

70 ЛЕТ ЗАПУСКА СИНХРОЦИКЛОТРОНА В ДУБНЕ

А.В. Агапов, В.Н. Гаевский

Лаборатория ядерных проблем имени В.П. Джелепова,
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Создание в сороковые годы синхроциклотрона с высокой, рекордной в мире по тем временам, энергией ускоряемых протонов и дейтронов стало возможным благодаря двум принципиальным обстоятельствам. Первое заключалось в постоянной поддержке высшего руководства страны и научного руководителя советского Атомного проекта академика И.В. Курчатова. Другое важное обстоятельство заключалось в наличии в Советском Союзе сложившейся в предвоенные годы научной школы высококвалифицированных физиков-ядерщиков, чьи результаты не уступали достижениям зарубежных ученых. Большое значение для создания ускорителя имело привлечение специалистов ОКБ и завода “Электросила”, которые смогли решить все поставленные, ранее им неизвестные технические и производственные задачи, относящиеся к наукоемкой отрасли знаний. Участников создания синхроциклотрона – Гидротехническая лаборатория (ГТЛ) – можно без преувеличения назвать первопроходцами, так как им впервые пришлось решать сложные научно-технические и инженерные проблемы, которые ранее не стояли перед наукой, промышленностью и строителями. Всех без исключения специалистов, участвовавших в создании синхроциклотрона, отличала высокая научная и инженерная компетентность, исключительная ответственность за порученное дело. В работах по созданию ускорителя, его освоению, проведению экспериментальных и расчетных исследований приняли непосредственное участие выдающиеся ученые и инженеры страны, среди которых в первую очередь следует назвать М.Г. Мещерякова, В.П. Джелепова, В.И. Векслера, И.Г. Кабанова, А.Л. Минца, Д.В. Ефремова, Е.Г. Комара, и список этот можно продолжить. Не случайно правительство дважды отмечало достижения участников работы по созданию ускорителя. Нельзя не согласиться с известным тезисом о том, что кадры решают все.

Директор ОИЯИ академик В.А. Матвеев.

Ключевые слова: *синхроциклотрон, фазотрон, медико-технический комплекс, Лаборатория ядерных проблем имени В.П. Джелепова*

Воспоминания М.Г. Мещерякова

Советский физик, член-корреспондент АН СССР Мещеряков Михаил Григорьевич (1910–1994), профессор МГУ. Первый директор и основатель научного центра в будущей Дубне – секретной “Гидротехнической лаборатории”, переименованной позднее в Институт ядерных проблем АН СССР, знаковая фигура Советского

атомного проекта. Один из отцов-основателей Объединённого института ядерных исследований. В 1966–1988 годах – директор Лаборатории вычислительной техники и автоматизации

Яркой страницей в историю советской физики вписана эпопея сооружения на берегу Волги шестиметрового протонного синхроциклотрона. Научным руководителем работ по проектированию и созданию синхроциклотро-



Рис. 1. Михаил Григорьевич Мещеряков

на и директором Института ядерных проблем АН СССР, организованного на базе этого ускорителя, был Михаил Григорьевич Мещеряков (рис. 1). 27 марта 1947 г. он впервые приехал на место, отведенное для строительства первого ускорителя Дубны и научных лабораторий, и с тех пор его жизнь была неразрывно связана с историей становления и развития Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ). В апреле 1987 г. директор Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ член-корреспондент АН СССР М.Г. Мещеряков ответил на вопросы редакции еженедельника ОИЯИ "Дубна". (Еженедельник ОИЯИ Дубна: наука, содружество, прогресс. 1987. 15 апреля № 15).

Когда возникла идея о строительстве в Советском Союзе протонного шестиметрового синхроциклотрона и чем была вызвана Ваша

первая поездка на место строительства этого ускорителя?

Предложения о сооружении в нашей стране протонного и электронного ускорителей на высокие энергии, по тем временам – на сотни миллионов электронвольт, впервые обсуждались в кругах советских физиков еще осенью 1944 г. Решение о строительстве протонного синхроциклотрона на энергию 480 МэВ с возможностью последующего увеличения энергии до 680 МэВ было принято в августе 1946 г. Тогда же для строительства ускорителя и научного центра был выделен болотистый участок леса на берегу верхней Волги, рядом с поселком Ново-Иваньково.

К весне 1947 г. уже была проведена топографическая разведка отведенной территории. 27 марта того же года вскоре после назначения меня научным руководителем разработок и строительства протонного синхроциклотрона я первый раз приехал на место будущего строительства – нужно было утвердить генеральный план размещения технологических корпусов ускорителя.

Какими темпами строился синхроциклотрон и какую роль сыграл этот ускоритель в развитии у нас в стране физики высоких энергий?

С самого начала был принят жесткий график строительства – предлагалось запустить ускоритель к середине декабря 1949 г. Столь сжатый срок сооружения на пустом месте пятиметрового синхроциклотрона диктовался стремлением как можно скорее покончить с монопольным положением США в этой области науки: с 1947 г. в Беркли уже действовал протонный синхроциклотрон на энергию 340 МэВ.

Чтобы уложиться в предписанный срок, пришлось одновременно исследовать модель синхроциклотрона и проводить проектирование устройств ускорителя, к изготовлению которых сразу же приступали десятки заводов. Полностью исключались просчеты и конструкторские недоработки – для их устранения просто не было времени.

Только к середине 1949 г., когда непрерывным потоком по специально проложенной железнодорожной ветке начало прибывать и сразу же монтироваться оборудование, стал вырисовываться конец нечеловеческим усилиям всего коллектива строителей, монтажников, наладчиков, физиков.

Комплексный пуск синхроциклотрона был осуществлен в ночь с 13 на 14 декабря

1949 г. Сначала на нем ускорялись дейтроны и альфа-частицы до энергии 280 и 560 МэВ соответственно, а вскоре и протоны – до энергии 480 МэВ. Позже энергия протонов была увеличена до рекордной тогда энергии – 680 МэВ.

Когда в середине 1950-х гг. с нашей атомной программы был снят покров секретности, в западной печати создание – менее чем за три года – пятиметрового синхроциклотрона рассматривали как один из показателей технологической мощи нашей страны.

Пуск в конце 1949 г. на берегу верхней Волги первого крупного советского ускорителя явился отсчетной точкой развития в нашей стране физики высоких энергий. В течение тридцати лет этот ускоритель непрерывно использовался большим числом физиков, радиохимиков, биологов. На нем был получен ряд выдающихся научных результатов, нашедших широкое признание, вошедших в монографии.

Сооружение первого в Советском Союзе ускорителя протонов до релятивистских энергий велось в годы ожесточенных нападок на теорию относительности, классическую генетику – к этому периоду все чаще обращаются сейчас писатели, историки науки. Как Вы считаете, сказалось ли это на развитии у нас в стране физики высоких энергий?

Да, в то время тяжелые тучи обложили наш научный небосвод. Агроном Лысенко громил генетику, философ Максимов на страницах центральных газет яростно выискивал идеализм в теории относительности. Сейчас кажется бредом, но это было: один высокопоставленный начальник, столь же сиятельный, сколь и далекий от науки, рассматривая сметную часть технического проекта шестиметрового синхроциклотрона, выразил сомнение в правильности расчетов траекторий протонов в этом ускорителе по формулам релятивистской кинематики на том основании, что эта наука, как ему казалось, грешила идеализмом. Развита в 1948 г. оболочечная модель ядра кое-кому казалась идеалистической только потому, что в ней фигурировал термин «магические числа нуклонов на оболочках»...

И тем не менее, с физикой у нас не произошло ничего хотя бы отдаленно походившего на то, что случилось с генетикой на злобещей сессии Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук в 1948 г. Сказалась здесь позиция наших крупнейших физиков, прежде всего академика В.А. Фока, с большим гражданским мужеством отметававших наскаки на теорию отно-

сительности. Однако значительно большую роль сыграло опасение деятелей ведомства, руководившего у нас атомной программой, считавших, что расплывчатые дискуссии между философами и физиками отвлекут последних от решения конкретных, куда более актуальных проблем, не терпящих никаких отлагательств. Помнится, как однажды, слушая разговор о якобы идеалистических уклонах некоторых наших физиков, Б.Л. Ванников привел мудрую восточную пословицу: «Неважно, какого цвета кошка – белого или черного, важно, чтобы она ловила мышей».

Сейчас, оглядываясь на события почти 40-летней давности, нельзя не признать, что не отличавшиеся интеллектуальной глубиной, хотя и крикливые наскаки философов тех лет не затормозили, да и не могли затормозить, развитие у нас физики высоких энергий.

Воспоминания В.П. Джелепова

Член-корреспондент РАН Венедикт Петрович Джелепов (1913–1999) – выдающийся российский ученый и организатор науки, один из основоположников новой области исследований в Советском Союзе – физики высоких энергий. Он сделал очень много для решения фундаментальных проблем физики элементарных частиц, атомного ядра и развития современных ускорителей. В.П. Джелепов (рис. 2) – один из основателей ОИЯИ. Он был первым директором Лаборатории ядерных проблем Института, носящей ныне его имя, и руководил этой лабораторией в течение 32 лет.

Когда Дубны не было на карте

В конце 1949 г. был введен в действие один из важнейших ядерных объектов нашей страны – пятиметровый синхроциклотрон (рис. 3), способный ускорять частицы до рекордных в то время энергий и по своим параметрам превосходящий ускоритель, сооруженный в 1946 г. в Беркли американцами. Тем самым был заложен фундамент крупнейшего физического исследовательского центра, который с 1956 г. стал известен всему миру как Объединенный институт ядерных исследований. Венедикт Петрович Джелепов, член-корреспондент Российской академии наук, почетный директор Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, был одним из первых физиков, получивших вскоре после войны новое назначение – в фили-



Рис. 2. Венедикт Петрович Джелепов



Рис. 3. Синхроциклотрон Лаборатория ядерных проблем

ал Курчатовского института, который создавали на севере Московской области. Вот несколько эпизодов из его воспоминаний о событиях семидесятилетней давности. (Еженедельник ОИЯИ Дубна: наука, содружество, прогресс. 1995. 30 авг. (№ 33); 6 сент. (№ 34); 13 сент. (№ 35)).



Рис. 4. Игорь Васильевич Курчатов

Кому на восток, а мне на север...

Как-то летом 1948 г. Игорь Васильевич Курчатов (рис. 4) (мы звали его И.В.) пригласил меня к себе домой – он был болен и лежал в постели. Его коттедж на территории института в Москве мы называли домиком лесника. Переступив порог, я услышал обычное: “Физкульт-привет!” Потом последовали вопросы о текущей работе (в то время я уже закончил исследования по определению среднего числа нейтронов, испускаемых на акт деления различных изотопов ядер урана, и готовился к другим экспериментам).

И вдруг под конец разговора, как бы между прочим, И.В. говорит, что в ближайшее время мне придется уехать из Москвы.

– На “восток”?

(Ведь там тогда разворачивались главные события, связанные с созданием ядерного щита Родины.)

– Нет, совсем близко от Москвы, пару часов на ЗИМе.

– А какую задачу вы мне собираетесь поручить?

– Об этом сейчас сказать не могу. Ты по этой линии пока не оформлен. Предупреди жену, что вскоре придется тебе уезжать. А через пару недель, после оформления, все объясню.

– Но хоть что-то можете сейчас сказать?

– Нет, не могу. Ты ведь знаешь нашу систему – не положено.

“Нашу систему” я хорошо знал...

Вскоре И.В. пригласил меня снова и сообщил, что вышло решение правительства о создании филиала его института, базовой установкой которого будет крупный ускоритель – синхроциклотрон.

– Научным руководителем филиала назначили Михаила Григорьевича Мещерякова, а тебя – его заместителем.

(И я, и М.Г. были тогда кандидатами наук.)

– М.Г. тебя на днях пригласит и все подробно расскажет, – напутствовал Курчатов. – В Ленинграде, в Физтехе, мы делали с тобой циклотрон диаметром 1,2 метра, а теперь вы будете строить пятиметровый.

Но Мещеряков не пригласил – уехал в отпуск. Что делать? Назначение получено.

– Ничего. Пойди в его отдел и скажи, что ты его заместитель. Или лучше поезжай к Минцу, у него делается технический проект ускорителя и идет моделирование всей высокочастотной системы. Магнит разрабатывает в Ленинграде Ефремов, ты тоже его хорошо знаешь, – подбадривал И.В.

И вот после знакомства с сотрудниками отдела и визита к Александру Львовичу Минцу (рис. 5) в начале сентября 1948 г. я впервые приехал в эти места, но не на ЗИМе, а на довольно потрепанной “эмке”. Оказалось, что шофер – надежный человек, участник боев под Сталинградом, возил Курчатова на “востоке”. Он был моим сверстником: ему только исполнилось 35 лет – Александр Терентьевич Щербаков. Я был старше всего на четыре месяца («Поэтому я у тебя и начальник», – объяснял ему в шутку). Около миллиона километров «накрутили» мы с ним почти за 30 лет, пока Щербаков работал со мной, причем без единой аварии.

От Москвы до Дмитрова шоссе была относительно приличной, а до Большой Волги местами выложенной фашинником – лежащими поперек бревнами, дальше – что-то вроде проселочной. Слева канал Москва–Волга, справа леса, часто болота, селений совсем мало.

А.Л. Минц, в то время член-корреспондент Академии наук СССР, мне потом рассказы-



Рис. 5. Александр Львович Минц

вал, что выбор площадки для нового ускорителя обсуждался на совещании у Л.П. Берия. Называлось несколько мест: в районе Клязьминского водохранилища, недалеко от Икши и еще место, где начинается канал Москва–Волга. Высказывались различные мнения, большинство присутствовавших склонялось в пользу более близкого к Москве расположения “объекта” (так тогда назывались все ядерные “новостройки”).

Но Берия довольно быстро и четко поставил все точки над *i*, сформулировал окончательное решение, перечислив аргументы, которые, по его разумению, могли помочь решить задачу. Первый его довод сводился к следующему: там есть большой лагерь (а лагерей было много на протяжении всего канала), следовательно, не будет недостатка в рабочей силе. Есть уже какая-то база (если таковой можно было считать бараки для заключенных и неказистые дома для охранников). Второе. Это место достаточно удалено от Москвы – 125 километров, и ученые не будут отвлекаться от своей

основной работы. Третье. Там гораздо легче будет осуществлять секретность (в то время любые работы, связанные с ядерной физикой, велись как совершенно секретные). Четвертое. Коль вы, ученые, утверждаете, что вам требуется большое количество электроэнергии, так там уже работает Ивановская ГЭС. И пятое. Вам нужно будет много воды? В вашем распоряжении вся Волга... Вот так поселок Ново-Иваньково и стал местом «нового назначения» множества специалистов: строителей, монтажников, электриков, получали сюда распределение и только что закончившие вузы физики, инженеры...

Уникальный гигант

Задача, которую предстояло решить, была ограничена очень жесткими сроками – в четвертом квартале 1949 г. ускоритель надо было ввести в строй. Ученым тогда не было известно, что этот срок обусловлен юбилейной датой – 70-летием Сталина.

Работа предстояла огромная. Достаточно напомнить параметры синхроциклотрона. Вес магнита – 7 тысяч тонн! Он состоял из железных плит длиной около 18 метров, каждая весом 120 тонн. Диаметр обмоток – свыше 10 метров. Высота магнита тоже около 10 метров.

Очень сложным в техническом отношении сооружением был главный корпус ускорителя – 40 на 50 метров, высота около 40 метров, железобетонные стены двухметровой толщины (защита от нейтронов). Фундамент стен был заглублен на 5 метров. Потолок корпуса состоял из 12 железных мостовых ферм, залитых бетоном, толщина потолка – два метра бетона и метр песка. Страшно тяжелое перекрытие, без всяких опорных колонн! (Рис. 6)

К созданию ускорителя были привлечены крупнейшие заводы страны: “Электросила”, “Красный выборжец”, “Ижора”, “Севкабель”, большое количество проектных институтов, “почтовых ящиков” работали вместе с нами. Организация работ была очень сложной, но благодаря высочайшей ответственности всех поставщиков и предприятий-исполнителей, строжайшему контролю за соблюдением графиков сроки, в них предусмотренные, выдерживались достаточно точно.

Завод по производству бетона построили в непосредственной близости от корпуса ускорителя – ведь заливка шла круглосуточно. Прямо в строящемся корпусе был поставлен карусельный станок для намотки обмоток магнита.



Рис. 6. Вид главного корпуса ускорителя (синхроциклотрона) в 1949 году

Его монтаж осуществлялся с помощью 150-тонного подъемного крана. Многотонные плиты для магнита доставлялись с “Электросилы” по железной дороге на специальных платформах (немецких восьмиосных). В 8 вечера их отправляли из Ленинграда – ровно в 8 утра они прибывали в здание ускорителя. График соблюдался очень жестко. Не дай бог задержать платформу, не разгрузить и не отправить вовремя назад!

Проектирование основного электротехнического оборудования, включая систему питания электромагнита, с двумя генераторами по тысяче киловатт, было поручено Особому конструкторскому бюро при заводе “Электросила” под руководством Дмитрия Васильевича Ефремова (рис. 6) – тогда первого заместителя министра Электропрома (позднее – министра). Непосредственно возглавлял работу КБ Евгений Григорьевич Комар (рис. 7). В этом же КБ по совместному заданию нашей лаборатории и лаборатории А.Л. Минца создавался рабочий проект ускорителя в целом. Руководил расчетами магнитной системы ускорителя Наум Абрамович Моносзон (рис. 8). Главным конструктором электромагнита, вакуумной камеры ускорителя, дуанта, резонансной линии и других узлов был Иван Федорович Малышев. Электромагнит был самым большим ключевым узлом ускорителя. Рабочие чертежи со столов конструкторов сразу же шли в цеха завода.

Проект электротехнического оборудования, остальных систем и многочисленных кабельных сетей разрабатывал ГПИ ТПЭП под руководством В.А. Грачева.

Работы по проектированию и изготовлению мощного высокочастотного генератора, а

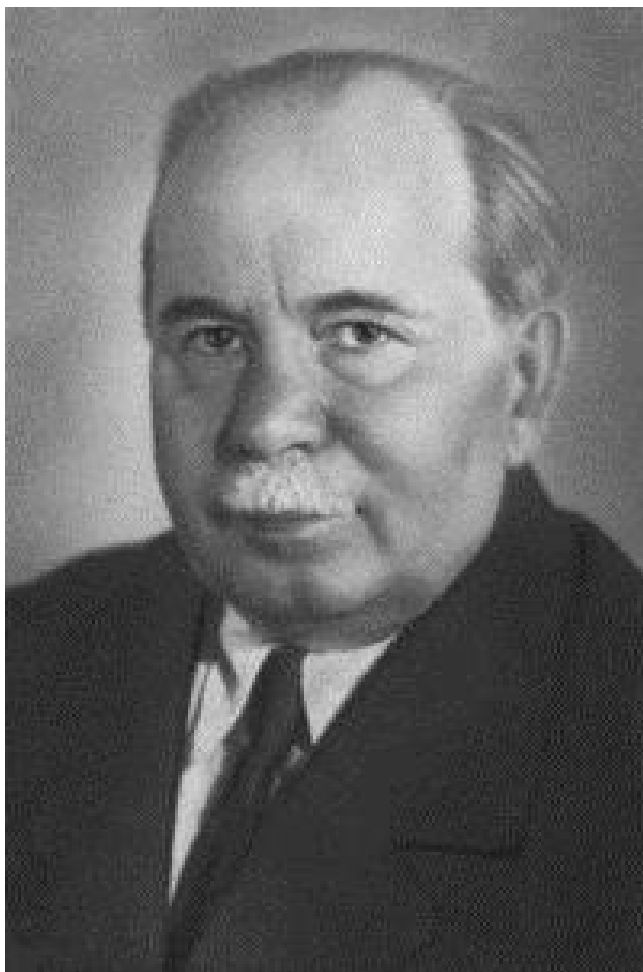


Рис. 6. Дмитрий Васильевич Ефремов



Рис. 7. Евгений Григорьевич Комар

также вариатора частоты выполняла лаборатория А.Л. Минца. Основными разработчиками этого оборудования были И.Х. Невяжский, Б.И. Поляков, В.А. Лупулов, Э.М. Рубчинский.

Нам было поручено большое и сложное дело. А время тогда было, как известно, крутое, ошибаться было нельзя. Мы должны были контролировать точное выполнение проектировщиками наших требований, наших проектных заданий, изготовителями – создание надежного, соответствующего чертежам оборудования, монтажниками – неукоснительно точного монтажа – и в то же время готовить научную программу и создавать аппаратуру для будущих исследований. Это требовало большого напряжения сил небольшого тогда коллектива лаборатории во главе с ее руководством.

Проектирование главного корпуса ускорителя, корпуса электропитания, лабораторного, жилых домов, общежитий, гаража, котель-

ной, школы, пожарной части, административного и прочих зданий осуществлялось Ленинградским проектным институтом, руководимым очень опытным специалистом, прекрасно знающим дело Александром Ивановичем Тутовым. Ленинградцы проектировали, кстати, и наши коттеджи. Спроектировали «объект» и город они добротнo и красиво.

Прочнее бетона были люди

Начальником строительства всего «объекта» и городка был генерал Александр Павлович Лепилов (рис. 9) – крупный строитель, во время войны возводивший под Куйбышевом огромные корпуса для эвакуированных из Москвы и Ленинграда авиационных заводов.

Все строилось практически одновременно – главный, так называемый первый, корпус,



Рис. 8. Наум Абрамович Монозон



Рис. 8. Александр Павлович Лепилов

в котором размещался ускоритель, сам ускоритель, другие здания лаборатории и сам город.

На причал прибывали баржи с кирпичом, гравием, песком, лесом. Здесь же был один из “конечных пунктов” железной дороги, по которой тогда было разрешено пускать только грузовой транспорт. А вторая “станция” этой дороги позднее, к концу 1948 г., была прямо в главном корпусе. Строительство и монтаж шли буквально “с колес”.

Огороженная колючей проволокой вся территория “объекта” делилась на две части: в одной – лагерь, в другой – мы, люди “свободного труда”. Ситуация была нетривиальная: довольно просто было оказаться “по ту сторону” проволоки, среди заключенных, никуда не пришлось бы далеко ехать.

Народ сюда присылали очень квалифицированный, случайных людей среди нас не было. Контроль за строительством “объекта” осуществлял так называемый уполномоченный Совмина, который являлся сотрудником бериевского ведомства. Он по долгу службы регулярно сообщал в соответствующие инстан-

ции о состоянии наших дел, о возникавших различного рода осложнениях, отступлениях от графика и обо всем прочем, что считал нужным. В общем, все мы здесь были “под колпаком”.

Сооружение “объекта” в целом курировал заместитель министра, он же начальник Спецуправления Минэлектропрома Константин Назарович Мецерыков. В начале 1949 г. магнит весом в 7 тысяч тонн вместе с обмотками возбуждения был собран – всего за три месяца! В то время Константин Назарович практически ни разу не выезжал в Москву, жил здесь, в маленькой гостинице на Парковой (сейчас это улица Векслера).

В начале 1949 г. строители передали нам лабораторный корпус, научные сотрудники уже могли разместиться в нем со своей аппаратурой. Начал регулярно работать лабораторный научный семинар, которым руководил М.Г. Мецерыков. В энергетическом корпусе к середине года заканчивался монтаж оборудования.

И строительство городка шло довольно быстрыми темпами. Очень быстро возвели го-

стину, дома и общежития на Центральной (теперь это улица Жюлио-Кюри), коттеджи на Парковой были готовы в начале 1949 г. Сначала же большинство вновь прибывавших оставалось «на постой» в коттедже на Трудовой. Так что в каком-то смысле это мемориальный дом, а тогда его хозяином был один из первопроходцев, инженер-строитель нашей лаборатории Федор Глебович Минеин.

Около 15 сборных домиков (с небольшими земельными участками) было построено в районе нынешней улицы Сахарова для рабочих котельной, мастерских, шоферов.

Работа повсюду шла почти круглосуточно. Место – болотистое, нужно было проложить дренажную систему, вырыть огромное количество траншей для подземных коммуникаций. А какая в то время была механизация? В основном тачки.

Нашу лабораторию по соображениям секретности называли... Гидротехнической. Это было совершенно закрытое до 1954 г. учреждение (мы не печатали в журналах ни одной научной работы), и когда американцы, кажется в начале 1955 г., впервые приехали сюда, то были поражены: их ускоритель в Беркли был меньше нашего!

В 1956 г., когда был создан ОИЯИ и я был избран директором Лаборатории ядерных проблем, уже был построен красивый город, а наш ускоритель более 6 лет выдавал научную продукцию. И сколько раз вспоминалось, как начинали строить на болоте, в глухом лесу, за колючей проволокой, как много критических, почти трагических моментов пришлось тогда пережить!

Шло сооружение перекрытия над главным корпусом. Сложная и опасная работа. Вдоль железных ферм, удерживающих потолок, делалась деревянная опалубка, куда заливался бетон. Заливка должна была быть непрерывной, чтобы обеспечить плотность по всему объему фермы. Вдруг обнаружилось, что в процессе заливки бетоном первой фермы она начала прогибаться (ведь ее длина – 40 метров, и никаких подпорок нет). Стрела прогиба в какой-то момент достигла 20 сантиметров! М.Г. Мещерякова на «объекте» не было – Лепилов пригласил меня к себе: «Надо срочно вызывать проектировщиков!» Пригласили главного инженера Промстройпроекта профессора Стрелецкого, который обнаружил, что при расчетах не было в достаточной мере учтено, что жидкий бетон только нагружает ферму – еще не застыв-

ший бетон прочности не дает. Как быть дальше? Кому докладывать? Не сообщать же об этом уполномоченному Совмина! Стрелецкий просидел за расчетами ночь и принял решение продолжать заливку бетона на первой ферме – пошел на риск. Прогиб составил 35 сантиметров, но ферма все-таки выдержала. А кто сможет гарантировать, что ни одна из 11 оставшихся не окажется хуже первой? К счастью, организация, изготавливавшая фермы, работала с достаточно высоким качеством. В этом мы все убедились, но при заливке каждой следующей фермы были переживания.

Помню еще один тяжелый момент. При сооружении главного корпуса возник пожар на крыше – искра от сварки попала на небрежно брошенную куртку, та вспыхнула, а рядом – доски для опалубки и только что залитая бетоном очередная ферма в деревянной обшивке. Представляете ситуацию? Здание под 40 метров высотой – как туда подать воду? «Пожарка» только строилась. Была одна-единственная машина с лестницей максимум метров в шесть... Зима, к тому же сильный ветер. Подняли по тревоге лагерь. Генерал Лепилов обратился к заключенным: «Прошу вас, братцы, не пощадите жизни – погасите пожар!» И люди, как кошки, начали карабкаться наверх по лестницам-временкам и чем попало гасить огонь: телогрейками, появившимися неведь откуда полотнищами теплоизоляции, водой, которую удалось поднять наверх подъемниками. Слава богу, огонь погасили и никто не погиб, но, конечно, обожженные были.

“Овес” будет, но не сразу...

Я уже говорил, что все тогда делалось одновременно, по генеральному совмещенному графику: сооружался ускоритель, строилась лаборатория, рос город...

Главный инженер нашей лаборатории Алексей Владимирович Честной тесно взаимодействовал с монтажными организациями, его служба вела огромную работу по контролю и наладке оборудования, радиотехнических и других систем... Шло изготовление аппаратуры для работы с пучками частиц на ускорителе. Мне часто приходилось бывать на “Электросиле”, в КБ Д.В. Ефремова, в лаборатории у А.Л. Минца, дважды был в Харькове, где у К.Д. Синельникова в ХФТИ делались главные высоковакуумные насосы для откачки камеры ускорителя (ее объем составлял 33 кубометра, необхо-



Рис. 9. Борис Львович Ванников

димый вакуум – миллионные доли миллиметра ртутного столба).

...Летом 1949 г. мне позвонил И.В. Курчатов и сказал, что нужно будет сделать на заседании Научно-технического совета ПГУ доклад о программе научных исследований на синхроциклотроне. М.Г. Мещеряков в то время был в командировке на “востоке”. Поэтому делать доклад надо было мне.

...Заседание вел Борис Львович Ванников (рис. 9). Он был тогда начальником ПГУ – Первого главного управления при Совете Министров СССР (позднее Средмаш), которому подчинялись все ядерные объекты. В президиуме кроме него и Курчатова сидел еще М.Г. Первухин (зам. Ванникова), министр химической промышленности...

Вдоль длинного, метров в двадцать, стола – генералы и академики, за ними директора и представители научных институтов, проектных организаций, ответственные работни-

ки министерств и, конечно, из “всемогущего ведомства”.

Ванников спрашивает:

– Кто докладывает?

Игорь Васильевич назвал мою фамилию. А я сидел на другом конце стола – из президиума не разглядеть.

– Джелепов есть?

– Есть!

– Сколько тебе нужно времени на доклад?

(Обращение к “подчиненным” на “ты” было тогда общепринятым.)

– Сколько дадите, но минут 30–40, не меньше...

Тогда не было никаких слайдов, я заранее развесил плакаты, начинаю докладывать, что наш ускоритель предназначен для чисто фундаментальных исследований в области физики высоких энергий – изучения взаимодействия нуклонов (протонов и нейтронов) между собой, а также их взаимодействия с атомными ядрами. Будет изучаться также рождение π -мезонов нуклонами высоких энергий, их взаимодействие с нуклонами и ядрами и т. д. Говорю, что ученые многое знают о взаимодействиях нуклонов с нуклонами и ядрами при низких энергиях и это помогло сделать атомные реакторы и изготовить атомное оружие, а вот как поведут себя частицы и ядра при высоких энергиях, надо еще изучать...

Вдруг Ванников встает и говорит:

– Товарищ Джелепов, что ты нам хреновину тут рассказываешь? Скажи, “овес” из этого будет?

(А тогда под “овсом” подразумевались те проблемы, которые надо было решать для создания ядерного оружия.)

Отвечаю:

– В вашем понимании, Борис Львович, “овса” в ближайшее время не будет. Но в дальнейшем то, что мы собираемся изучать, может оказаться полезным для самых различных целей.

Ванников обращается к Курчатову:

– Игорь Васильевич! Для чего мы все-таки строим этот ускоритель? И.В. молчит, будто не к нему вопрос относится. Ванников задает его вторично. Курчатов не отвечает. Поднимается Алиханов:

– Позвольте, я скажу. Все, что докладывает Джелепов, правильно. То, что ученые в свое время изучили соответствующие ядерные процессы при низких энергиях частиц, позволило, когда потребовалось, создать атомное оружие,

и таким образом задачи, поставленные перед нами и перед вами правительством, мы решили. А вот когда через некоторое время вам потребуется решить какую-то иную задачу и вы нас спросите, как это сделать, то мы ответим, что, к сожалению, у нас нет ускорителя, с помощью которого можно получать необходимое новое знание. И мы не сможем вам помочь. Упрямый Ванников снова обращается к Курчатову:

– Игорь Васильевич, как же так?

Курчатов поднялся, погладил свою бороду сверху вниз и сказал:

– Вот так, Борис Львович! Все, что говорили Джелепов и Алиханов, правильно. Ускоритель уже построен, мы собираемся осенью его запускать. Джелепов сейчас расскажет нам, какие исследования они планируют выполнять на этом ускорителе, как и какая аппаратура готовится. Наша задача – выслушать его, и если все разумно, то одобрить и утвердить программу.

После этого Ванников успокоился и я смог продолжить доклад. Изложил всю программу, рассказал, какую аппаратуру мы уже сделали, что на ней в первую очередь будет изучаться, какие институты, кроме нашей лаборатории, собираются работать на ускорителе – ведь Курчатов создавал эту лабораторию как национальную. Сообщил и о том, что программа обсуждалась с теоретиками и таким образом обеспечен соответствующий уровень понимания и постановки задач.

Начали задавать вопросы – я ответил на них. Потом Ванников дал слово академикам, директорам институтов, ученым – тем, кто собирался использовать ускоритель. Выступили Л.Д. Ландау, И.Я. Померанчук, Л.А. Арцимович. Они подтвердили правильность наших подходов к решению намечаемых задач. Заключение сделал Курчатов. Было принято решение, одобрявшее программу.

После заседания я вернулся в институт, дождался И.В. и спросил его:

– Как же так получилось, что Ванников как будто ничего не знал или ничего не понял? Игорь Васильевич улыбнулся:

– Ванников хорошо знает, что нужно для бомбы, а какие-то новые проблемы фундаментальной науки ему неизвестны и непонятны. Но ты держался хорошо!

Вот какой своеобразный экзамен выдержал я тогда перед министерским начальством...

Все, о чем я здесь рассказал, было только прологом к эпопее, которая вместила в себя множество событий. Главное было впереди – сборка в целом, наладка и пуск нашего ускорителя – первенца Дубны, города, который еще не появился на картах...

Краткая история Лаборатории ядерных проблем

В ночь на 14 декабря 1949 г. на синхротроне были ускорены дейтроны до энергии 280 МэВ, затем α -частицы до 560 МэВ и позднее протоны до 480 МэВ.

В 1951 г. за создание ускорителя руководители этих работ и сотрудники, внесшие в них значительный вклад, были удостоены Государственной (Сталинской) премии СССР.

Систематические физические исследования начались практически сразу после пуска ускорителя. Ввод в действие пятиметрового синхротрона и начало исследований на нем знаменовали собой рождение в нашей стране новой области ядерной физики – высоких энергий.

Лаборатория начала быстро пополняться научными кадрами. Особенно ценным явилось прибытие на работу в ГТЛ в 1950 г. выдающегося итальянского физика профессора (в будущем академика АН СССР) Б.М. Понтекорво. В том же году начал работать в лаборатории известный ученый М.С. Козодаев. Еженедельно приезжали из Москвы на научные семинары лаборатории с лекциями и для обсуждения программ и результатов экспериментов крупные теоретики И.Я. Померанчук, Я.А. Смородинский, А.Б. Мигдал и Б.Т. Гейликман. Они же осуществляли руководство молодыми теоретиками лаборатории (Л.И. Лапидус, В.Г. Соловьев, Б.М. Барбашов, Н.А. Черников, С.М. Биленький, Р.М. Рындин). Все это значительно усилило научный потенциал лаборатории. В конце 1953 г. после существенной реконструкции синхротрона (увеличения диаметра полюсов магнита до шести метров и замены ряда других узлов) на ускорителе были получены протоны с энергией 680 МэВ и создана серия каналов пучков протонов, нейтронов и пионов.

В 1953 г. за полученные на ускорителе важные научные результаты значительная группа ученых лаборатории была удостоена Государственной премии СССР.

В том же году наш филиал приобрел статус самостоятельного института, получившего

название Институт ядерных проблем (ИЯП) АН СССР.

В 1956 г. при организации Объединенного института ядерных исследований созданная на основе ИЯП АН СССР Лаборатория ядерных проблем (ЛЯП) с действующим синхроциклотроном стала первой базой для научных исследований по современной физике интернационального коллектива стран-участниц ОИЯИ.

Наличие в лаборатории действующего ускорителя и значительного числа физиков, успешно ведущих в течение ряда лет исследования на нем в новой области ядерной физики, сразу же привлекло к лаборатории внимание ученых из всех стран, ставших участницами ОИЯИ.

В результате уже в начале 1960-х гг. число иностранных специалистов, работавших в ЛЯП, достигло 70–80 человек, а в 1970–1980-х гг., когда лаборатория развернула исследования еще и на ускорителе на энергию 70 ГэВ в Серпухове, количество их составило 150–170 человек. В те годы в ЛЯП работала примерно треть всех иностранных специалистов ОИЯИ, не считая значительного количества сотрудников из Грузии, Азербайджана, Армении и республик Средней Азии, которые являлись тогда гражданами СССР. В 1960–1970-х гг. штат лаборатории увеличился почти в три раза по сравнению с 1956 г.

Важной задачей руководства лаборатории и отделов явилась разработка программы исследований, которая бы учитывала интересы как уже работавших, так и приехавших в лабораторию из стран-участниц сотрудников, а также расширение программы в соответствии с возникающими возможностями проведения качественно новых исследований на ускорителях, дававших частицы во много раз больших энергий. Другой, не менее сложной задачей являлась сама реализация намечаемых программ.

Прежде всего нужно было увеличить темп и количество исследований, выполняемых на собственном ускорителе. Это требовало придания ускорителю новых качеств: повышения тока ускоренного пучка, создания новых пучков, повышения надежности работы ускорителя.

Большими достижениями лаборатории явились увеличение почти в десять раз тока ускоренного пучка протонов синхроциклотрона (с 0,25 мкА в 1956 г. до 2,3 мкА в 1962 г. (руководители В.И. Данилов, А.А. Глазов)) и использование разработанной В.П. Дмитриев-

ским системы вывода пучка из ускорителя с эффективностью 5 %, обеспечившей резкое увеличение интенсивностей пучков вторичных частиц, получаемых от внешних мишеней.

Возможности для проведения различных экспериментов были существенно расширены благодаря созданию новых пучков поляризованных протонов и нейтронов, $\pi^\pm$ -мезонов и, в особенности, $\mu^\pm$ -мезонов различных энергий, получаемых от распада пионов в 15-метровом жесткофокусирующем канале из магнитных линз (руководители Б.И. Замолотчиков, А.А. Кропин, В.С. Роганов).

В результате синхроциклотрон начал регулярно работать на физический эксперимент не по 3,5 тыс. часов в год, как было в 1956 г., а по 6–6,5 тыс. часов и, по общему признанию, стал лучшим синхроциклотроном в мире. Это позволило выполнить на нем очень большой комплекс исследований по физике элементарных частиц и атомного ядра и получить много новых научных результатов, в том числе самой высокой научной значимости. Среди них тринадцать открытий новых явлений, зарегистрированных в Государственном реестре открытий СССР [1].

Медицинский протонный пучок

Работы по формированию терапевтического протонного пучка в ОИЯИ велись с конца 1965 года сотрудниками Лаборатории ядерных проблем под руководством Венедикта Петровича Желепова, Владимира Ивановича Комарова и Олега Васильевича Савченко (рис. 10)

В конце 1965 г. и в начале 1966 г. в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ были проведены предварительные эксперименты [2] по

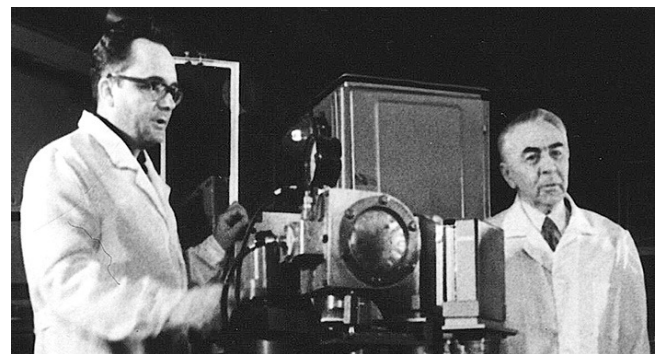


Рис. 10. О.В. Савченко и В.П. Желепов на медицинском пучке ЛЯП ОИЯИ

выяснению возможности получения протонных пучков с энергией от 100 до 200 МэВ путем торможения в подходящем веществе выведенного из ускорителя протонного пучка с энергией 670 МэВ. Результаты этих экспериментов оказались обнадеживающими, и в дальнейшем с целью создания наиболее благоприятных условий для проведения в Лаборатории ядерных проблем медико-биологических исследований было предположено [3] вывести заторможенный пучок протонов в изолированное экспериментально-клиническое помещение, расположенное за надежной бетонной защитой, а для увеличения интенсивности протонного пучка в месте расположения облучаемого объекта на пути транспортировки пучка установить фокусирующий канал из ряда магнитных квадрупольных линз совместно с вакуумопроводом.

Абсолютные величины полного потока и плотности потока были измерены несколькими методами, результаты которых совпали в пределах 10 % [4]. При энергии протонов 185 МэВ полный поток и максимальная плотность потока составляли, соответственно, около 10^9 с^{-1} и $5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Временная структура выведенного протонного пучка [5] характеризовалась наличием сгустков частиц, имевших длительность 160 мкс и следовавших друг за другом через каждые 8 мс.

Впервые в Советском Союзе такой терапевтический протонный пучок с энергией до 200 МэВ был получен на синхроциклотроне в апреле 1967 г. Пучок выводился в специализированное процедурное помещение, пристроенное к корпусу синхроциклотрона ЛЯП, где было размещено ротационное кресло для фиксации пациента (рис. 11), дозиметрическое, юстировочное и другое вспомогательное оборудование, предназначенное для контроля облучения пациентов.

В декабре 1967 г. на протонном пучке ЛЯП ОИЯИ был облучен первый в Советском Союзе пациент. Медицинское сопровождение облучения осуществляли радиационные онкологи из Института экспериментальной и клинической онкологии АМН СССР (ныне НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина) А.И. Рудерман, Б.В. Астрахан, М.Ш. Вайнберг и Р.Ф. Саламов.

Этот начальный период развития протонной терапии в ЛЯП ОИЯИ продолжался до 1974 г. С 1968 г. по 1974 г. на этом медицинском протонном пучке была проведена лучевая терапия 84 больным злокачественными опухо-

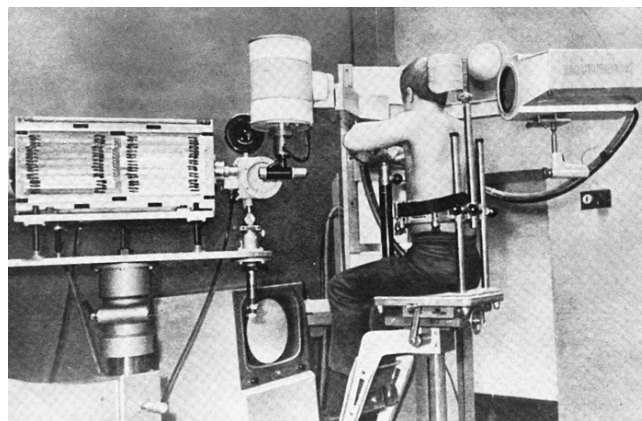


Рис. 11. Фотография пациента, зафиксированного в ротационном кресле перед сеансом облучения (1968 г.)

лями различных локализаций [6, 7]. С 1974 г. началась реконструкция ускорителя, закончившаяся только в 1984 г. Еще в 1968 г. был разработан проект реконструкции синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ в сильноточный фазотрон с пространственной вариацией магнитного поля (установка «Ф»). Проектом предусматривалось увеличение внутреннего тока пучка и рост интенсивности выведенного протонного пучка в 100–200 раз. Под руководством В.П. Джелепова, В.П. Дмитриевского и Л.М. Онищенко в основном силами этого отдела и НИИЭ-ФА был создан рабочий проект нового ускорителя – сильноточного фазотрона (рис. 12) со спиральной вариацией магнитного поля на энергию протонов 680 МэВ.

Сооружение его и наладка были закончены в 1984 г. С конца 1984 г. он успешно работа-



Рис. 12. Фазотрон Лаборатории ядерных проблем

ет на физику частиц и атомного ядра, а также используется для прикладных исследований. Параметры пучков нового ускорителя и его надежность существенно превосходят возможности бывшего синхроциклотрона, проработавшего 30 лет и полностью исчерпавшего свой ресурс.

При сооружении фазотрона был построен ряд новых павильонов и зданий, в том числе сооружен павильон с шестикабинным комплексом медицинских пучков для лечения онкологических больных.

Многокабинный медико-технический комплекс

Для выполнения намеченной программы работ в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ к концу 1985 г. было завершено создание многокабинного медико-технического комплекса (МТК) [8, 9], который включал в себя: пять протонных каналов медицинского назначения для облучения опухолей различной локализации широкими и узкими протонными пучками в диапазоне энергии от 70 до 660 МэВ; медицинский π -мезонный канал для лучевой терапии интенсивными пучками отрицательных π -мезонов с энергиями от 30 до 80 МэВ; канал нейтронов медицинского назначения (средняя энергия нейтронов в пучке около 350 МэВ) для облучения больших радиорезистентных опухолей; терапевтическую гамма-установку для использования в качестве резервного источника излучения, а также для проведения дистанционной гамма-терапии при сочетанных мето-

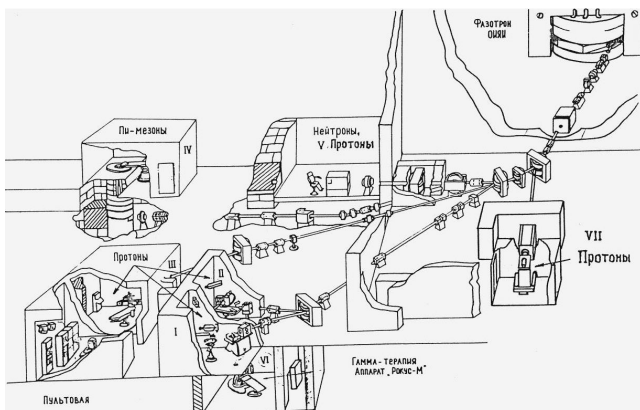


Рис. 13. Общий вид многокабинного комплекса для адронной терапии на фазотроне ОИЯИ после завершения его реконструкции

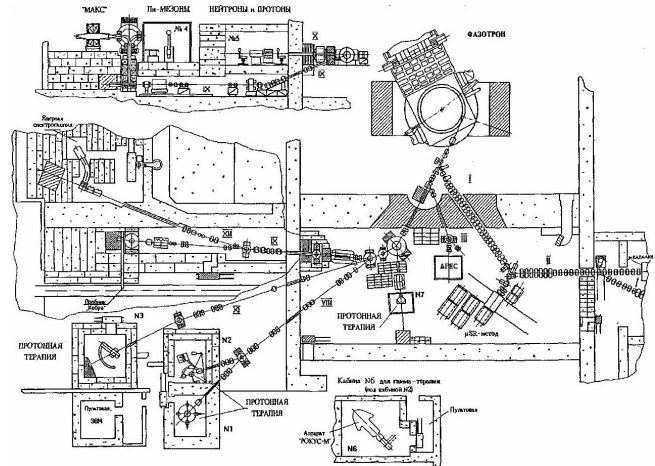


Рис. 14. Схема разводки пучков фазотрона ОИЯИ после завершения его реконструкции (пояснения в тексте)

дах облучения. Общий вид многокабинного медико-технического комплекса и схема разводки пучков фазотрона показаны на рис. 13.

Для формирования широких (диаметром 3–6 см) протонных пучков с энергиями 100, 130, и 200 МэВ и их разводки в кабины № 1 и 2 используется канал VIII [10, 11]. Этот канал позволял также формировать в кабине № 1 диагностический (диаметром около 3 мм) протонный пучок с энергией 660 МэВ для протонной томографии [12, 13]. Канал XI предназначен для формирования в кабине № 3 узкого протонного пучка с энергией 660 МэВ [14].

Для получения медицинского π -мезонного пучка выведенные из ускорителя протоны транспортируются по каналу IX к широкоугольной магнитной линзе, которая фокусирует образовавшиеся в мишени отрицательные π -мезоны вертикально вверх, в кабину № 4 [15, 16]. Канал X служит для формирования терапевтического нейтронного пучка в кабине № 5 [17, 18], а также широкого протонного пучка с диаметром поля облучения до 21 см. С помощью канала VII формируется узкий пучок в диапазоне энергий от 70 до 100 МэВ (рис. 14).

К началу 1987 г. была проведена наладка всех каналов транспортировки пучков и получены все необходимые физико-дозиметрические характеристики медицинских пучков. В 1987–1989 гг. выполнены радиобиологические эксперименты на пучках протонов и нейтронов высоких энергий и начаты клинические исследования по облучению больных (совместно с РОНЦ РАМН) на протонных пучках с использо-

ванием разработанных методик формирования дозных полей, ротационно-сканирующего облучения глубоко залегающих опухолей. В этот период также было разработано и создано уникальное оборудование, такое как полномасштабный позитронно-эмиссионный томограф, совмещенный с терапевтическим креслом рентгеновский компьютерный томограф для проведения топометрии пациента в положении сидя и протонный томограф, позволяющий получить топометрическую информацию в единицах пробега протонного пучка в тканях.

Новый этап развития протонной терапии в ОИЯИ наступил в 1999 г., когда благодаря настойчивости и усилиям Венедикта Петровича Джелепова было открыто специализированное радиологическое отделение на 25 коек в Медико-санитарной части № 9 в Дубне, что позволило проводить сеансы протонной лучевой терапии на регулярной основе. Одновременно было принято решение сконцентрировать основные усилия на работах в 1-й процедурной кабине МТК, как наиболее универсальной с точки зрения возможности проведения протонной терапии наиболее широкого круга локализаций опухолей. Эта кабина была переоборудована в соответствии с требованиями реализации в ней техники трехмерного конформного протонного облучения глубоко залегающих опухолей.

В результате сотрудничества с первым в мире специализированным госпитальным центром протонной терапии в г. Лома-Линда (США), разработанная в этом центре трехмерная компьютерная система планирования протонного облучения TPN была адаптирована к оборудованию и протонным пучкам фазотрона. После проведения ряда дозиметрических исследований эта система с успехом использовалась в МТК в регулярных сеансах протонной терапии. Методика трехмерной конформной терапии пучками протонов на фазотроне ЛЯП ОИЯИ была реализована в России впервые. Научное руководство этими работами в то время осуществлял Медицинский радиологический научный центр РАМН в Обнинске.

С 2000 по 2019 гг. в МТК ОИЯИ курс фракционированной протонной лучевой терапии прошли более 1300 пациентов. На сегодняшний день в МТК ОИЯИ регулярно проводятся сеансы протонной терапии с пропускной способностью до 100 пациентов и продолжительностью 26–28 нед в год.

Более подробно о адронной терапии на синхроциклотроне и фазотроне Лаборатории ядерных проблем описано в литературе [19–21].

Заключение

Тематика физических исследований Лаборатории ядерных проблем охватывает область как промежуточных, так и высоких энергий.

ЛЯП – вторая по величине лаборатория ОИЯИ. Ее штат составляет 615 сотрудников. Результаты научных исследований Лаборатории, 15 научных открытий, зарегистрированных в Государственном реестре Советского Союза, более 100 раз были удостоены премий Объединенного института ядерных исследований. В ЛЯП было защищено более 105 докторских и более 360 кандидатских диссертаций сотрудниками из всех стран-участниц ОИЯИ. Многие из воспитанников лаборатории ныне возглавляют крупные коллективы ученых в различных институтах и лабораториях России и других стран – участниц ОИЯИ.

На синхроциклотроне впервые в мире были получены заряженные частицы с энергиями дейтронов 280 МэВ, протонов — 490 МэВ, α -частиц — 560 МэВ, что превосходило характеристики существовавших в тот период зарубежных ускорителей. Это позволило выполнить уникальные экспериментальные исследования мирового уровня, представляющие серьезный вклад в фундаментальную и прикладную ядерную науку, что делает Лабораторию ядерных проблем по праву одним из лучших научных центров в мире.

Создание синхроциклотрона было бы невозможным без развития отечественной науки и техники в предвоенные годы, без достижения высокого научного потенциала ядерной физики, наличия талантливых ученых и высококвалифицированных коллективов специалистов.

52-летний период развития прикладной программы по протонной терапии на фазотроне ОИЯИ характеризуется следующими основными результатами. В 1967 г. впервые в СССР (ныне СНГ) на синхроциклотроне 680 МэВ Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ был создан медицинский протонный пучок с необходимыми параметрами, большим комплексом аппаратуры и экспериментально-клиническими помещениями. На этом пучке в декабре 1967 г. впервые в СССР после серии ра-

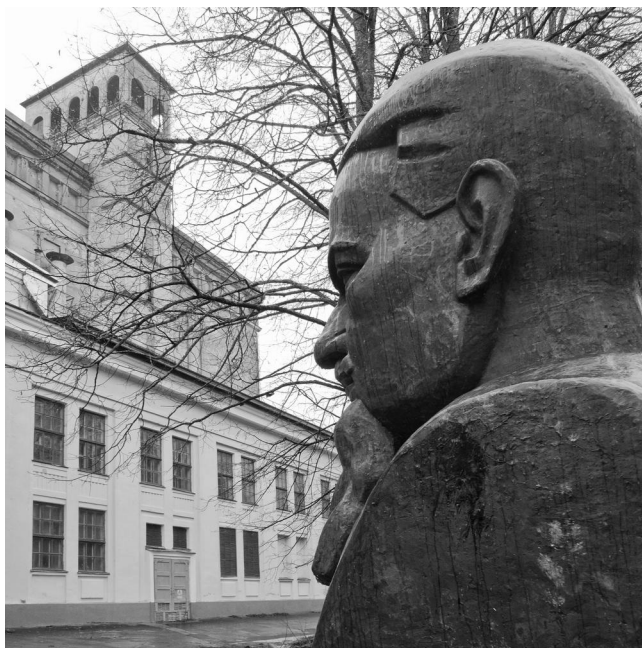


Рис. 15. Памятник И.В.Курчатову у первого корпуса (здание фазотрона) Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова ОИЯИ. На постаменте закреплена табличка с надписью “Здесь начиналась научная ДУБНА”

диобиологических экспериментов было начато клиническое облучение онкологических больных с различными локализациями опухолей. Впервые в мировой практике на медицинском протонном пучке ЛЯП ОИЯИ был разработан и применен метод непрерывного ротационного облучения глубоко расположенных опухолей с автоматическим удержанием пика Брэгга в пределах очага поражения (мишени). Впервые в СССР на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на основе широкоугольной магнитной соленоидальной линзы в 1974 г. был создан высокоинтенсивный пучок отрицательных пи-мезонов для проведения медико-биологических и клинических исследований.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на базе реконструированного синхроциклотрона (фазотрона с пространственной вариацией магнитного поля) создан многокабинный медико-технический комплекс, на котором обеспечена возможность лечения онкологических больных на широких и узких пучках протонов, отрицательных пи-мезонов и нейтронов высоких энергий, а также сочетанного лечения на этих пучках. Впервые на одном ускорителе по-

лучен такой набор медицинских пучков тяжелых ядерных частиц. Для лечения больных на медицинских пучках фазотрона разработаны и успешно применяются в клинике оригинальные методики и техника формирования дозных полей, новые способы реконструктивной рентгеновской и протонной томографии.

Впервые в России в медико-техническом комплексе ЛЯП ОИЯИ разработан и применен метод трехмерной конформной протонной терапии, в которой максимум сформированного дозного распределения наиболее точно совпадает с формой мишени. Для обеспечения гарантии качества такой прецизионной протонной терапии разработана система контроля профилей и пробега протонного пучка, функционирующая в реальном масштабе времени.

В завершение статьи авторы хотели бы поздравить с юбилеем всех ветеранов и сотрудников Лаборатории ядерных проблем, кто внес свой вклад в работу ускорителя и его модернизацию, физиков проводивших эксперименты на ускорителе, и получивших важные результаты и сделавших оригинальные открытия.

Редколлегия и редакционный совет журнала “Медицинская физика” присоединяется к этим поздравлениям.

Список литературы

1. История создания синхроциклотрона ОИЯИ (в документах и воспоминаниях). Под общей ред. Русаковича Н.А. – Дубна, ОИЯИ, 2014.
2. Василевский И.М., Комаров В.И., Савченко О.В. Формирование пучка протонов с энергией 100–200 МэВ для изучения возможности использования протонов в лучевой терапии онкологических больных и предварительные результаты дозиметрии. Публикация ОИЯИ, Б1-2749, Дубна, 1966.
3. Савченко О.В. Проект экспериментально-клинического помещения и фокусирующего протонного канала в корпусе синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ для проведения медико-биологических исследований. Публикация ОИЯИ, Б1-2748, Дубна, 1966.
4. Джелепов В.П., Комаров В.И., Савченко О.В. Вывод протонного пучка синхроциклотрона с энергией 100–200 МэВ для медико-биологических исследований. Препринт

- ОИЯИ, 16-3491, Дубна, 1967 // Медицинская радиология. 1969. Т. 14. № 4. С. 54.
5. Зинов В.Г., Медведь С.В., Озеров Е.Б. Препринт ОИЯИ, Р-2657, Дубна, 1966.
6. Протонные пучки высоких энергий и лучевая терапия злокачественных опухолей. Под ред. Дзелепова В.П., Рудермана А.И. ОИЯИ, 9035, Дубна, 1975.
7. Абазов В.М., Дзелепов В.П., Кузьмин Е.С. и соавт. Получение и использование медицинских протонного и пи-мезонного пучков в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и перспективы дальнейших работ. Сообщение ОИЯИ, Д-8883, Дубна, 1975.
8. Дзелепов В.П., Савченко О.В., Астрахан Б.В., Рудерман А.И. Шестикабинный клиничко-физический комплекс // Медицинская радиология. 1987. Т. 32. № 8. С. 81.
9. Абазов В.М., Андреев Г.А., Астрахан Б.В. и соавт. Шестикабинный клиничко-физический комплекс Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ для лучевой терапии пучками протонов, отрицательных пи-мезонов и нейтронов. Сообщение ОИЯИ, 18-90-496, Дубна, 1990.
10. Абазов В.М., Густов С.А., Зорин В.П. Получение и исследование терапевтических протонных пучков на реконструированном фазотроне // Медицинская радиология. 1988. Т. 33. № 1. С. 67.
11. Абазов В.М., Астрахан Б.В., Зорин В.П. и соавт. Получение и исследование физико-дозиметрических характеристик медицинского протонного пучка со средней энергией 100 МэВ с модифицированной формой кривой Брэгга. Сообщение ОИЯИ, 9-87-281, Дубна, 1987.
12. Абазов В.М., Астрахан Б.В., Зорин В.П. и соавт. Формирование узкого протонного пучка для диагностических целей и аппаратура для реконструктивной протонной томографии. Сообщение ОИЯИ, 18-88-207, Дубна, 1988.
13. Алексеев Г.И., Зорин В.П., Иванов И.А. и соавт. Протонный томограф для комплекса протонно-лучевой терапии. Сообщение ОИЯИ, 18-91-435, Дубна, 1991.
14. Зорин В.П., Кутузов С.А., Мирохин И.В. и соавт. Получение и исследование узких пучков протонов с энергией 660 МэВ для лучевой терапии. Сообщение ОИЯИ, 9-87-840, Дубна, 1987.
15. Абазов В.М., Брагин А.Н., Густов С.А. и соавт. Транспортировка выведенного протонного пучка фазотрона к мишени широкоугольной π -мезонной линзы. Сообщение ОИЯИ, 9-90-64, Дубна, 1990.
16. Абазов А.М., Брагин А.Н., Густов С.А. и соавт. Получение и исследование мезонных пучков высокой интенсивности для медико-биологических и физических исследований на фазотроне ОИЯИ. (Состав мезонных пучков). Сообщение ОИЯИ, 9-90-69, Дубна, 1990.
17. Абазов В.М., Густов С.А., Климов О.Л. и соавт. Фазовые параметры выведенного протонного пучка фазотрона ОИЯИ. Сообщение ОИЯИ, 9-88-214, Дубна, 1988.
18. Абазов В.М., Густов С.А., Зельчинский М. и соавт. Получение и исследование терапевтического пучка нейтронов высоких энергий на фазотроне ЛЯП ОИЯИ. Сообщение ОИЯИ, 18-88-392, Дубна, 1988.
19. Савченко О.В. 40 лет протонной терапии синхроциклотроне и фазотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Сообщение ОИЯИ, Р9-2007-85, Дубна. 2007.
20. Савченко О.В. 40 лет протонной терапии синхроциклотроне и фазотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований // Медицинская физика. 2007. № 3(35). С. 60–67; № 4(36). С. 53–63; 2008. № 2(38). С. 110–120.
21. Агапов А.В., Гаевский В.Н., Лучин Е.И. и соавт. 50 лет со дня облучения первого пациента протонным пучком в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) // Медицинская физика. 2017. № 4(76). С. 121–125.