал диаметром 30 мм для вывода наружу пучка быстрых нейтронов...» [4].

29 марта 1955 г. директор Лаборатории «В» Д.И. Блохинцев пишет первому заместителю министра среднего машиностроения СССР Е.П. Славскому: «Сообщаю, что в Лаборатории «В» подготовлен к пуску стенд БФ – аппарат на быстрых нейтронах, рассчитанный на мощность до 10 ватт, установленный в здании № 168. Комиссия, назначенная моим приказом, ... произвела приемку установки и вынесла заключение о готовности аппарата к запуску. В соответствии с приказом Министра от 24 июня 1954 г. прошу Вашего разрешения на запуск стенда БФ».

Е.П. Славский в резолюции на письме написал: «Блохинцеву Д.И. Разрешаю работать на стенде «БФ». 2-IV-55 г.». Так быстро был решен вопрос о пуске первого быстрого реактора в СССР [4].

После пуска аппарата, который состоялся 29 апреля 1955 г., Д.И. Блохинцев докладывал в Министерство: «Проведена большая работа по монтажу и пусконаладочным работам установки зд[ания] 168. В апреле был осуществлен пуск этой установки и определены критмассы и эффективность регулирующих органов на двух экранах (медь и обедненный уран). Эта работа является большим достижением..., так как установка 168 превосходит по своим качествам аналогичную английскую установку «Зефир», которой они не мало гордятся.» [4].

Еще до завершения монтажных работ была разработана обширная программа исследований. Поэтому в мае 1955 г. директор Лаборатории «В», обращаясь к Е.П. Славскому, пишет, что «работы потребуют для своего выполнения ориентировочно 1,5 – 2 года», и, учитывая «важность указанных экспериментов для создания промышленных реакторов на быстрых нейтронах» и то обстоятельство, что подобные работы не могут быть выполнены на аппарате БР-2, который еще не введен в эксплуатацию, он просит «разрешения на осуществление всей намеченной программы работ для аппарата БФ-1» [4].

Пуск БР-1, первого в СССР экспериментального реактора на быстрых нейтронах, несмотря на его невысокие параметры, имел важное значение. Недостаточность знания ядерных констант и несовершенство расчетной техники в то время не могли дать

уверенных доказательств возможности расширенного воспроизводства. На начальном этапе (1950 – 1954 гг.) основная информация о взаимодействии быстрых нейтронов с ядрами получалась в интегральных экспериментах на конверторах тепловых нейтронов. Следующий этап развития макроскопических опытов начался после пуска БР-1. На этой установке уже в 1955 г. был выполнен ряд работ по измерению констант на быстрых нейтронах, в частности, определен коэффициент воспроизводства на быстрых нейтронах с урановым и медным отражателями.

Создание БР-1 было подготовлено работами И.И. Бондаренко, О.Д. Казачковского, Л.Н. Усачева, Э.А. Стумбура, монтажом и эксплуатацией стенда в первые годы после пуска руководил Ф.И. Украинцев [4].

Роль БР-1 в проведении исследований в период до конца 1950-х гг. трудно переоценить. Пуск в 1956 г. БР-2, долгожданного реактора мощностью 100 кВт с металлическим охлаждением, который изначально хотели иметь для своих работ руководители Лаборатории «В» и необходимость которого доказывали на заседаниях НТС ПГУ, изменил ситуацию только на короткий срок: реактор БР-2 проработал год и в 1957 г. был остановлен по ряду причин. До введения в эксплуатацию в январе 1959 г. реактора БР-5, собранного на месте реактора БР-2, установка БР-1 оставалась единственным быстрым аппаратом в Лаборатории «В» и в СССР.

Литература

1. Палмер Р., Платт А. Реакторы на быстрых нейтронах. М.: Госатомиздат, 1963, 116 с.
2. К истории мирного использования атомной энергии в СССР. 1944-1951. (Документы и материалы). (Отв. ред. В.А. Сидоренко. Сост. Л.И. Кудинова, А.В. Щегельский). Обнинск, ГНЦ РФ–ФЭИ, 1994, 184 с.
3. Архив НИЦ «Курчатовский институт». Ф. 1, оп. 1/с, д. 138, л. 37–41.
4. Архив АО «ГНЦ РФ – ФЭИ». Ф. 1, оп. 1/с, д. 179, л. 3; оп. 1/с-72, д. 33, л. 19–20, л. 25, 33; оп. 1/с-нт, д. 924, л. 3–6; оп. 1/с, д. 844, л. 2, л. 10–11; оп. 1/с, д. 875а, л. 5; оп. 1/с, д. 599, л. 37; оп. 1/с, д. 318, л. 5–11.
5. Блохинцев Д.И. Рождение мирного атома. М.: Атомиздат, 1977, 113 с.
6. Казачковский О.Д. Записки физика о войне и мире. Обнинск, ГНЦ РФ–ФЭИ. 2010, 496 с.
7. Стумбур Э.А. Десять уроков Александра Ильича Лейпунского. Обнинск, АО «ГНЦ РФ–ФЭИ», 2023, 56 с.
8. Лейпунский А.И. Избранные труды. Воспоминания. ГКАЭ СССР, Физико-энергетический институт (Отв. ред. Б.Ф. Громов). Киев, Наукова думка, 1990, 278 с.
9. Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т. (Под. общ. ред. Л.Д. Рябева). Т. 2. Атомная бомба. 1945–1954. Книга 5. Федеральное агентство по атомной энергии. (Отв. сост. Г.А. Гончаров). Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005, 976 с.; М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005, 976 с.
10. К истории создания и эксплуатации исследовательского реактора на быстрых нейтронах БР-5 (БР-10). 1959–2009 гг. Статьи, воспоминания, фотодокументы. (Отв. сост. Ю.В. Фролов). Обнинск, ГНЦ РФ–ФЭИ, 2009, 190 с.

Поступила в редакцию 28.02.2024

После доработки 05.03.2025

Принята к опубликованию 14.03.2025

Авторы

Фролов Юрий Викторович, советник научного руководителя,

E-mail: yuvfrolov@ippe.ru;

Троянов Владимир Михайлович, научный руководитель, д.т.н.,

E-mail: vmtroyanov@ippe.ru

UDC 621.039

On the Development and Construction of BR-1 – the First Experimental Fast Reactor in the USSR

Frolov Yu.V., Troyanov V.M.

IPPE JSC,

1 Bondarenko Sq., 249033 Obninsk, Kaluga reg., Russia

Abstract

Based on archived documents and the recollections of participants in the work, a single episode from the almost dramatic history of the creation of fast neutron energy reactors in the USSR is presented, covering the period from 1949 to 1955 – from the discussion and decision to begin work to the commissioning of the first experimental fast reactor BR-1 in the USSR. The significance of A.I. Leypunsky as the initiator, ideologist, and scientific director of work on fast reactors in the USSR is highlighted, as well as the contributions of D.I. Blokhintsev and L.N. Usachev to the development of fast reactor theory. The roles of the leaders of the Soviet atomic project, I.V. Kurchatov, E.P. Slavsky, and the Scientific and Technical Council of the First Main Directorate under the Council of Ministers of the USSR, in the decision to construct the BR-1 reactor at Laboratory “V” (now IPPE JSC) are reflected upon. The reasons and history behind the creation of BR-1 are briefly outlined, the main participants in R&D at Laboratory “V” are named, and the rationale for transferring fast reactor work from LIPAN (now the NRC “Kurchatov Institute”) to the Laboratory “V” is revealed.

Keywords: fast neutron reactor, Laboratory “V”, IPPE JSC, I.V. Kurchatov, E.P. Slavsky, A.I. Leypunsky, D.I. Blokhintsev, reactor BR-1, reactor BR-2, reactor theory, neutron calculation analysis, development and construction.

For citation: Frolov Yu.V., Troyanov V.M. On the development and construction of BR-1 – the first experimental fast reactor in the USSR. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika.* 2025;1:189–202. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.1.14> (in Russian).

References

1. Palmer R., Platt A. Fast Neutron Reactors. Moscow, Gosatomizdat Publ., 1963, 116 p. (in Russian).
2. On the History of the Peaceful Use of Nuclear Energy in the USSR. 1944-1951. (Documents and Materials) (Ed. V.A. Sidorenko. Comp. by L.I. Kudina, A.V. Shchegelsky). Obninsk, IPPE Publ., 1994, 184 p. (in Russian).
3. Archive of the National Research Center “Kurchatov Institute.” F. 1, register 1/s, file 138, p. 37–41. (in Russian).
4. Archive of the IPPE JSC. F. 1, reg. 1/s, file 179, p. 3; reg. 1/s-72, file 33, p. 19–20, p. 25, 33; reg. 1/s-nt, file 924, p. 3–6; reg. 1/s, file 844, reg. 2, p. 10–11; reg. 1/s, file 875a, p. 5; reg. 1/s, file 599, p. 37; reg. 1/s, file 318, p. 5–11. (in Russian).

5. Blokhintsev D.I. The Birth of Peaceful Atom. Moscow, Atomizdat Publ., 1977, 113 p. (in Russian).
6. Kazachkovsky O.D. Notes of a Physicist on War and Peace. Obninsk, IPPE Publ., 2010, 496 p. (in Russian).
7. Stumbur E.A. Ten Lessons from Alexander Ilyich Leypunsky. Obninsk, IPPE JSC Publ., 2023, 56 p. (in Russian).
8. Leypunsky A.I. Selected Works. Memories. State Committee for Atomic Energy of the USSR, IPPE. (Ed. B.F. Gromov). Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1990, 278 p. (in Russian).
9. USSR Atomic Project: Documents and Materials. In 3 volumes. (General Ed. L.D. Ryabev). Vol. II. Atomic Bomb. 1945–1954. Book 5. Russian Federal Agency of Atomic Energy. (Ed. G.A. Goncharov). Sarov, RFNC-VNIIEF Publ., 2005, 976 p.; Moscow, FIZMATLIT Publ., 2005, 976 p. (in Russian).
10. On the History of the Creation and Operation of the BR-5 Fast Neutrons Research Reactor (BR-10). 1959–2009. Articles, Recollections, Photodocuments. (Ed. Yu.V. Frolov). Obninsk, IPPE Publ., 2009, 190 p. (in Russian).

Authors

Yuri V. Frolov, Advisor to the Scientific Director,

E-mail: yuvfrolov@ippe.ru

Vladimir M. Troyanov, Scientific Director, Dr. Sci. (Engineering),

E-mail: vmtroyanov@ippe.ru