

НЕЙТРОНЫ ДЛЯ БОЛЬШОЙ НАУКИ

К.А. Коноплёв



Наконец-то в нашем расписании появилась строчка – лекции профессора Б.П. Константинова. Специальность наша была определена еще на втором курсе физмеха. Мы распределены на кафедру Б.П. Константинова, но прошло уже несколько лет, а своего заведующего кафедрой реально встречаем впервые. Самое первое впечатление совершенно определенное – профессор доволен жизнью, а жизнь его в это время крутая – на лекции он приходит зачастую прямо с вокзала. Главная работа Бориса Павловича в начале 50-х годов не на кафедре Политехнического института и не в соседнем Физико-техническом институте Академии наук, а где-то довольно далеко, где реально решается атомная проблема.

Лаборатория 10 профессора Л.И. Русинова

Меня приняли на работу в Физико-технический институт (тогда без им. А.Ф. Иоффе) в лаб. 10 в апреле 1954 года. Первоначально, после окончания ЛПИ, распределение намечалось на один из объектов Минсредмаша, но ФТИ расширял ядерную тематику и получил значительную квоту на выпускников. Для меня это стало прекрасной возможностью работать тем, кем я и хотел – инженером-исследователем. Но это в дальнейшем, а пока, после защиты дипломного проекта, образовалась длительная пауза – каникулы. Что-то не ладилось с выполнением плана ЛПИ по выпускникам 1953 года, и тем, у кого диплом был готов, предложили защититься не в феврале 54-го, а досрочно, в декабре 53-го. Руководителем моей дипломной работы был Борис Павлович Константинов – зав. кафедрой разделения изотопов на физмехе. Это была его не самая главная работа, Б.П. создавал новую отрасль в атомной промышленности СССР. Иллюзий о том, что Б.П. может уделять мне много внимания после формулировки задачи, у меня не было, но действительность превзошла все ожидания: за год работы на кафедре мой руководитель разговаривал со мной 20 минут во время общего обхода кафедры.

На самом деле предоставление самостоятельности было стилем ФТИ, и такое начало сыграло важную роль в дальнейшей работе, особенно в создании реактора ВВР-М. В написанном мною дипломе, насколько я понимаю, Б.П. ничего, кроме вы-

водов, не читал и на защите не присутствовал, но меня запомнил, и это тоже стало важным, когда Б.П. стал директором ФТИ и давал добро на пуск реактора ВВР-М.

Итак, в конце декабря получаю в канцелярии ЛПИ диплом, сопровождаемый невнятными словами «безда – ты», и это означало, что надо ждать распределения на работу.

Протрезвев после всех празднований, включая новогодние, хожу 2 недели ежедневно на час-полтора в Эрмитаж (когда еще удастся посетить) и жду вызова. Жду месяц, другой. Получаю стипендию, но уже без доплаты за работу на кафедре. В феврале сходил на защиту Раи Комаровой – моей будущей жены. Наконец в марте выдают направление, но не в далекие места, а рядом, в Физтех, в лабораторию проф. Русинова.



Проф. Л.И. Русинов – автор открытия изомерии искусственно радиоактивных ядер (совместно с И.В. Курчатовым, Б.В. Курчатовым и Л.В. Мысовским)

Заполняю длиннющие анкеты, отвечаю на, наверное, сотню вопросов, включая «Чем вы занимались до 1917 года?». Из всех сил избегаю ехидных ответов типа «существовал в виде яйцеклетки», но волнуясь – приглашения для оформления на работу нет, хотя прошел месяц. Есть только телефонный разговор со Львом Ильичом Русиновым. Он возмущен, почему до сих пор не работаю, и предлагает трудиться до оформления и получения права на вход в ФТИ. Для получения задания меня у входа, но снаружи, встречает сотрудник лаборатории В.С. Гвоздев. Показывает мне картотеку ядерной изомерии, которую я должен продолжить, пользуясь Публичной библиотекой. Чем занимается лаб. 10 я не знал, и только возмущение Адика Гвоздева тем, что у меня нет никакого представления об изомерном переходе – главной теме лаборатории – немного прояснило ситуацию. Секретность в эти годы в ФТИ процветала. Названия лабораторий – секрет, что делается в соседней комнате – секрет, все записи только в «прошнурованной и пролистованной» тетради из первого отдела. У профессора Русинова главной работой было руководство лабораторией ядерной изомерии, но он продолжал работу и на комбинате «Маяк», тогда «Челябинск-40». Уезжал он иногда на пару недель, иногда дольше, как мы называли, – «на площадку». Из выпуска физмеховцев 1954 года в лаборатории Л.И. Русинова работали Е. Мазец, А. Дюмин, В. Звездкин, В. Филиппов и Ю. Филиппов. В дальнейшем лаборатория довольно быстро разрасталась. В первые

годы практически каждый работал над собственной темой. Я получил от Русинова задание изготовить мишень из индия для облучения нейтронами в реакторе и дальнейшего исследования на бэта-спектрометре. Никаких сведений об облучении в реакторе у меня не было, зато требования к мишени для бэта-спектрометра можно было почерпнуть из многочисленных зарубежных публикаций. Эта работа закончилась моей единственной публикацией по ядерной изомерии (совместно с Л.И. Русиновым, Р.Я. Мецхвалишвили и В.А. Романовым). Честно признаюсь, что к написанию статьи меня Русинов не допустил, и даже к прочтению окончательного текста тоже. К облучению на реакторе я тоже отношения не имел. Это Русинов организовал сам. На каком реакторе проводилось облучение, я так и не знаю, могу только догадываться, что едва ли мишень перевозили на Урал в «Маяк», скорее всего, облучил ее Русинов на реакторе РФТ (МР) в ЛИПАНе, хотя по требованию к высоким температурам при облучении нельзя исключить и «Маяк».

В дальнейшем мишени я делал для более мягких условий облучения и сам отвозил в Москву в п/я В-8315 (ИТЭФ), и сам получал облученные для перевозки в ФТИ и дальнейших измерений. Эта работа статьи не принесла, а из всех неприятностей две особенно запомнились. За перевозку самолетом «коротышей» тогдашний директор ФТИ А.П. Комар объявил мне выговор, а моя оценка мощности реактора оказалась случайно точной, хотя метод был неверным. Это привело к обвинению в раскрытии секретных данных и обещанию отдать под спецсуд.

Попытка использовать для получения радиоактивных ядер имеющиеся в лаборатории радий-бериллиевые источники по 1 кюри была с самого начала обреченной на неудачу. На таких низких потоках ничего нового сделать нельзя. Единственным результатом было оснащение двух латунных сфер с радиом держателем, позволяющим манипулировать с ними, не трогая руками.

От нуля до физпуска

Для Русинова было ясно, что нужно иметь в ФТИ свой реактор. Лев Ильич с огромным энтузиазмом взялся за это дело. Русинов сам «пробивал» нужные решения, используя помощь И.В. Курчатова, в лаборатории которого он начинал свою научную деятельность и с кем был связан до конца жизни. В лаборатории для подготовки к будущему использованию реактора Лев Ильич организовал семинар по только что изданной книге Глестона и Эдлунда «Физика ядерных реакторов». Сотрудники лаборатории получили по разделу книги для доклада на семинаре. По-разному выглядели доклады. Мне досталось резонансное поглощение (формула Брайта-Вигнера), и гордиться своим докладом не могу. Впрочем, большинство тоже не слишком преуспели. Как я помню, выделился с хорошей стороны, пожалуй, только доклад В.А. Шустова, хотя тему его сообщения вспомнить теперь трудно.

Как мне позже стало известно, уже в том же 1954 году было принято решение о строительстве в ФТИ исследовательского реактора мощностью 2 МВт – Установки «Р». В это же время уже было решение о строительстве в ФТИ мощного ускорителя – Установки «Л». Надо сказать, что постановление партии и правительства

было значительно более широким, чем оснащение только ФТИ ядерными источниками. Оно предусматривало создание ядерных центров в целом ряде городов, главным образом в столицах союзных республик и ряде соседних стран. Центры должны были работать вне рамок Минсредмаша, но создавались за его средства и с полной его поддержкой. Реальное создание новых ядерных центров, развивающих эту науку в союзных академиях, в значительной степени зависело от инициативы на местах.

Первоначально предполагалось оснастить все центры одинаковыми реакторами ВВР-С, т. е. серийными, но реально строились 2 варианта: ВВР-С и ИРТ, тоже мощностью 2 МВт. Некоторые центры отстали, некоторые присоединились позже, и реакторы типа ВВР в пределах СССР получились не серийными, а индивидуальными. Первым серийность нарушил Л.И. Русинов. Он убедил руководителей министерства, что для ФТИ, с его могучим научным потенциалом, нужен нейтронный поток на порядок выше, чем в серийном варианте.

Реактор ВВР-С был разработан в КБ, которым руководил К.К. Рене, на основе опытного образца ВВР-2 «Газовый завод», построенного в ЛИПАНе.

Изготовление всех узлов реактора ВВР-С и комплектация оборудования проводились под эгидой Минсредмаша. Заказчики нанимали строителей и монтажников и обеспечивали материалами.

Разрешение повысить мощность Русинов получил, но одновременно было сказано: поставляем комплект ВВР-С, остальное делайте сами.

Одновременно Лев Ильич закупил нейтронный генератор на D-T-реакции и поручил Алексею Никитичу Дюмину его собрать, наладить и проводить исследования, что Дюмин и сделал сначала в Ленинграде, а затем перевез его в Гатчину.

Почему ПИЯФ в Орловой роще

Осенью 1955 года в Орлову рощу приехали первые физтеховцы выбирать место для строительства реактора и ускорителя. Поиск места продолжался уже почти год и явно затягивался. Первоначальная площадка планировалась в поселке Осиновая Роща, близко к Физико-техническому институту, но, когда начали ее оформление, получили отказ. Следующей площадкой, предложенной вместо Осиновой Рощи, было очень живописное место на возвышенном берегу Пендиковского озера примерно на полпути между Тосно и Шапки. Знаменитые Пендиковские болота были чуть в стороне и строительству не мешали. Предполагалось строительство городка на новом месте, проведение к нему автомобильной и железной дорог. Такая схема часто использовалась в атомной отрасли, и в этом немаловажную роль играла секретность. Наш объект тоже атомный и в те времена тоже секретный: не реактор, а установка «Р» и не ускоритель, а установка «Л», и никаких сообщений в прессе. Усугублялась секретность тем, что и проектирование, и изготовление вели закрытые организации Минсредмаша. Так что с точки зрения скрытости от посторонних глаз место было идеальным.

Главным сторонником Пендикова был руководитель капитального строительства в Академии наук Г.И. Русановский. Научный руководитель реактора, заведующий лабораторией профессор Л.И. Русинов и научный руководитель ускорителя – директор ФТИ, чл.-корр. АН УССР А.П. Комар отнеслись к этой площадке с самого начала неодобрительно. Руководитель будущего строительства заместитель директора ФТИ П.П. Волков относился сдержанно. Тем не менее весной 1955 г. мы обошли пешком Пендиковское озеро во главе с Русановским и наметили возможное место. Поход в резиновых сапогах был достаточно утомительным, особенно для Льва Ильича Русинова, в то время как Антон Пантелеймонович Комар вышагивал достаточно бодро.

Физтех не торопится с оформлением Пендикова, Академия наук под напором энергичного Русановского настаивает, время идет, в итоге распоряжение Правительства не выполняется. По тем временам такое безобразие может обернуться жестоким наказанием. Идет настойчивый поиск более подходящей площадки. Районные власти в Гатчине, Петергофе и в Рошине согласны предоставить свои площадки. Наиболее привлекательным выглядит предложение «хозяина» Гатчины В.С. Толстикова, который не просто предлагает площадку, а прямо выражает свою заинтересованность. Он видел развитие города в привлечении науки в большей степени, чем в развитии промышленности. Хотя я лично в переговорах с ним прямо не участвовал, но у меня сохранилось к нему глубокое уважение и чувство благодарности.

Итак, Л.И. Русинов, А.П. Комар, П.П. Волков и автор этой заметки приехали в Гатчину осматривать две предложенные на выбор площадки вблизи города. Приехали по сильно разбитому Киевскому шоссе, проходящему мимо открытых осенних полей без единого деревца вдоль дороги. Одно место предлагалось с южной стороны города возле д. Химози за Колпанским озером, второе – с северной стороны города в Орловой роще. Петр Петрович уже осмотрел обе площадки и выступал нашим гидом. Начали с Химози. Место с болотами совершенно открытое и хорошо просматриваемое с шоссе. Именно это обстоятельство послужило официальным поводом отказа от Химозей. Петр Петрович заранее выбрал площадку в Орловой роще и сначала привез в Химози сознательно, формируя мнение наших руководителей в пользу Орловой рощи. После унылого пейзажа с пронизывающим ветром увидели изумительный лес. Начали осмотр с места, где сейчас стоит проходная ПИЯФ, потом проехали на мост через речку Теплая. Убедились, что наш «объект» будет закрыт со всех сторон лесом. На месте современной проходной стоял хорошо сохранившийся рубленый дом, и мы даже пообсуждали, как его можно использовать, но Петр Петрович решительно отверг все притязания ученых: «Дом разберем, чтоб не связывать руки проектировщикам». Разобрал, увез и руки проектантам не связал. Приехали мы в рощу по той дороге, которая сейчас продолжает улицу Рошинскую, а начиналась она от нынешней улицы Гагарина, проходила через незастроенное Хохлово поле и оканчивалась у домика лесника перед и ныне существующей аллеей из лиственниц. Дорога эта была лесная, проехать по ней было непросто. В генеральном плане заказа 576 (так назывался заказ ФТИ в документах проектной организации п/я 45) эта дорога не должна была использоваться, как от-

крывающая прямой доступ в город. Построена была новая дорога к шоссе Гатчина–Красное Село. Впоследствии Петр Петрович, минуя проект, заасфальтировал эту старую дорогу в город, и мы успешно ею и пользуемся. Так что стоит этой дороге дать имя «Волкова дорога».



Руководитель строительства заместитель директора ФТИ
Петр Петрович Волков

Однако вернемся к выбору площадки. Было еще одно затруднение. Первоначально проектировщики п/я 45 (может быть, проектировщики здесь ни при чем, а это было мнение проф. Русинова, который следовал схеме комбината Челябинск-40) требовали либо прямой сток от площадки в Финский залив, либо наличие озера для возможности сбора радиоактивности. С этой точки зрения Химози, Пендиково, Петергоф и Рощино имели преимущества перед Орловой рощей, и для Орловой рощи обсуждался водовод через водораздел на склоны, спадающие не в Неву, а в Финский залив. Хорошо, что к осени 1955 года мы уже разобрались, что никаких сбросов быть не должно, должны быть полноценные очистные сооружения, тем самым это последнее препятствие было отброшено.

Хотя и есть некая лингвистическая цепочка – начали с Осиновой Рощи, а кончили Орловой рощей, но лингвистика здесь ни при чем. Место было выбрано очень удачно. 50 лет назад едва ли кто из сотрудников Физтеха знал о существовании Орловой рощи, да и в самом городе Гатчине, тогда закрытом для иностранцев, мало кто бывал.

Сейчас названия «Гатчина» и «Орлова роща» хорошо известны многим физикам не только в России, но и за рубежом и ассоциируются для них с нашим институтом – Петербургским институтом ядерной физики имени Б.П. Константинова.

Превращение реактора ВВР-С в ВВР-М

Трудно или не трудно было выбрать площадку, но летом 1956 года в Орловой роще началось строительство реактора ВВР-М, хотя такого проекта еще не было. Единственное изменение проекта ВВР-С заключалось в том, что мы подняли здание из земли на один этаж вверх. Слишком близко на нашей площадке грунтовые воды подходят к поверхности.

Самым существенным основанием для модернизации были разработанные в ВИАМ (Всесоюзный институт авиационных материалов, возглавляемый академи-

ком Р.С. Амбарцумяном), в лаборатории В.М. Глухова, трубчатые твэлы. По сравнению со стерженьковыми твэлами ЭК-10, примененными в реакторах ВВР-С и ИРТ, они развивали поверхность теплосъема в 4 раза. При прочих равных условиях используемый нейтронный поток пропорционален удельной мощности, и первый путь его увеличения очевиден. Следующим определяющим моментом было освоение промышленного производства бериллия для отражателя. Оба эти момента и плюс увеличение мощности позволяли поднять поток тепловых нейтронов на порядок.

В США в 1954 году был построен первый, а затем еще 3 реактора типа МТР с пластинчатыми твэлами. Разработанные в ВИАМе трубчатые твэлы имели примерно такие же параметры, как и пластинчатые МТР. Реакторы имели отражатели из бериллия. В 1956 американцы на 1-й Женевской конференции опубликовали довольно подробное описание конструкции этих реакторов. В статье Винера и др. были приведены данные о критической массе и целом ряде других физических параметров, включая значение нейтронных потоков в бериллиевом отражателе при мощности 20 МВт.

Для разработки реактора ВВР-М Л.И. Русинов организовал в ЛИП АНе группу из сотрудников ЛИП АНа и ФТИ. В июне 1956 года «Техническое задание на разработку реактора ВВР-М» было готово и утверждено зам. начальника ЛИП АН СССР академиком А.П. Александровым.

Перечислим всех участников этой объединенной группы, как они расставлены и поименованы на титульном листе этого документа.

Главный технолог проекта – Моисеенко П.П.

Нач. лаборатории ЛФТИ – Русинов Л.И.

Научный сотрудник ЛФТИ – Скорняков Г.В.

«Согласовано»

Начальник сектора № 14 – Фейнберг С.Н.

Научный сотрудник сектора № 15 – Зубарев Т.Н.

И на второй странице:

Техническое задание разработано сотрудниками ЛИП и ЛФТИ АН СССР в составе т.т.:

Моисеенко П.П. – руководитель группы, Русинова Л.И., Скорнякова Г.В., Петрова Ю.В., Шустова В.А., Родзевича В.П., Щеглова И.М., Голосова В.Н., Васильева М.П. с участием т.т.:

Гончарова В.В., Фейнберга С.М., Зубарева Т.М., Амбарцумяна Р.С., Скворцова С.А., Глухова А.М. и Пяткина А.А.

Одновременно с группой в ЛИП АНе в лаб. 10 ФТИ под руководством Л.И. Русинова над необходимыми изменениями проекта в ходе начавшегося строительства работали К.А. Коноплев, Д.А. Яшин, Р.Г. Пикулик и Б.И. Новицкий.

Лев Ильич надеялся, что, выпустив ТЗ и предусмотрев необходимые минимальные изменения здания, можно будет передать остальную работу конструктору ВВР-С (КБ К.К. Рене) и проектировщику (п/я 45). Отказ К.К. Рене был решительным и, как стало понятно позже, вызван был не только амбициями. Его КБ от мощ-

ного соседнего КБ – во главе с С.П. Королевым – отделял только забор, который вскоре был снят.

Пришлось в ФТИ организовывать свое собственное КБ и технологическую группу. В КБ вошли Е.Р. Радзевич-Белевич, В.И. Голосов, И.Н. Щеглов, а затем Р.П. Сокольская и О.И. Хазова.

Руководил этим КБ Ю.Н. Лагунов.

Технологическая группа под руководством К.А. Коноплева, состоявшая из четырех человек, быстро росла.

КБ и технологическая группа в 1957 г. разработали технический проект ВВР-М, внося необходимые изменения в проект ВВР-С. Разработка рабочей документации потребовала от нас значительно большего времени. Внести изменения в строительные чертежи мы успели в 1956 году. Наибольшее изменение заключалось в увеличении толщины бетона в стенах и перекрытии насосной первого контура для сокращения фонового излучения в экспериментальном зале и коридорах в связи с увеличением мощности реактора. Основная биологическая защита ВВР-М была сделана с таким запасом, что мощность можно поднимать с 2 МВт не только до проектных 10 и в дальнейшем до 20, а, пожалуй, до 50 МВт.

Мы не ожидали, что объем изменений в электротехнической, КИПовской и СУЗовской частях проекта потребует столь значительного времени. Электротехнику вел Дмитрий Алексеевич Яшин, КИП – Борис Иванович Новицкий, СУЗ – Ренард Григорьевич Пикулик, дозиметрию – Виктор Александрович Соловьев. Проект ВВР-М был представлен на 2-й Женевской конференции по применению атомной энергии в мирных целях (Л.И. Русинов, Ю.Г. Николаев, В.А. Шустов и Г.В. Скорняков, доклад P2185).

Основные изменения, конечно, касались активной зоны, реакторного бака и твэлов. Строительство не остановилось, но задержки произошли. Руководитель строительства Петр Петрович Волков использовал задержку 1956 года для смены подрядчика – вместо маломощного Ленакадемстроя пригласил могучий Ленглавспецстрой. Разница между ними заключалась даже в том, что Ленакадемстрой, в отличие от Ленглавспецстроя, не имел прав на закупку нержавеющей стали. Во главе Ленглавспецстроя стоял талантливый руководитель П.А. Кирпишников, и он очень доброжелательно относился к строительству объекта науки. К сожалению, его через 2 года перевели с повышением в Москву, и он уже мало влиял на стройки в нашем институте.



Главспецстрой на корпусе № 1

Строительство и монтаж

Следует вернуться к определяющим узлам реактора.

На Электростальском механическом заводе, тогда п/я А-7340, осваивали новое для себя производство трубчатых твэлов. Инженеры цеха П.П. Верховых и К.Я. Егоров отнеслись к этой задаче с большим вниманием и охотно взаимодействовали не только с А.М. Глуховым – автором технологии совместного прессования, но и с нашими технологами В.И. Гудковым и Ю.П. Сайковым. Пожалуй, наибольшее время провел на заводе Ю.П. Сайков, участвуя в освоении методов контроля в ЦЗЛ. Было очень приятно видеть высокий класс заводских инженеров и их стремление гарантированно выпускать продукцию отличного качества. Любой брак отсеивался беспощадно, тем не менее в первом комплекте еще не все необходимые параметры научились надежно контролировать.

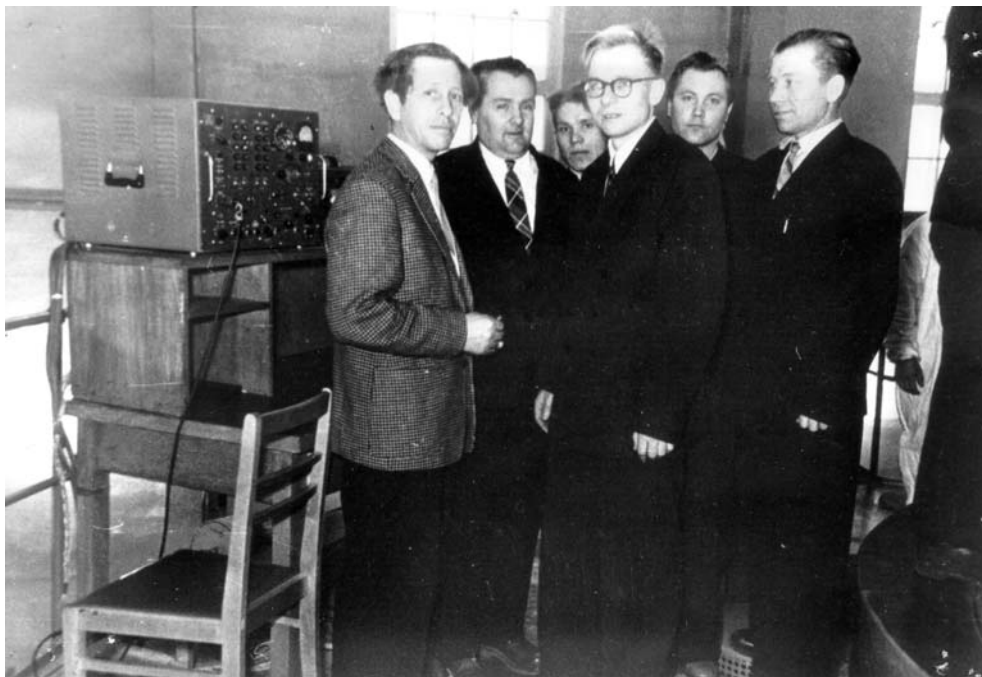
Корпус реактора ВВР-С, входивший в комплексную поставку, подлежал значительным изменениям в своей внутренней части. Изготавливал его Сумский котельный завод. Он уже изготовил всю партию корпусов ВВР-С и за наш корпус, существовавший только в виде техпроекта, не взялся. Лев Ильич договорился о возможности размещения нашего заказа на завод № 92 в г. Воткинске. В первую поездку на этот завод – родину П.И. Чайковского – Русинов послал меня вместе с

Анатолием Григорьевичем Бурувиком. Он был заместителем начальника ОКСа по снабжению и обладал всеми качествами солидного представительства. Заказ наш приняли, но с условием прислать своих конструкторов для разработки рабочих чертежей в заводском КБ, технологов для ведения заказа в цехе и получения согласия Сумского завода на поставку заготовки реакторного бака. Условия мы выполнили. В.П. Родзевич-Белевич, Б.И. Новицкий и К.А. Коноплев проработали на заводе несколько месяцев подряд, а мне пришлось выезжать на завод еще несколько раз. Завод произвел на меня большое впечатление доброжелательностью заводчан, своей огромной территорией и межцеховым транспортом, положенным для начальников цехов, в виде санной упряжки. Главное, конечно, что наш реакторный бак проработал первые 50 лет без замечаний. В 1958 году качество изделий оборонного завода было никак не ниже современных требований, регламентированных в XXI веке для ядерных установок.

Мы несколько задержались с выбором материала для отражателя. Изделия из окиси бериллия имеют несколько большую плотность бериллия, чем изделия из металлического бериллия. Надежной оценки выигрыша в нейтронном потоке от этого обстоятельства не было, но выигрыш должен быть. Попытки оценить коррозионную стойкость этих материалов мало что дали. В литературе мне ничего не удалось найти, консультация на кафедре физхимии ЛПИ с проф. Скачелети и в Москве с академиком Боресковым тоже не давали оснований для предпочтений. Наш сотрудник Валерий Тихонович Шаров при помощи «моторчика Вуарена» покрутил два образца в бассейне реактора РФТ в ЛИП АНе, но опять без выводов. Окончательное решение принимал Л.И. Русинов, и он решил – «как у американцев на МTR, берем металлический бериллий». Этот выбор оказался правильным. Впоследствии выяснилось, что окись бериллия под действием излучения и охлаждения водой быстро разрушается. Не имея данных о поведении бериллия, пришлось разрабатывать разборную конструкцию отражателя. Задержка с его изготовлением привела к тому, что физпуск мы проводили на макете отражателя. Затем зону разгрузили и провели монтаж бериллиевых блоков и наладку системы их дистанционной разборки и сборки. За прошедшие 50 лет воспользоваться этой системой, к счастью, не пришлось. Оказалось, что стойкость бериллия самым существенным образом зависит от условий изготовления и облучения. На нашем реакторе ВВР-М мы имеем в активной зоне образцы, которые минимум раз в год контролируем.

Понятно, что не только твэлы и отражатель мы не смогли проработать быстро, был еще ряд тормозящих моментов, но в целом проект был, и строительство здания подходило к завершению. В один прекрасный день Лев Ильич говорит: «Ф-ф-ф, Кир Александрович, поехали в Москву выбирать монтажников». Собственно, выбора не было. Во дворе здания Главного управления по использованию атомной энергии в Старомонетном переулке в одноэтажном доме размещалась монтажная контора во главе со Львом Яковлевичем Луммером. Он уже монтировал ядерные установки в Обнинске, но это был секрет. Зато на стендах в кабинете были фотографии монтажа первого ледового катка в г. Москве.

В Гатчину Луммер прислал бригаду во главе с Писменным, которого впоследствии пришлось заменить Исааком Абрамовичем Иоффе. В бригаде были опытные монтажники и сварщики, и несколько человек из них, как и сам Иоффе, остались работать на реакторе. Электротехническую бригаду возглавил Владимир Никитич Чухнов, который тоже остался работать в институте.

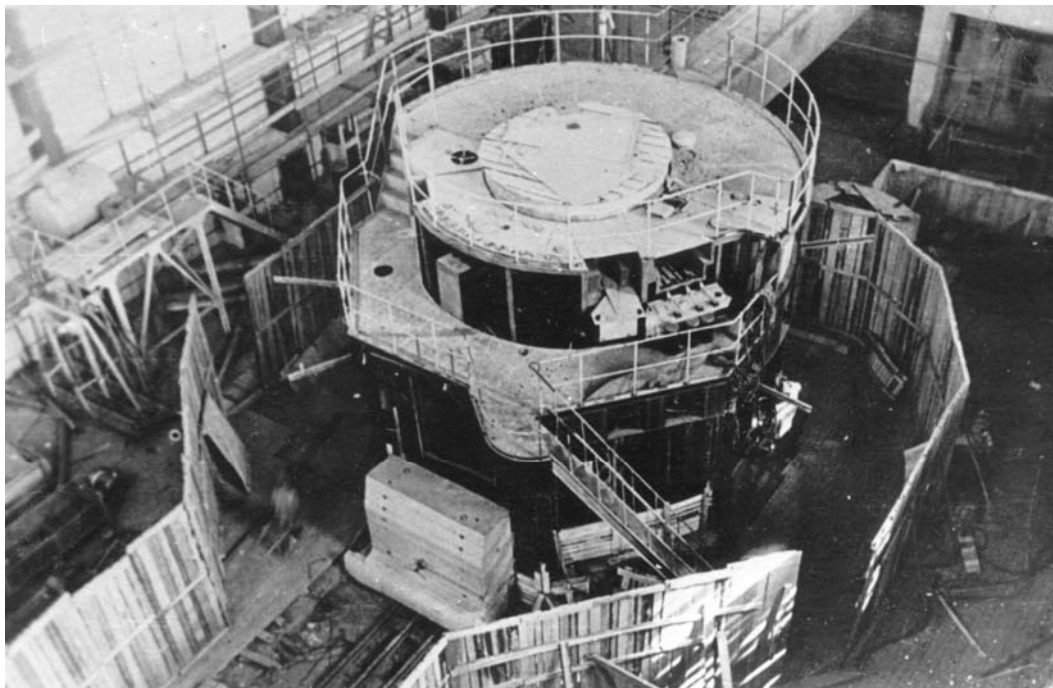


Монтажники на пуске. Слева – И.А. Иоффе и Л.Я. Луммер

Наша технологическая группа контролировала монтаж именно реакторного оборудования. Контроль общегражданского строительства вели работники ОКСа. Тем не менее в ответственных строительных узлах технологи участвовали не только в контроле, но и непосредственно в работах. Это, в первую очередь, касалось насосной станции главного циркуляционного контура и бетонирования биологической защиты «тяжелым» бетоном. Разметку всех проходов в бетонных стенах насосной вместе с геодезистом успешно выполнил Владимир Григорьевич Панков – будущий начальник смены.

Руководить монтажом и контролировать работу монтажников нам было крайне трудно. Мы, скорее, должны были полагаться на их опыт и советы. С одной стороны, мы не имели опыта монтажных работ, а с другой – в монтажных организациях зарплата была несравненно выше нашей, и это оказывало психологическое давление. Надо еще иметь в виду, что в Гатчине мы только начинали превращаться из лаб. 10 в филиал ФТИ, и наше техническое оснащение было крайне ограниченным.

Вспоминаю, как однажды Евгений Александрович Коновалов в резиновых сапогах поочередно переносил нас через огромную лужу при возвращении с работы.



Перед бетонированием

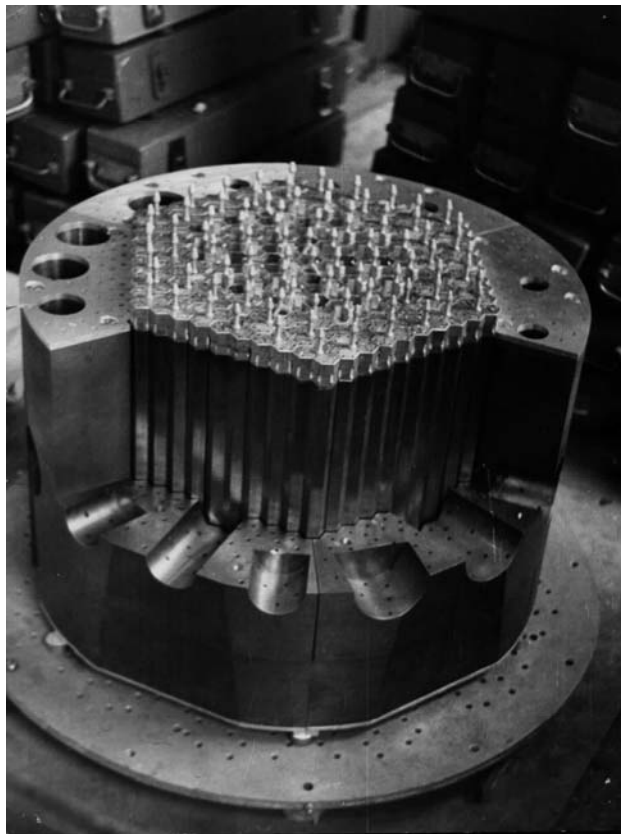
В период 1957–1961 годов ФТИ интенсивно застраивал Кировскую улицу, впоследствии, как самую красивую, переименованную в улицу им. Ю.А. Гагарина. Многие сотрудники ФТИ переехали в Гатчину, и причиной было не желание жить ближе к строительной площадке, а возможность получить жилье, на что в Ленинграде шансов не было. Часть людей ездила на работу в ФТИ, а для части в доме № 6 (ныне дом с «атомным» магазином) организовали помещение для библиотеки и работы. На площадке в Орловой роще пока такой возможности не было, и технологи, как и монтажники, трудились в плохо приспособленных для этого помещениях.

В библиотеке могли работать очень немногие. Из технологов работал только Валентин Александрович Шустов, который взялся сделать нейтронный расчет активной зоны ВВР-М. В техзадании, разработанном в ЛИП АНе, критмасса не была определена, а выбран только размер зоны по аналогии с реактором МТР.

На площадке в Орловой роще шла стройка. Пора было набирать кадры, а филиал ФТИ еще не создан. Вся «инфраструктура» состояла из ОКСа и технологов. В подвальном помещении жилого дома раз в две недели мы с Дмитрием Алексеевичем Яшиным вели прием желающих поступать к нам на работу. В городской газете упоминать о нашей стройке и ее местоположении не разрешалось, но горожане узнавали сами, и народ шел на прием довольно энергично. За один вечер приходило по 10–15 человек. Отсутствие официальной информации только подогревало

интерес публики. Подбирать нужных работников из местных кадров было сложно, но постепенно коллектив складывался.

Очень важным моментом было создание механического цеха. Этот цех П.П. Волков и С.Н. Николаев строили и оснащали с максимально возможным размахом. Для монтажа реактора ВВР-М работа цеха была во многих случаях спасением. Так, опорная решетка реактора и узлы, связанные с конструкцией бериллиевого отражателя, требующие большой точности обработки, изготовлялись в нашем механическом цехе.



Бериллиевый отражатель в механическом цехе (сухая сборка)

Инженеров обучали на Газовом заводе в ЛИП АНе (пожалуй, уже было название «Институт атомной энергии») на прототипе реактора ВВР-С. Обучение было организовано для всех реакторных центров в несколько приемов. Лекции читали сотрудники ЛИП АНа: Немировский, Макаров, Лоповок, Звонов и Уткин, каждый по своей специальности. Для нашей группы раздел «Расчет тепловой мощности» читал В.А. Шустов. Практикой на ВВР-2 руководил гл. инженер реактора Лоповок. Каждый обучающийся инженер готовился к конкретной должности, например, на-

чальник службы СУЗ и КИП – Р.Г. Пикулик, гл. инженер реактора – К.А. Коноплев и так все персонально.

Критстенд

Лев Ильич был экспериментатором и решил, что без измерений на критстенде пускать реактор опасно. К теоретическим расчетам он подходил осторожно и имел некий принцип. Сначала данные теоретического расчета, а потом данные эксперимента. В противном случае теоретики подгонят свой результат под эксперимент, и доверия к таким расчетам не может быть. Видимо, такой подход шел еще из лаборатории И.В. Курчатова. Он говорил мне, пусть наша группа (это В.А. Шустов, Л.А. Кондурова, Т.А. Звездкина) и группа теоретиков (это Ю.В. Петров и А.Н. Ерыкалов) выполняют расчеты, а потом мы сравним их результаты с критопытами.

Для начала надо было сделать критстенд. Шел уже 1959 год, строительство подходило к концу, и найти помещение, изготовить стенд и подобрать оборудование было крайне сложно.

Лев Ильич довольно придирчиво осмотрел смонтированный стенд и потребовал установить дополнительные кнопки аварийного заглушения цепной реакции и навесить на обитую железом дверь хранилища твэлов большой амбарный замок.

Из ЛИП АНа были приглашены Ю.Г. Николаев и Г.А. Столяров. Они одобрили подготовку стенда, провели проверку знаний нашей бригады, и мы приступили к загрузке активной зоны. Руководителем бригады был назначен К.А. Коноплев, оператором Р.Г. Пикулик и контролирующим физиком В.А. Шустов с двумя помощниками – В.С. Звездиным и Г.П. Гордеевым. Механиками работали К.А. Кулебякин и А.Е. Ленивец. В первом наборе критмассы, начавшемся в ноябре 1959 года, Лев Ильич сам принимал участие.

Загружались мы крайне осторожно. Придерживались такого правила: прежде чем дать команду на любое изменение в активной зоне, предложение озвучивалось, и если никто не возражал, то предложение повторялось, затем отдавалась команда.

Цепная реакция пошла при загрузке 1,439 кг ^{235}U , что превысило значение, полученное в 2-групповом расчете В.А. Шустова и Л.Н. Кондуровой. Дальнейшие измерения практически были отложены до физпуска реактора. В соответствии с предсказанием Русинова 3-групповой расчет наших теоретиков Г.В. Скорнякова, Ю.В. Петрова, А.Н. Ерыкалова через полгода дал идеальное совпадение $(1,4 \pm 0,2)$ кг. Требование Русинова держать критмассу в секрете, естественно, было нарушено. Впоследствии на критстенде были проведены подробные исследования, необходимые для работы реактора и для тестирования новой, довольно совершенной по тем временам расчетной модели, разработанной под руководством Юрия Викторовича Петрова.



Л.И. Русинов на критстенде



Ю.В. Петров и К.А. Коноплев на критстенде ВВР-М

Физпуск

1959 год был богат на завершение строительства и пуски реакторов. В марте был пущен реактор ВВР-С в Будапеште, в сентябре такой же реактор – в Ташкенте, осенью – реактор ИРТ в Тбилиси. Летом в Ленинграде был пущен реактор ледокола «Ленин», и мечта Льва Ильича собрать первую в Ленинграде критмассу стала неосуществимой. В 1958 году два исследовательских реактора были пущены в Обнинске. Русинов был на пуске в Тбилиси и, вернувшись, потребовал осуществить пуск в этом же году. Лозунг был изменен: «Не нужна красивая отделка помещений, нужен физпуск». В Тбилиси экспериментальный зал напоминает заводской цех, а не лабораторию. Мы не успевали не только с окончанием отделки здания, но и явно не успевали с разборным бериллиевым отражателем. Решили пускать с макетом, благо на критстенде увидели такую возможность.

В это же время в Институте физики Украинской академии наук также строили по нашему проекту реактор ВВР-М. Киевский институт, как и Физтех, претендовал на высокий нейтронный поток. Отстать от Киева было бы для Льва Ильича совсем невыносимо.

Несмотря на то, что люди прошли необходимое обучение и, главное, практически работали над проектом и строительством реактора, Л.И. Русинов надеялся на приход «проверенных» кадров из Челябинска-40 и придерживал раздачу должностей. Перед физпуском и сразу после него руководство института решило доверить реактор своим технологам и перевести их из м.н.с.-ов, ст. лаборантов и инженеров в должности по штатному расписанию реактора. К.А. Коноплева из м.н.с. перевели сначала в начальника смены, а затем в зам. главного инженера. В.А. Шустову, Ю.П. Семенову, В.А. Рубану, Б.И. Новицкому и В.Г. Панкову дали должности старших инженеров-операторов; Д.А. Яшину – начальника смены; Р.Г. Пикулику, В.Т. Шарову и В.И. Голосову – заместителей начальника службы; В.И. Гудкову, Г.П. Гордееву, Е.А. Алдалрову, Л.Н. Постникову и Е.А. Коновалову – инженеров-операторов; В.А. Соловьеву и И.К. Юрше – начальников службы.

Сотрудников теоретдела это не коснулось, и Ю.В. Петров, активно участвуя в работе, оставался младшим научным сотрудником.

Только один человек – В.А. Рубан – имел практический опыт управления реактором и был сразу принят старшим инженером-оператором. Русинов активно провел агитацию перехода к нам специалистов из Челябинска-40, и в следующие годы к нам пришли опытные специалисты (А.И. Крылов, Л.М. Площанский, В.И. Диденко, И. Марченко, А.А. Бuzдылев и еще несколько человек). Это создавало определенную надежность работы коллектива.

Для обеспечения физпуска требовалось много усилий, и, зачастую, в самых неожиданных для нас местах. Р.Г. Пикулик и Л.М. Евстифеев кропотливо отлаживали минимальный объем СУЗ. Отладку автоматического регулятора с электромеханическим усилителем ЭМУ-ЗА пришлось отложить. В.Г. Панков и В.И. Голосов со своими механиками осваивали загрузку ТВС в реактор. Как уже упоминалось, от установки бериллия пришлось на момент физпуска отказаться. Таких моментов

было вполне достаточно, и работать приходилось, не считаясь со временем и силами.

Удалось собрать все узлы реактора, необходимые для физпуска, только в декабре.

Решение о физпуске принималось уже после назначения директором ФТИ академика Б.П. Константинова и организации филиала ФТИ. Руководил филиалом заместитель директора Д.М. Каминкер.



Борис Павлович Константинов



Давид Моисеевич Каминкер

В Гатчину снова приехали сотрудники ЛИП АН Г.А. Столяров и Н.В. Звонов. 11 декабря мы провели загрузку твэлов, проверили реактивности всех стержней регулирования и аварийной защиты, установили громкий щелкун в экспериментальном зале. Осталось подготовиться к официальному пуску.

С трудом разыскали стулья для членов Ученого совета ФТИ, стол президиума сделали приличным с помощью ткани, установили трибуну и громкоговорители. Превратили экспериментальный зал в зал заседаний.

Б.П. Константинов и Л.И. Русинов обеспечили высокое начальство. Первый секретарь Ленинградского обкома И.В. Спиридонов произвел официальный пуск реактора ВВР-М. Присутствовал заместитель начальника Главного управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР Н.А. Николаев, присутствовали секретари Обкома КПСС и, естественно, Ученый совет ФТИ почти в полном составе.



Пульт предъявлен Н.В. Звонову



Последняя проверка аппаратуры. Можно загружаться



Первая загрузка топлива



Твэлы в зоне. Можно пускать реактор



Поднять стержни, достигнуть критичности!
Р.Г. Пикулик, Н.В. Звонов, В.С. Звездкин и Г.П. Гордеев



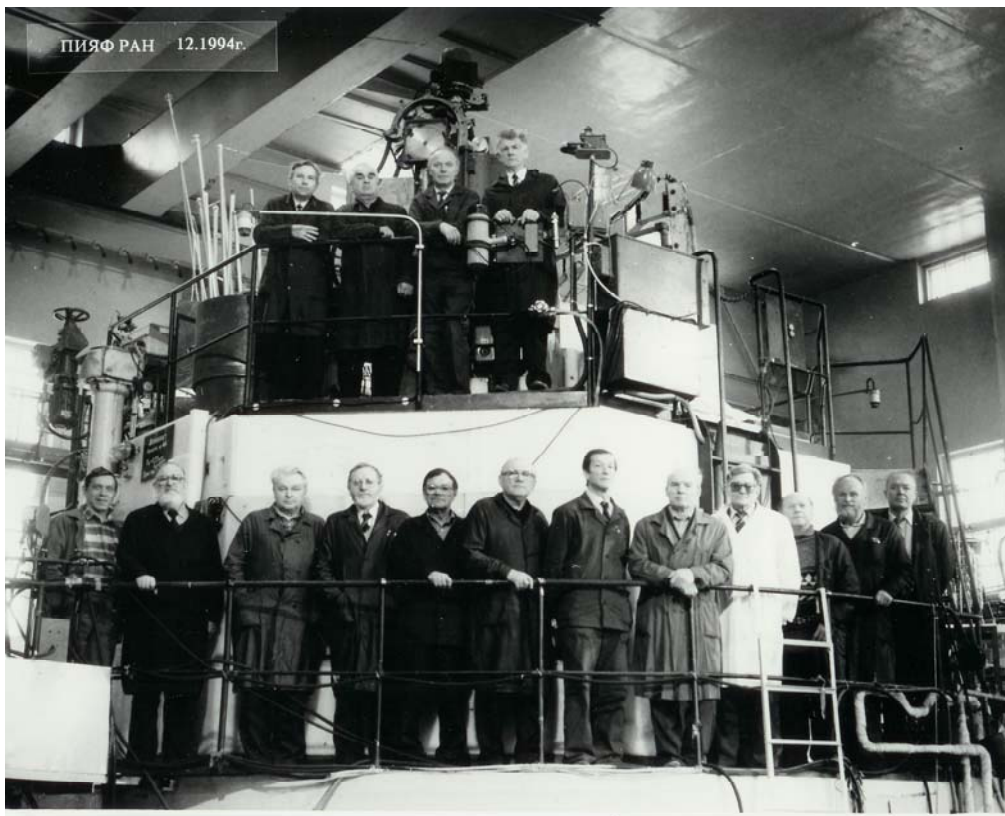
Борис Павлович Константинов открывает заседание Ученого совета ФТИ



Лев Ильич Русинов на Ученом совете ФТИ



Приглашенные на Ученый совет (мы)



«Пускachi» собрались в 1994 году

Через 50 лет после физпуска ВВР-М мы готовимся к физпуску реактора ПИК. В смысле подготовки техники очень много общего. В 1959 году также приходилось искать зачастую трудные решения, чтобы отладить работу систем и узлов. В 2009 г. трудностей в завершении монтажа и наладке систем даже больше. При всей схожести ситуации есть одно огромное отличие. Если бы в 1959 году нам пришлось составлять сотую долю от количества бумаг, необходимых для пуска реактора ПИК, то 50-летие со дня пуска ВВР-М мы бы отмечали не в 2009 году, а много позже.

От физпуска к энергопуску

Радостно завершив физпуск и наступление нового, 1960 года, приступили к подготовке реактора для работы на мегаваттных мощностях. Активную зону разгрузили и занялись подгонкой бериллиевых блоков отражателя в очень тесных условиях. Необходимо было добиться точного положения отражателя относительно опорной решетки. Зазор между граничными твэлами и бериллием выдерживался с точностью до десятых долей миллиметра. Бериллиевые блоки должны иметь

возможность дистанционной разборки и сборки и в то же время быть жестко закрепленными. Использовали фиксацию на клиновидных пластинах. Эта работа заняла несколько месяцев с неоднократной сборкой и разборкой блоков.

Одновременно завершалась наладка СУЗ и КИП, завершалось строительство и монтаж так называемых спутников, а именно сбросных резервуаров, градирни, насосной и вентцентра.

Наибольшие неприятности доставили сбросные резервуары. Они не были рассчитаны на внешнее давление грунтовых вод на пустой резервуар. Один из этих резервуаров сила подземного давления стала деформировать. Проектировщики откликнулись быстро, ошибку исправили, а ремонт подземного резервуара потребовал и от строителей, и от монтажников больших усилий. Возглавил эту работу Е.А. Коновалов. Даже при полном содействии П.П. Волкова и К.А. Коноплева ему пришлось тяжело, но справился. Впоследствии эти резервуары никогда не опорожнялись больше, чем наполовину, а для компенсации построили третий наземный резервуар.

Смонтировали и наладили вспомогательные системы реактора, как совершенно необходимые, так и не очень важные. О вспомогательных системах реактора ВВР-М при проектировании у нас было очень мало информации. В итоге часть из них оказалась лишней, а некоторые не были предусмотрены и создавались уже после пуска реактора на полную мощность. Например, сразу были остановлены и демонтированы как лишние два отдельных независимых контура охлаждения чугунной защиты вокруг бака реактора и охлаждения графита тепловой колонны.

К 1 Мая подготовить энергопуск не успели, но финал был близок и виден, через месяц к подъему мощности все было готово.

Совершенно внезапно 18 мая 1960 года Лев Ильич скончался. Болезнь непродолжительная, но тяжелая. Для нас это было как гром среди ясного неба. Русинову шел 54-й год, а мы считали его если не стариком, то человеком предыдущего, довоенного поколения, что было совершенно верно. До пуска реактора и возможности начать на нем исследования Лев Ильич не дожил каких-то полтора месяца, но он оставил лабораторию с хорошо подобранными молодыми учеными, полными идей и энергии. Недаром из ее состава вышли 3 академика и 2 член-корреспондента.

О.И. Сумбаев, К.А. Коноплев, И.А. Кондуров, Ю.В. Петров, В.М. Лобашов и Г.М. Драбкин обратились к Давиду Моисеевичу Каминкеру с просьбой стать заведующим нашей лабораторией и назвать ее «Лаборатория нейтронных исследований». Из рамок ядерной изомерии лаборатория уже вышла. Только И.А. Кондуров развивал это направление в область короткоживущих возбужденных состояний.

Реактор ВВР-М был подготовлен к энергопуску. Предполагалось, что Лев Ильич доставит, как в предыдущие пуски стенда и реактора, пусковую бригаду из Института атомной энергии (ИАЭ). Послали запрос – ответа нет. Послали второй – ответа нет. Пытаюсь созвониться – получаю обещание, но время идет, и теряется темп работы. Еду в ФТИ к Б.П. Константинову и жалуюсь на Комитет по использо-

ванию атомной энергии и на ИАЭ. Б.П. обещает позвонить в Москву и дает команду: «Если через три дня не приедут, пускайте сами». Такая команда нас сильно вдохновила, мы очень хотели быть самостоятельными. На четвертый день начали постепенный подъем мощности и к приезду пусковой бригады работали примерно на трех мегаваттах. Это уже позволяло сделать калибровки мощности по тепловым приборам контроля. На мощности 5 МВт подъем остановили, и двое суток проработали для оценки состояния реакторных систем. Затем реактор остановили, и персонал отправили в отпуска.

После энергопуска

Плохая работа твэлов стала наиболее серьезным препятствием для работы реактора в первый год. После обсуждения с А.М. Глуховым (ВИАМ), В.В. Гончаровым (ИАЭ) и заводскими специалистами решили переходить от керамики (UO_2-Al) на сплав ($U-Al$) и увеличить толщину плакировки. Юра Петров отказался от расчета зоны с новыми твэлами, сказав: «Этот простой пересчет вы можете рассчитать сами». Он в это время уже работал над разработкой точной модели активной зоны ВВР-М. Вместе с Г.П. Гордеевым мы оценили нейтронно-физические изменения, проистекающие из увеличения толщины плакировки. Потерю реактивности компенсировали увеличением обогащения урана от 20 до 36% с соответственным ростом концентрации ^{235}U в активной зоне с 50 до 60 г/л. Изложили это в отчете, которым мы очень гордились и который через два месяца Первый отдел потребовал засекретить. Полученные характеристики с опытной малой партией твэлов подтвердили на критстенде. Твэлы ВВР-М2 оказались исключительно надежными, и они до сих пор применяются на целом ряде реакторов. Заводчане научились их выпускать даже в двух вариантах на сплаве ($U-Al$) и на керамике (UO_2-Al). В этом сборнике есть отдельная статья о работах по совершенствованию твэлов типа ВВР-М, поэтому перейду к другим сторонам нашей работы в первые годы.

В СССР появился новый реактор, который тогда по потоку нейтронов входил в первую десятку в мире. К директору ФТИ Б.П. Константинову поступило несколько предложений о создании материаловедческих петель, включая даже жидкометаллическую. В то же время шло освоение нейтронных пучков. Все пучки были распределены, и на каждом их «хозяин» разрабатывал, устанавливал и налаживал свой прибор. Конструкция реакторов такого типа, как наш ВВР-М, позволяла их использование для экспериментов на выделенных пучках и для экспериментов внутри реактора на облучательных и петлевых установках.

Эксперимент на выведенном пучке, как правило, требует стабильного потока нейтронов в течение всего цикла работы реактора. Петлевые установки, если не как правило, то очень часто требуют в течение цикла изменения мощности реактора. Сочетание этих двух видов исследований – пучок и петля – возможно только в тех случаях, когда петля не влияет на режим реактора. В нашем 50-летнем опыте работы было, можно считать, три петлевых установки.

От жидкометаллической петли мы после внимательного обсуждения отказались. Требовалась задержка пуска реактора на достаточно длительный срок и значительные меры безопасности от загрязнения полонием. Тем не менее в биологической защите при бетонировании заложили возможность размещения в будущем опоры моста с трубопроводом для жидкого металла. Это предложение поступило еще до окончания строительства, когда направления исследований на реакторе только выбирались. Несмотря на поддержку идеи со стороны Б.П. Константинова, наши аргументы и отрицательная позиция Л.И. Русинова эту петлю отвергли.

Первая реализованная петля была петля низкого давления (ПНД) на органическом теплоносителе для испытания термоэлектронных преобразователей (ТЭП). Опыт сочетания с работой на пучках оказался исключительно неудачным. Петля диктовала многократные изменения мощности и препятствовала работе на пучках. Окончила свое существование ПНД весьма «эффектно». Моноизопропил загорелся, насосная покрылась слоем жирной сажи, из нашей вентиляционной трубы впервые пошел дым, а про реактор прошел слух: «Наконец-то они там начали работать». Сами результаты создания и испытания ТЭПов под невероятным напором М.Б. Барабаша были впечатляющими и долго держали «рекордные» значения преобразования ядерной энергии в электрическую.

Вторая созданная петля низкого давления (ПВ) на водяном теплоносителе для испытания твэлов работает независимо от мощности реактора и используется много лет до сих пор.

Третья петля, хотя официально петлей не признается, создавалась значительно позже для охлаждения жидкого водорода в источнике холодных нейтронов. Она полностью диктовала режим подъема мощности реактора, но к конфликту интересов с исследователями на пучках не приводила. Дело объясняется только большой научной значимостью проводимых исследований, лежащих в русле основной тематики института. Об этих работах в сборнике тоже есть отдельная статья.

Наш институт ясно выбрал приоритет исследований фундаментального характера. С начала 60-х годов А.П. Александров регулярно проводил совещания по работе на всех (кроме минсредмашевских) исследовательских реакторах. От совещания к совещанию прослеживался выбор направления проводимых исследований на каждом реакторе. Для некоторых центров выбор направления давался с трудом, и А.П. Александров помогал, а зачастую и навязывал тематику. На нашем реакторе с первых совещаний тематика исследований признавалась наиболее интересной и результативной. Работы в области физики и техники исследовательских реакторов на этих совещаниях также выглядели на высоком уровне. Это касалось и реакторных расчетов, и реакторных экспериментов, а главное, способствовало созданию условий для использования реактора в научных исследованиях.

На реакторных секциях в первые годы этих совещаний пришлось столкнуться с очень разным уровнем работ по физике реакторов. Нам приходилось зачастую крайне резко протестовать против необоснованных утверждений. Чаще всего это касалось оценки нейтронных потоков. На нашем реакторе точности измерений придавалось особое внимание, тем более что на реакторе ВВР-М в то время был получен самый большой нейтронный поток. Первое серьезное измерение провели

В.М. Лобашов, Г.Я. Васильев и В.И. Диденко. В дальнейшем серия сличительных измерений на реакторах и привлечение метрологических лабораторий довели культуру оценки нейтронных потоков до приемлемого уровня на всех реакторах.

Текущее взаимодействие «реакторщиков» и «физиков» складывалось не сразу. Понятное человеческое стремление завоевать свой авторитет у некоторых снижалось до примитивного представления о том, кто здесь главный. Постепенно стало обычным понимание, что реактором, персоналом и механизмами командует только начальник смены, а задачи ставит ответственный за использование нейтронного пучка. Естественно, не обходилось без неприятностей. Например, начальник смены не предупреждал экспериментаторов об изменении программы работы и губил проводимую серию измерений. С другой стороны, нетерпеливый ученый, получив время для монтажных работ на своем пучке, вставлял в канал совсем не то устройство, которое предусмотрено программой. Просто пришла идея сделать лучше, а времени на рассмотрение нет. В память о таких событиях в одном из горизонтальных каналов «навечно» установлен не самый удачный коллиматор. В более широком плане ставились задачи по увеличению экспериментальных возможностей нашего реактора, и они решались достаточно энергично.

Для пучка № 5 потребовалась пролетная база, значительно превышавшая размеры экспериментального зала. Просверлили стены, провели пучок через коридор и вывели в вестибюль, который превратили в лабораторию. Вход в здание перенесли.

Графитовая тепловая колонна (ТК), установленная для формирования спектра с высоким кадмиевым отношением, применения не нашла. Колонну демонтировали, просверлили в бетоне реактора дополнительные касательные и один сквозной канал и установили новую колонну. Идею просверлить биологическую защиту и защиту реактора высказал и всячески поддерживал Ю.В. Петров, и, по-моему, он гордился этим ничуть не меньше, чем своими достижениями в физике. Большую поддержку нам в этой работе оказал и В.С. Гвоздев, который разыскал бурильщиков или, как он называл, «НИИ дырка». Это, пожалуй, была одна из наиболее сложных работ с двух точек зрения – точности сверления и радиационного фона при работе с облученной колонной. Кстати, опыт той работы востребован в подготовке следующей замены ТК на источник ультрахолодных нейтронов, о чем есть статья в этом сборнике.

Наиболее крупной работой по увеличению экспериментальных возможностей, безусловно, явилось создание надреакторной горячей камеры (НРК) и системы свободного размещения сервоприводов с каналами для органов регулирования в активной зоне.

Работу по НРК вел Д.А. Яшин. Ему пришлось привлечь для этого конструкторов из «Электронстандарта», поскольку институтское КБ было полностью занято работами над физическими приборами. Новый малогабаритный сервопривод сконструировали Ю.И. Филимонов и О. Хазова.

НРК развязало трудности с работами, проводимыми в активной зоне и отражателе реактора. Появилось пространство, обеспечивающее возможность над экспериментальными каналами размещать необходимое оборудование довольно больших размеров. НРК оборудована манипуляторами и смотровым окном.



Манипуляторы НРК

Работа с твэлами и облучаемыми образцами стала удобнее и безопаснее. Именно создание НРК и освобождение активной зоны от фиксированной решетки стержней регулирования в дальнейшем позволило устанавливать источники холодных нейтронов. Лично для меня работа с НРК и сервоприводами явилась результатом мучительного поиска решения по совершенствованию этого слабого места в конструкции реактора ВВР-С, которое мы оставили без изменений в ВВР-М.



Осмотр твэла в НРК

Рост научных исследований требовал и расширения лабораторных площадей. Здание реактора обрастало пристройками со всех сторон.



Вид здания реактора ВВР-М с северо-восточной стороны

Все они активно используются. Пожалуй, не нашли применения только пяти-секционные боксы, продолжающие цепочку горячих камер реактора. Такая цепочка позволяет организовать производство радиоактивных источников на продажу. Ранее даже слово «продажа» не воспринималось как что-то значимое по сравнению с научной разработкой, а теперь мы продаем радиоактивные изотопы только как сырье для изготовления товарных источников и на этом много теряем.

Остановлюсь на одной работе реакторщиков, которая в финале получила неожиданный результат. Речь идет об увлечении нейтронов движущейся средой. Эффект представлялся очевидным. Инициатором явился А.А. Кострица из Ташкента. Он рассчитал эффект и предложил нам, а именно Д.М. Каминкеру, провести эксперимент. Давид Моисеевич горячо поддержал А.А. Кострицу, и мы с участием Ю.В. Петрова провели этот эксперимент на выделенном нейтронном пучке. Эффект, естественно, подтвердился, и казалось – это все, однако Ю.В. Петров придумал, как из этих данных оценить коэффициент диффузии. Получился новый независимый метод измерения этого коэффициента. Все были довольны, особенно работающие в зале экспериментаторы, когда мы убрали громко шумевшие насос и трубы.

Совершенствованию отдельных систем реактора, повышающих его безопасность и экспериментальные возможности, предела нет. В каждой службе шли и идут работы такого рода. Дозиметристы под руководством В.А. Соловьева, Л.М. Площанского и Е.А. Коновалова создали действительно современную для своего времени систему дозконтроля. Разработали гаммотрон для калибровки приборов и сделали еще несколько изобретений. Электрики перешли от выработавших ресурс электромашинных преобразователей к транзисторным. Массу усовершенствований провели механики, включая замену главных циркуляционных насосов и трубопроводов. Служба радиохимии (С.П. Орлов) освоила облучение целого ряда химических элементов и, что наиболее важно, минералов. Они работают в тесном контакте с Радиевым институтом и НИИ «Прометей», которые изготавливают источники для медицины и промышленности. Служба СУЗ и КИП вела и ведет непрерывное совершенствование для выполнения возрастающих требований к надежности управления реактором. Небольшая технологическая группа в филиале ФТИ постепенно набирала силу и опыт и преобразовывалась в сектор физики и техники реакторов (ФТР), затем в отдел. Были образованы лаборатории критэкспериментов, разделения изотопов водорода, реакторной теплофизики и металлов.

В настоящее время, через 50 лет после пуска, основные работы ведутся по сохранению работоспособности реактора ВВР-М.

Водный режим и его задачи

Загадок было две: радиолиз и коррозия.

Под действием излучения в воде происходит радиолиз. Из молекулы воды получается довольно много нейтральных молекулярных образований, радикалов возбужденных молекул и свободных электронов. В итоге всех промежуточных реакций в дополнение к растворенному воздуху в реакторной воде накапливается водород и перекись водорода. Присутствие водорода требует каких-то мер для предотвращения взрывоопасной ситуации. Энергия, необходимая для развала молекулы H_2O , хорошо известна и обычно характеризуется числом частиц на 100 эВ поглощенной энергии. Это число разное для разных видов излучения.

В активной зоне реактора можно оценить количество молекул, подвергающихся радиолизу, и это количество будет пропорционально мощности реактора.

В проекте реактора ВВР-С была установлена система, которая, по мысли проектировщика, должна поддерживать концентрацию водорода в воде на определенном уровне. С этой целью часть воды после съема тепла в активной зоне направлялась в систему под названием «деаэратор». Там поток воздуха встречается с водой в виде капель и пленок, и происходит обмен газов, растворенных в воде, с продуваемым воздухом. (В промышленности такой процесс называется аэрацией.) Воздух, обогащенный водородом, выбрасывался в атмосферу.

Казалось бы, для сохранения концентрации водорода в воде на прежнем уровне при повышении мощности реактора с 2 до 10 МВт необходимо в 5 раз увеличить деаэрацию. В проекте ВВР-С расчета этой системы и данных о допустимой концентрации не было. После малоэффективных консультаций с проектантами мы, а точ-

нее Русинов и Коноплев, решили оставить систему деаэрации без изменений и изучать в процессе вывода реактора на мощность. Неприятности начались сразу, но не с водородом. Вместе с водородом в атмосферу выбрасывались все радиоактивные газы, которыми охлаждающая вода насыщалась при охлаждении активной зоны. Наибольший вклад по активности давал аргон-41. Стабильный аргон-40 присутствует в воздухе и в воде, а под действием нейтронного облучения образуется аргон-41. Период полураспада не велик, менее 110 минут, но в принятой схеме деаэрации он не успевает распасться до выброса в атмосферу. Свой вклад добавляли и осколочные криптоны, ксеноны и аэрозоли, особенно при использовании первого комплекта твэлов. Так что водород водородом, а надо было менять схему. Решили замкнуть систему не только по воде, но и по воздуху.

С помощью Б.П. Константинова получили от академика И.К. Кикоина две прекрасные газодувки, установили в контуре платиновый катализатор для сжигания водорода и сократили выброс в десятки раз. Контур был сконструирован в КБ нашего института, изготовлен и смонтирован службой механиков. Работу возглавлял начальник смены Юрий Павлович Семенов. С непонятным явлением столкнулись сразу. По мере увеличения мощности реактора перепад температуры газа на катализаторе возрастал только до какого-то предела, а затем оставался постоянным. К работе подключился Вениамин Дмитриевич Тренин, он организовал измерение водорода и других продуктов радиолиза в газе и в воде. Первое пришедшее на ум объяснение постоянства мощности катализатора сводилось к особенностям самого катализатора и было быстро отброшено. Концентрация водорода в воде первого контура достигала насыщения в районе 2 МВт и оставалась постоянной до максимально достигнутой – 10 МВт. Естественно, что объяснение этой «загадки» в рекомбинации. Эти исследования показали, что от системы деаэрации можно отказаться, что и было сделано. Схема первого контура заметно упростилась, а каньон деаэратора полезно использовался для других целей. Наш опыт позволил и на других реакторах типа ВВР-С отключить системы деаэрации и не применять ее в новых проектах. Этот материал послужил основой для диссертации В.Д. Тренина.

Стационарный уровень концентрации водорода сильно различается для разных реакторов. При примерно одинаковой мощности дозы в активной зоне разных реакторов стационарная концентрация различается в разы. Такая же картина и при сравнении полных мощностей разных реакторов. По всей видимости, процесс рекомбинации очень сильно зависит от многих условий.

Вторая наша «загадка» – коррозионная – была связана с отсутствием в проекте системы поддержания водно-химического режима. Ионообменные смолы 50 лет назад только начали применяться. Для подготовки подпиточной воды мы (В.Т. Шаров, В.Д. Тренин, В.М. Ганжа и А.Ф. Иванченко) изготовили установку обессоливания, а в контуре системы водоподготовки не было. Вода в первом контуре постепенно теряла свою прозрачность так, что стало плохо видно активную зону при перегрузке твэлов. Попытки очистки на механических фильтрах оказались неэффективными. По предложению Антона Ильича Егорова провели исследование электрофорезного способа очистки. Даже первая, не самая удачная конструкция электрофорезного фильтра позволила очистить воду. В дальнейшем в контуре ус-

тановили и ионообменные, и электрофорезный фильтры, и коррозионные проблемы были решены. Тем не менее высокая концентрация окислов алюминия, главным образом в форме гидридов, нанесла повреждения металлу в местах повышенной скорости воды в выходных сечениях отверстий опорной решетки. Проверка состояния этих отверстий входит в объем ежегодных обследований, но больше повреждений металла не наблюдалось.

Поддержание химического состава воды в нужных пределах позволило в дальнейшем избежать подобных трудностей. Более того, в хранилищах облученных твэлов не наблюдается их коррозия, что позволило твэлы, хранящиеся там несколько десятков лет, при необходимости возвращать в активную зону и дожигать.

Следующие «50 лет»

Где предел работоспособности реактора?

Естественно, он возникает с окончанием потребности в полезном использовании и при невозможности или экономической нецелесообразности поддерживать ресурс безопасной работы. Что касается ВВР-М, то востребованность есть, и эта востребованность для работ по фундаментальным задачам современной физики. Подробно о наиболее интересной задаче есть статья А.П. Сереброва в настоящем сборнике.

Безопасная работа реактора определяется соответствием его систем текущим требованиям и нормам для исследовательских реакторов. Нормативные требования с годами ужесточаются, и независимо от технического состояния и возраста каждый реактор должен совершенствовать свои механизмы и системы. Такая работа идет непрерывно. Заменены трубопроводы, поскольку это было дешевле, чем обновать их соответствие современным требованиям на изготовление. Заменены главные циркуляционные насосы, поскольку на старых (марки УФФА МГУ) стносились валы. Кстати, замена, несмотря на согласованные с заводом технические требования, привела не к увеличению расхода, а, хотя и незначительному, сокращению. Не буду перечислять многочисленные текущие замены, их много, и это текущая жизнь.

В плане работ на реакторе ВВР-М несколько существенных моментов. Ждет реализации разработанный проект резервного пульта управления. В случае невозможности управлять реактором с пульта из-за различных причин оператор должен иметь возможность наблюдать за поведением реактора из другого безопасного места. Раньше довольствовались дозиметрическим контролем, теперь требуется регистрация нейтронных и теплогидравлических параметров. Ждет разработка системы управления защиты (СУЗ) на современных элементах. На многих исследовательских реакторах полностью заменили СУЗ, включая пульты. К сожалению, сравнительного анализа на этих реакторах по вероятности отказов СУЗ нет. Менять все же надо, хотя бы исходя из морального старения.

Бериллиевый отражатель 50 лет назад вызывал у нас наибольшее беспокойство по поводу его стойкости. Он сконструирован разборным для замены целиком или по отдельным блокам. Однако первые 50 лет бериллий признаков ухудшения не

показал. Это удивительно, потому что на ряде реакторов при даже меньшем флюенсе его меняли. Изменение свойств бериллия под действием облучения зависит от целого ряда параметров: от спектра нейтронов и температуры в первую очередь. На реакторе ВВР-М образцы бериллия постоянно облучаются в активной зоне, и по ним можно судить о состоянии отражателя и делать прогнозы на будущее. Большую заботу вызывают доньшки горизонтальных каналов. Они выточены из сплошной заготовки из алюминиевого сплава САВ-1. Это наиболее облученный элемент реактора. Выход из строя доньшка приведет к необходимости либо заглушения этого канала, либо потребует замены бака реактора. Целесообразность такой дорогостоящей и длительной работы потребует серьезного анализа. В связи с такой ситуацией эти доньшки находятся постоянно в сфере повышенного внимания. При облучении САВ-1 меняет свои свойства из-за трансмутационного накопления кремния под действием тепловых нейтронов и из-за накопления дефектов под действием быстрых нейтронов. Поскольку спектр нейтронов у нас постоянный, мы следим по флюенсу быстрых нейтронов. Образцы САВ-1 были облучены до флюенса $2,6 \cdot 10^{22}$ н/см² и измерены их механические свойства при этом флюенсе. Материал значительно снизил свою пластичность, но остался достаточно прочным для наших условий. Единственным ограничением стало требование «не ударять» по доньшкам. Периодическое измерение толщины материала показывает отсутствие заметной коррозии. Поскольку за 50 лет накоплен флюенс около $2 \cdot 10^{22}$ н/см², а мы приняли за безопасный предел $2,2 \cdot 10^{22}$ н/см², то новые образцы поставлены для облучения до флюенса $3 \cdot 10^{22}$ н/см². Облучение и дальнейшее испытание образцов требует заметных финансовых затрат, но на них приходится идти даже в это сложное время.

Важный момент для продления работы реактора – это подготовка кадров. Это отнюдь не последний, а, пожалуй, первый по значимости момент занимал, занимает и должен в дальнейшем занимать самое пристальное внимание руководства.

