

А.И. ЛЕЙПУНСКИЙ – НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ И ОРГАНИЗАТОР РАЗРАБОТОК И ВНЕДРЕНИЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ В ЯДЕРНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ

В.М. Поплавский

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск

Александр Ильич Лейпунский - выдающийся ученый и организатор науки, основоположник работ по реакторам на быстрых нейтронах в нашей стране, научный руководитель направления ядерной энергетики, связанного с использованием быстрых реакторов.

Начало творческой деятельности Александра Ильича совпало с обучением на физико-механическом факультете Петроградского политехнического института.

В это время Петроградский политехнический институт был одним из лучших высших учебных заведений страны. Его основатели – А.Г. Гагарин, А.И. Крылов, Д.К. Чернов с самого начала рассматривали институт как академию по подготовке специалистов самой высокой квалификации.

Во время учебы А.И. Лейпунского в институте на физико-механическом факультете преподавали А.Ф. Иоффе, Я.И. Френкель, Н.Н. Семенов, В.В. Скобельцын и другие крупные ученые. При этом сочетание учебной и научной работы они считали крайне необходимым.

«Весной 1923 года – пишет однокурсница А.И. Лейпунского Е.Д. Девяткова - Абрам Федорович вызвал 6 студентов нашего курса (в том числе А.И. Лейпунского и меня) в свою лабораторию в Петроградский физико-технический институт (ПФТИ) и предложил на выбор несколько тем для начала экспериментальной работы под его руководством». Главной задачей ПФТИ (с 1924 г. ЛФТИ) в начале 20-х годов были «научные исследования рентгеновских лучей, электронных, магнитных явлений в технике» [1]. К кругу этих проблем и относятся первые исследования А.И. Лейпунского. Защитив в 1926 г. дипломную работу на тему «Столкновение электронов с атомами и молекулами», он работает в ЛФТИ и одновременно учится в аспирантуре. Первая научная работа А.И. Лейпунского «Вероятность возбуждения атомов ртути электронным ударом» напечатана в 1927 году в журнале Русского физико-химического общества.

Тематика работ А.И. Лейпунского в последующие годы весьма разнообразна при сохранении общего направления – изучения поведения атомов и молекул, возбуждаемых при столкновении между собой и с электронами.

В июле – августе 1928 г. А.И. Лейпунский впервые вместе с другими молодыми сотрудниками ЛФТИ благодаря стараниям А.Ф. Иоффе (оплата пребывания за границей шестнадцати физиков проводилась за счет средств, заработанных А.Ф. Иоффе в американской компании «General Electric», куда он был приглашен в качестве консультанта) едет за границу. Эта поездка дала возможность А.И. Лейпунскому про-

слушать курс лекций по теоретической физике и познакомиться с последними достижениями зарубежных ученых в этой области.

Жизнь А.И. Лейпунского в 30-е годы связана с Украинским физико-техническим институтом (УФТИ), созданным в 1928 г. в г. Харькове. С марта 1929 г. он – старший физик и одновременно заместитель директора УФТИ. Ему 25 лет; он, по воспоминаниям, обаятелен, красив, с мягким доброжелательным характером.

В ноябре 1930 г. состоялось открытие института, и уже в 1931 г. по предложению А.И. Лейпунского УФТИ начал работать в новой области – области ядра.

С этого времени практически вся жизнь Александра Ильича была посвящена физике ядра и ее техническим приложениям [2].

С 1933 г. А.И. Лейпунский – директор Украинского физико-технического института, а в апреле 1934 г. он уезжает по командировке Наркомтяжпрома на стажировку в Германию и Англию. Работа А.И. Лейпунского в лаборатории Э. Резерфорда была очень плодотворной. Здесь он впервые в мире предпринял попытку экспериментально доказать существование нейтрино – частицы, существование которой в 1930 г. предсказал В. Паули.

В октябре 1935 г. А.И. Лейпунский возвращается в Харьков и сосредотачивает усилия на изучении взаимодействия нейтронов с ядрами. Он одним из первых в нашей стране оценил роль открытой в 1932 г. новой частицы – нейтрона – в качестве инструмента ядерно-физических исследований и стал специалистом по нейтронной физике задолго до того, как было понято значение нейтрона для создания научного фундамента атомной энергетики [2].

В 1939 г. УФТИ начинает работы над проблемой изучения деления урана, научным руководителем которой назначается А.И. Лейпунский. Его привлекают к работе Ядерной и Урановой комиссий АН СССР.

Урановая комиссия поручает В.Г. Хлопину и А.И. Лейпунскому составить план по изучению проблемы урана.

В УФТИ была проведена серия экспериментов, целью которых было выяснение механизма деления урана под действием медленных и быстрых нейтронов. Наиболее полно представления Александра Ильича о возможных вариантах осуществления цепной реакции отражены в двух предвоенных его работах - «Деление урана» и «Деление ядер». Эти статьи принадлежат к числу самых первых работ советских физиков, всесторонне рассматривающих физические характеристики деления нейтронами и конкурирующих с ними процессов.

Статья «Деление урана» была его первой работой по физике реакторов. Хотя Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон уже опубликовали свою знаменитую теорию цепной реакции деления, численные оценки критических параметров сделаны не были. Впервые (по крайней мере, в отечественной литературе) это попытался сделать А.И. Лейпунский в упомянутой статье [2].

По представлениям того времени практическое осуществление цепной реакции сильно усложнялось из-за большой скорости процесса: запаздывающие нейтроны еще не были известны. В статье «Деление ядер» Александр Ильич пишет: «Относительно возможности цепной реакции при помощи быстрых нейтронов ничего сказать нельзя, так как не известны основные величины, определяющие развитие цепи: вероятность неупругого рассеяния, количество нейтронов разных энергий, испускаемых при делении и т.д.». Вряд ли А.И. Лейпунский предполагал в то время, что создание реакторов на быстрых нейтронах станет основным делом его жизни.

Несмотря на громадную занятость во время войны оборонными задачами А.И. Лейпунский в 1944 г. создает в Институте физики и математики АН УССР отдел ядерной физики, основной задачей которого стало получение данных о нейтронно-

ядерных взаимодействиях, необходимых для создания атомной технологии, в том числе атомных реакторов.

В 1946-1949 г., когда основной задачей оставалось создание атомного оружия, уже обсуждаются возможные варианты использования тепла, выделяющегося при делении урана, для производства электроэнергии. В этот период формируются и основные реакторные концепции.

Известные к тому времени данные уже позволяли предположить, что в принципе возможно создание реакторов не только на медленных, но и на промежуточных и быстрых нейтронах. Этой точки зрения придерживались И.В. Курчатов, И.И. Лейпунский и другие ведущие физики.

В 1949 г. Александр Ильич оставляет часть своих многочисленных и, надо сказать, престижных обязанностей и начинает работать в г. Обнинске.

27 августа 1949 года А.И. Лейпунский назначается заведующим научным отделом Лаборатории «В». Теперь жизнь ученого оказывается связанной с этой Лабораторией (впоследствии Физико-энергетическим институтом), где он возглавляет исследования по созданию реакторов на быстрых нейтронах.

В докладной записке А.И. Лейпунского, Д.И. Блохинцева и А.Д. Зверева, представленной в октябре 1949 года на имя заместителя начальника ПГУ при СМ СССР А.П. Завенягину, ставится вопрос о необходимости развертывания работ по созданию различных энергетических реакторов с целью их сопоставления и выбора наиболее эффективного. В записке отмечается, что Лаборатория «В» готова взять на себя разработку реакторных систем на быстрых и промежуточных нейтронах с различными охладителями.

В письме от 18.03.1950 г. А.П. Завенягин извещает, что постановлением СМ СССР от 14.02.1950 г. на т.т. И.В. Курчатова и А.И. Лейпунского возложено научное руководство работой по изучению возможности расширенного воспроизводства, в том числе – изучение ядерных свойств, теплопередачи и гидродинамики висмута, натрия и сплавов висмут-свинец и натрий-калий, а также подбор конструкционных материалов, стойких в этих теплоносителях [3].

Размышляя о процессах взаимодействия нейтронов с ядрами, Александр Ильич пришел к выводу, что цепная реакция на быстрых нейтронах может обеспечить расширенное воспроизводство ядерного топлива. История техники еще не знала таких источников энергии, где при сжигании топлива оно еще и воспроизводится, да притом в большем количестве, чем сжигается.

Эта идея захватила все помыслы А.И. Лейпунского, он увидел реальную возможность создания такой системы ядерной энергетики, которая имела бы самообеспечение ядерным горючим. Но обширные знания не только в области физики, но и в ряде смежных наук (химия, технология, инженерия и т.д.) позволили А.И. Лейпунскому увидеть, что ядерно-физическая часть его концепции быстрых реакторов – только фрагмент (хотя и основной) в совокупности задач, которые необходимо будет решать при практической реализации АЭС с реактором на быстрых нейтронах.

Подобное понимание проблемы во многом определило последующую деятельность А.И. Лейпунского, когда он взял на себя организацию и научное руководство работ не только в области физики реактора, но и в области теплофизики, материаловедения и т.д.

Как вспоминает Э.А. Стумбур [2], в марте 1950 г. А.И. Лейпунский в присутствии Д.И. Блохинцева, О.Д. Казачковского, Л.Н. Усачева, А.С. Романовича, И.И. Бондаренко и Э.А. Стумбура изложил основные идеи быстрых реакторов и их возможную перспективную значимость для развития ядерной энергетики. Александр Ильич попросил присутствующих глубоко вдуматься в эту идею, подобрать аргументы в ее пользу,

высказать критические замечания, сомнения – все, что придет в голову.

В июле 1950 г. А.И. Лейпунский представляет для рассмотрения на НТС ПГУ СМ СССР доклад «Системы на быстрых нейтронах» [4]. Сегодня можно только удивляться той глубине и точности выводов и прогнозов, сделанных А.И. Лейпунским на основе известных в то время весьма скудных данных.

В докладе показывается, что в системах на быстрых нейтронах следует ожидать наибольшего воспроизводства по сравнению с системами других типов. На основе ядерных данных, полученных от Ю.Б. Харитона, а также ядерных сечений, измеренных к тому времени К.И. Мухиным, Ю.С. Замятниным, И.И. Бондаренко, Э.А. Стумбуром и др. с использованием приближенной теоретической модели, разработанной Л.Н. Усачевым под руководством Д.И. Блохинцева, в докладе приводятся результаты расчетов промышленной системы тепловой мощностью 1200 МВт.

В докладе также обосновывается эффективность использования жидких металлов в качестве теплоносителя для систем на быстрых нейтронах. Особо Александр Ильич подчеркивает, что кроме работ по более точным измерениям ядерных данных, необходимо проведение опытов с большим количеством активных веществ, т.е. сооружение опытной системы.

И уже 25 июля 1950 года А.И. Лейпунский разрабатывает «Предложения к плану мероприятий, необходимых для ускорения работ по системам на быстрых нейтронах» [5], где наряду с организацией работ в Лаборатории «В» ставится вопрос о привлечении к этим работам ЦКТИ, ВИАМ, ЭНИН, ЦАГИ.

Предложения А.И. Лейпунского и его коллег находят понимание и поддержку у руководства Министерства. С того момента исследования по быстрым реакторам сосредотачиваются в Лаборатории «В». Так в своем отчете на НТС ПГУ об итогах работы в 1950 г. И.В. Курчатов отмечает, что работы по быстрым реакторам в ЛИП АН (Курчатовский институт) практически не проводились и были сосредоточены в Лаборатории «В» [6]. В этой лаборатории разворачиваются работы по изучению жидкометаллических теплоносителей. В 1951 г. создается первый стенд на свинце-висмуте, а в 1953 г. запускаются циркуляционные контуры с натрием и натрий-калием. Широким фронтом идут исследования по технологии жидких металлов и поведению конструкционных материалов в них.

Александр Ильич не оставляет без внимания поставленный им вопрос о сооружении, как он говорил, «опытной системы», и в апреле 1955 г. в Лаборатории «В» вступает в эксплуатацию экспериментальная сборка БР-1 мощностью 100 Вт. Именно на этой физической сборке впоследствии будут проведены эксперименты по подтверждению проектных критических параметров следующей установки – реактора БР-2.

Разработка экспериментального реактора БР-2 мощностью 100 кВт проходила с большими трудностями в связи с новизной большинства задач. В ОКБ, проводившем разработку собственно реактора (Б.М. Шолкович, А.А. Хохлачев и др.), никак «не вырисовывался» его образ. После обсуждения состояния проекта с О.Д. Казачковским и Э.А. Стумбуром Александр Ильич заявил: «Так дело не пойдет! Видимо, надо нам «сочинить» основу структуры реактора, а затем уже налегать на конструкторов». Руководство этой работой А.И. Лейпунский взял на себя лично. Была организована оперативная группа во главе со Э.А. Стумбуром. В группу вошли И.И. Бондаренко (основные принципы реактора и измерение коэффициента воспроизводства), А.И. Усачев и А.А. Аристархов (расчет активной зоны), Г.Н. Смиринкин (кинетика реактора), П.А. Ушаков и Ю.Е. Багдасаров (теплофизика и гидравлика), М.Н. Николаев (радиационная защита), А.И. Абрамов и Н.И. Фетисов (дозиметрия и спецконтроль).

И.И. Бондаренко стремился к тому, чтобы БР-2 стал еще и средством для ядерно-физических исследований широкого диапазона, что еще более усложняло задачу.

Наконец в результате усилий всей группы было составлено техническое задание по проектированию БР-2. Александр Ильич тщательно рассмотрел его и утвердил.

В это время к проектированию реактора было подключено ОКБ во главе с В.Г.Грабиным. В результате слаженной работы сотрудников Лаборатории «В», конструкторов и технологов к началу 1955 г. почти все узлы и агрегаты БР-2 были готовы, и предстоял их монтаж. Коллегия Министерства заслушала доклад А.И. Лейпунского о БР-2. На замечания и сомнения, высказанные И.В. Курчатовым, Н.И. Гуревичем, Г.Н. Флеровым и др., А.И. Лейпунский, О.Д. Казачковский и Л.Н. Усачев дали исчерпывающие ответы. Решение о вводе в строй БР-2 было принято.

В качестве топлива на реакторе БР-2, как и на реакторе БР-1, использовался металлический плутоний, а в качестве теплоносителя – ртуть как наиболее изученный из всех жидких металлов.

Кстати, Госсанинспекция воспротивилась заполнению реактора ртутью из-за ее высокой токсичности. Помогло вмешательство Е.П.Славского, который детально ознакомился с установкой, рассмотрел проектную документацию и вызвал в Обнинск заместителя Министра здравоохранения. После получасовой беседы между ними разрешение было дано.

Надо отметить, что А.И. Лейпунский при выборе теплоносителя для быстрого реактора с самого начала ориентировался на жидкие металлы. Но на какой? После длительного анализа достоинств и недостатков различных теплоносителей (натрий, натрий-калий, свинец-висмут, ртуть) был выбран натрий и Александр Ильич отстаивал эту позицию до конца. Овсей Ильич Лейпунский вспоминал, что после неудачного использования натрия на американской подводной лодке «Морской волк» он спросил Александра Ильича: «Ты употребил в реакторе расплавленный натрий как хладагент. Почему американцы не делают этого?» Он ответил: «Тем хуже для американцев!»

В 1959 г. был сдан в эксплуатацию быстрый реактор БР-5 тепловой мощностью 5 МВт с натриевым теплоносителем и окисью плутония в качестве топлива. А.И. Лейпунский поставил задачу смоделировать на этом реакторе технологическую схему будущей АЭС включая парогенератор. Работы по созданию реактора и его эксплуатация осуществлялись под руководством О.Д.Казачковского и М.С. Пинхасика.

В преддверии разворачивающихся работ по проектированию целого ряда установок с реакторами на быстрых нейтронах опыт эксплуатации реактора БР-5 имел весьма важное значение. Особое внимание уделялось обобщению опыта работы основных систем реактора и установки в целом, подготовке специальных отчетов, содержание которых доводилось до сведения главных конструкторов и генпроектантов. Стало ясно, что натрий несмотря на более высокую температуру плавления более технологичен, чем сплав натрий-калий, что парогенератору необходимо будет уделять особое внимание, и многостеночное разделение натрия и воды не являются оптимальным решением особенно для систем большой тепловой мощности, что реактор стабилен и легко управляем и т.д. Реактор БР-5 становится также эффективным устройством для проведения широкого спектра физических исследований.

За исследования по физике реакторов на быстрых нейтронах А.И. Лейпунскому и его соратникам О.Д. Казачковскому, Л.Н. Усачеву и И.И. Бондаренко в 1960 г. присуждается Ленинская премия. В 1963 г. А.И. Лейпунскому присваивается звание Героя Социалистического Труда.

Итак, к концу 50-х годов исчезли сомнения в возможности осуществления расширенного воспроизводства в реакторах на быстрых нейтронах.

Возник вопрос – что же дальше? Надо было создавать демонстрационный энергетический реактор. Но каким он должен быть? Какой мощности? На какие парамет-

ры? С одной стороны, подобный реактор должен быть как можно ближе по своим характеристикам к будущим промышленным АЭС. Но, с другой стороны, было опасно далеко отрываться от того, что уже реально существовало. Последовательно прорабатываются варианты установок РБ-25, БН-50 и, наконец, реактор БН-350 (в первом варианте БН-250), тепловая мощность которого в 200 раз превышала работающий реактор БР-5. И Александр Ильич пришел к выводу, что это как раз то, что нужно. И его в этом решении поддержал Е.П. Славский. Но сразу стало очевидным, что при реализации этого проекта придется столкнуться с большим количеством проблем инженерно-технического характера, т.к. опыта разработки систем и оборудования энергетического уровня ни у нас, ни у кого мире не было.

И здесь проявились удивительные черты характера А.И. Лейпунского – человека смелого, решительного, сторонника быстрого продвижения вперед, но в тоже время человека, тонко чувствующего специфику возникающих проблем, стремящегося свети риск к минимуму.

Вспоминается, как Александр Ильич призывал нас, молодых специалистов, занимающихся разработкой БН-350, максимально использовать в проекте принципы резервирования, ремонтпригодности, взаимозаменяемости основных узлов установки. Это требование А.И. Лейпунского серьезно повлияло на схемно-компоновочный облик АЭС с реактором БН-350 и, в конечном счете, обеспечило успешную эксплуатацию станции. Так, например, была использована схема с резервной теплоотводящей петлей (шесть петель при пяти работающих), что значительно расширило режимные возможности установки. Подобных схемных решений мировая практика не знает. Хотя введение в схему резервного оборудования, безусловно, ухудшило экономические характеристики АЭС, но в условиях отработки новых инженерно-технических решений это было оправдано.

К чему может привести принятие необоснованных технических решений в новой технике показывает пример американского быстрого реактора «Энрико Ферми». Н.М. Синев вспоминает [2]: «В июле 1964 года мне вместе с А.И. Лейпунским довелось участвовать в поездке в США и посетить нашумевшую тогда АЭС «Энрико Ферми» мощностью 100 МВт с быстрым реактором и жидкометаллическим натриевым теплоносителем. Американцы хотели показать, что первыми овладели техникой быстрых реакторов, раньше всех стран. Игнорируя необходимые научные исследования, серьезную экспериментальную отработку сложного комплекса оборудования, фирма «Детройт Эдисон» поспешно соорудила уникальную станцию на намывном острове озера Юри и ... не справилась с задачей. Мы посетили АЭС в период ее аварийной остановки – на реакторе произошло расплавление тепловыделяющей сборки, разрыв трубки парогенератора (натрий-вода) со всеми вытекающими тягостными последствиями. Через несколько лет АЭС была демонтирована и от нее осталось лишь воспоминание. Затраты фирмы составили более 100 млн. долларов. Для нас это был очень полезный урок».

В процессе решения сложных инженерно-технических задач при проектировании БН-350 и с учетом урока «Энрико Ферми» стало очевидно, что необходим промежуточный этап – сооружение небольшой, но комплексной атомной станции, где можно провести экспериментальные работы по широкой программе вплоть до перевода активной зоны на плутониевое топливо. Такой установкой стала опытная АЭС с быстрым реактором БОР-60, тепловой мощностью 60 МВт и турбогенератором мощностью 12 МВт. Решение о строительстве установки в НИИАР было принято в конце 1963 г. В этом же решении указывалось, что при БОР-60 должен быть сооружен комплекс химической регенерации и автоматизированного изготовления уран-плутониевого топлива с целью отработки элементов замкнутого топливного цикла. Жизнь подтвер-

дила правильность принятых решений и в настоящее время БОР-60 действительно является уникальной экспериментальной базой мирового значения.

Тем не менее сооружение комплекса БОР-60 в свое время встретило непонимание некоторых руководителей Министерства и сопровождалось остановкой и даже полным запретом строительства. Вопрос рассматривался на Коллегии после письменного обращения к руководству, подписанного А.И. Лейпунским, А.П. Александровым, А.А. Бочваром и Н.М. Синевым. Большинство членов Коллегии проголосовало за продолжение строительства.

Надо отметить, что комплекс БОР-60 был спроектирован в короткие сроки, построен за 4 года и введен в эксплуатацию в 1969 г., за четыре года до энергетического пуска БН-350.

С пуском БОР-60 к проблеме быстрых реакторов был подключен значительный научный потенциал НИИАР, директором которого был назначен заместитель А.И. Лейпунского по проблеме быстрых реакторов О.Д. Казачковский. На реакторе были проведены важные исследования в области радиационного материаловедения, топливных композиций, теплообменного оборудования включая парогенераторы. Эти работы имели важное значение не только для успешного пуска БН-350, но и при создании следующих АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.

Тем временем продолжалась доработка проекта БН-350, его расчетно-экспериментальное обоснование. Главным конструктором установки являлся ОКБМ, генеральным проектировщиком – ВНИПИЭТ. Физико-энергетический институт во главе с А.И. Лейпунским выполнял функции научного руководителя. К началу 70-х годов подошло время пуска установки, и это стало главным делом Александра Ильича и его команды. В 1971 г. А.И. Лейпунский распорядился о формировании группы из сотрудников ФЭИ (физики, теплофизики, химики и др.) для участия в пусконаладочных работах. Начались регулярные и длительные командировки в г. Шевченко. Регулярно бывал там и Александр Ильич, интересовавшийся ходом работ до деталей.

Из представителей разных организаций была создана пусковая группа, которую возглавил А.Д. Зверев, уму, инженерному и организаторскому таланту которого пуск БН-350 обязан очень многим. Его заместителями были А.И. Лейпунский и Д.С. Юрченко. Пусковая комиссия образовала комиссию по физическому и энергетическому пускам, которую возглавил В.В. Орлов. Физический пуск реактора был осуществлен 29 ноября 1972 года и прошел легко, критическая масса оказалась близкой к проектной. Это объяснялось высоким качеством расчетов и предварительными экспериментальными проверками на БФС в ФЭИ. Однако уже при подготовке к энергетическому пуску были замечены течи в парогенераторах. Несмотря на то, что системы защиты парогенераторов работали надежно и обеспечивали безопасность натриевых контуров и АЭС в целом, неполадки в парогенераторах делали обстановку на АЭС весьма тревожной, вплоть до постановки вопроса о правомерности использования натрия во втором контуре. В июле 1973 г. удалось осуществить энергетический пуск реактора на трех петлях из шести. Течи в парогенераторах, иногда крупные, продолжались вплоть до осени 1975 г., когда принятые по решению Е.П. Славского меры позволили наладить стабильную работу парогенераторов.

Александр Ильич испытывал глубочайшее уважение к Е.П. Славскому, высоко ценил его неизменную и твердую поддержку работ по быстрым реакторам. Е.П. Славский много раз бывал на БН-350, и принимаемые им решения приводили к радикальному улучшению дел в самых трудных ситуациях. Большую часть работ по пуску и освоению БН-350 нам пришлось пройти уже без А.И. Лейпунского, который в последний раз был в г. Шевченко в июле 1972 года.

Тем не менее можно считать, что Александр Ильич выиграл негласное соревнова-

ние со своими коллегами из Франции и Великобритании, которые в это же время готовили к пуску свои быстрые реакторы «Феникс» и «PFR», БН-350 был запущен первым из них.

Трудно переоценить значение БН-350 для дальнейшего развития быстрых реакторов. Предпринятый масштабный «бросок» по мощности реактора (5 МВт – БР-5, 60 МВт – БОР-60, 1000 МВт – БН-350) дался нам нелегко. Однако опыт работы БН-350 позволил существенно улучшить проектные решения следующего реактора – БН-600, который в настоящее время по праву считается флагманом мировой ядерной энергетики в области быстрых реакторов.

Предложение по разработке следующего за БН-350 быстрого энергетического реактора большой мощности было высказано А.И. Лейпунским на одном из совещаний по жидким металлам примерно в конце 1962 г.

М.Ф. Троянов вспоминает, что вскоре за этим совещанием Александр Ильич вызвал к себе группу физиков – расчетчиков и инженеров, которые в это время занимались проектом БН-350, и попросил проработать идею: увеличить тепловую мощность реактора до 1500 МВт, повысить температуру натрия до 600°C, поднять КПД до уровня 40% и получить электрическую мощность 600 МВт.

Но уже первые проработки показали, что использование ранее отработанных технических решений весьма затруднительно, требуется пересмотр концепции реактора. Так по предложению И.И. Африкантова, М.С. Пинхасика и их сотрудников возникла так называемая «баковая» (или интегральная) конструкция, где оборудование первого контура, включая сам реактор, насосы, теплообменники натрий-натрий было заключено в одном баке. Решение о переходе на новый принцип конструкции давался нелегко, т.к. оно было связано с переносом сроков проектирования. Однако Александр Ильич и Игорь Иванович Африкантов приняли подобное решение и обосновали его необходимость в Министерстве.

В 1967 г. решался вопрос о начале сооружения АЭС с реактором БН-600 и выборе площадки для строительства. И опять вопрос решался очень трудно, опять Коллегия рассматривала возражения авторитетных руководителей. Н.М. Синев вспоминает [2], что важную роль в положительном решении сыграл А.П. Александров, при участии которого было определено и место строительства БН-600 – Белоярская АЭС. Минэнерго СССР (К.Д. Лаврененко, В.Г. Ермаков) также поддержали это решение. Тем не менее академик Н.А. Доллежал считал, что на БАЭС в качестве третьего блока должен быть прямоточный водографитовый реактор типа АМБ на сверхкритических параметрах пара.

В том же 1967 г. проект АЭС с реактором БН-600 был утвержден, однако несмотря на это он продолжал «впитывать» в себя все новое, что появлялось в стране и в мире. Как известно, наиболее сложным в инженерном плане звеном в технологической схеме АЭС является парогенератор «натрий – вода». Опыт работы БН-350 в дальнейшем подтвердил это мнение. В связи с указанным обстоятельством проект парогенератора установки разрабатывался в нескольких вариантах (ОКБ «Гидропресс» - Титов В.Ф.)

Тщательный анализ результатов экспериментальных исследований аварийных режимов и учет зарубежного опыта (проект парогенератора установки «Феникс») показывали на необходимость использования секционнно-модульной схемы парогенератора, позволяющей при течи воды в натрий отключать на «ходу» аварийную секцию и оставлять основную часть парогенератора в работоспособном состоянии. Результаты анализа были доложены А.И. Лейпунскому, и он принял решение о переработке проекта. Первый вариант проекта – корпусной парогенератор – был отклонен несмотря на то, что на установке БОР-60 уже испытывался его прототип. Последую-

щая эксплуатация АЭС с реактором БН-600 подтвердила правильность принятого решения.

Другим примером корректировки проекта было вынужденное ограничение глубины выгорания топлива по сравнению с проектным. Экспериментальные работы на БОР-60 и исследование поведения материалов активной зоны реактора БН-350 показали на возможность значительного радиационного формоизменения материалов в спектре быстрых нейтронов. Об этом говорил и зарубежный опыт. Только своевременный учет этого эффекта в проекте БН-600 позволил успешно эксплуатировать реактор в первые годы после его пуска. В дальнейшем, в результате реализации специальной программы НИОКР удалось не только достичь проектных выгораний, но и превзойти их.

Реактор БН-600 был пущен в эксплуатацию в 1980 г. В течение 23-х лет он демонстрирует хорошие характеристики по эксплуатационной надежности и экологическим свойствам. Средний КИУМ АЭС за время эксплуатации составил 74%. Можно считать, что технология быстрых реакторов с натриевым охлаждением освоена с точки зрения обеспечения требуемого уровня безопасности и работоспособности.

В нашей стране реализована уникальная по своей широте программа развития быстрых реакторов от экспериментальной сборки БР-1 до промышленной АЭС БН-600, что позволило занять передовые позиции в рассматриваемой ядерной технологии. И в этом огромная заслуга А.И. Лейпунского.

Ученые и соратники Александра Ильича в ФЭИ, ОКБМ, ОКБ «Гидропресс», ВНИИНМ, НИИАР, НИКИЭТ, ВНИПИЭТ, СПБАЭП и в других организациях продолжают его дело. Разработан проект АЭС с реактором БН-800, который является следующим шагом в освоении технологии быстрых реакторов и замкнутого топливного цикла. Идет сооружение этого реактора на Белоярской АЭС. Продолжаются НИОКР по поиску новых инженерно-технических решений, направленных на улучшение технико-экономических показателей и дальнейшее повышение безопасности быстрых реакторов.

Пройдет еще много лет, прежде чем реакторы на быстрых нейтронах займут свое место в энергетике, обеспечивая устойчивое энергообеспечение человечества. Крупнейшие специалисты в области физики, теплофизики, технологии теплоносителя, радиационного материаловедения и других дисциплин стояли у истоков идеи быстрых реакторов, но имя А.И. Лейпунского по праву может быть названо первым среди них.

Литература

1. Организация науки в первые годы Советской власти (1917-1925 гг.): Сб. докл. - Л.: Наука, 1968.
2. *Лейпунский А.И.* Избранные труды, воспоминания. - Киев: Наукова Думка, 1950.
3. Письмо А.П. Завенягина, исх. №4235/16 от 18.03.1950.
4. Фонд ФЭИ, инв. №41.03, л. 2-11.
5. Фонд ФЭИ, инв. №41.03, л. 12.
6. Отчет И.В. Курчатова на НТС ПГУ об итогах работ в 1950 году (дело ПГУ № 36852, папка №1).