

15.3. Создание нового направления мощных импульсных линейных ускорителей электронов

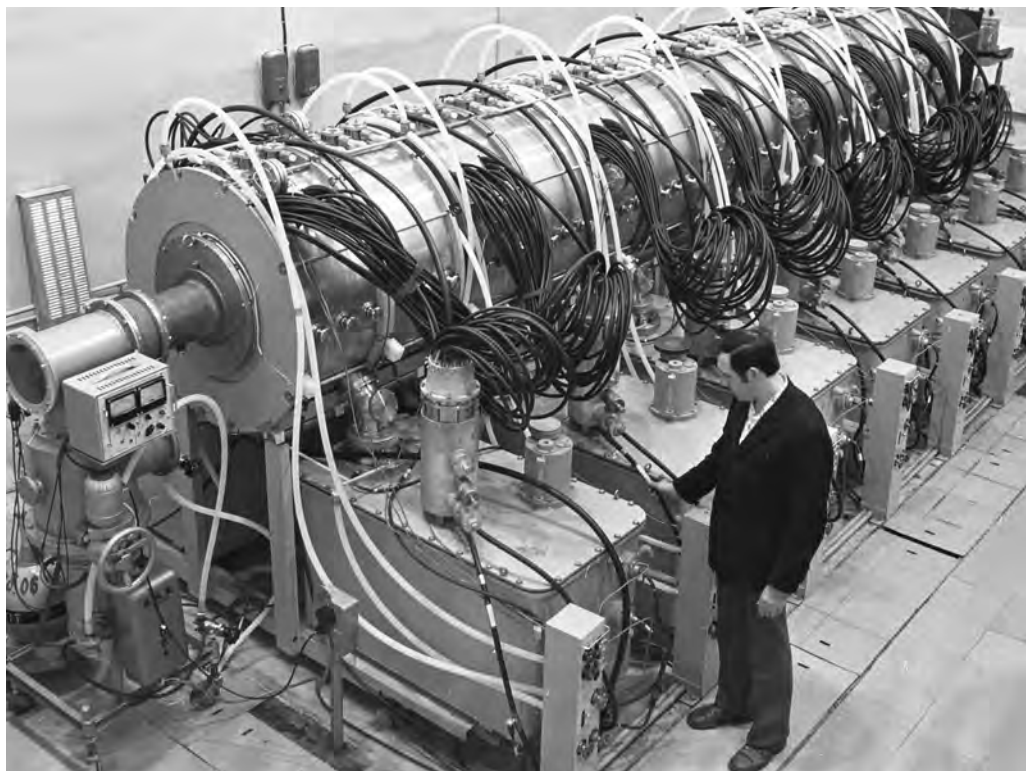
В этой главе я изредка касался деятельности Валерия Семеновича Босамыкина, когда это было как-то связано с разработкой линейных ускорителей электронов. В. С. был явно неординарной личностью. Почти 30 лет проработал я совместно или по одному направлению с В. С. – будущим лауреатом Ленинской премии, кандидатом физико-математических наук, с которым познакомился в 1963 году, когда он прибыл во ВНИИЭФ из МИФИ для прохождения преддипломной практики и защиты дипломной работы. Он был принят на работу в физическое отделение практикантом в исследовательскую группу, которой руководил я. Он сразу проявил большой интерес к решаемым задачам, задавал нетривиальные вопросы, удивил нас не типичным для студента-дипломника мышлением.

В 1964 году В. С. был назначен на должность инженера, и с этого времени вся его научная деятельность была связана в значительной мере с разработкой безжелезных линейных импульсных ускорителей (ЛИУ) и применением их для исследований и испытаний на стойкость новых приборов и оборудования. В. С. проявил высокий энтузиазм и огромную работоспособность. Приходил на работу, как правило, и в субботу, и воскресенье и, конечно, дома продолжал осмысливать научные идеи. Нередко в физических процессах он выявлял такие тонкие нюансы, о которых никто не догадывался. Ряд оригинальных технических решений лег в основу разработки первого в мире безжелезного линейного ускорителя электронов ЛИУ-2.

В 1974 году В. С. возглавил группу по созданию нового технического типа мощных линейных ускорителей электронов на основе линий с водяной изоляцией, в первую очередь установки ЛИУ-10. В 1975 году группа была преобразована в лабораторию во главе с В. С. Коллектив лаборатории работал эффективно и производительно, в результате чего ускоритель ЛИУ-10 был сдан в эксплуатацию в 1977 году, на нем быстро получили расчетные параметры тормозного излучения, и он стал широко использоваться как облучательная установка, моделирующая воздействие короткоимпульсного гамма-излучения ядерного взрыва на изделия военной техники. И хотя было много сомневающихся в адекватности такого воздействия, В. С. активно пропагандировал на самых высоких уровнях эффективность и необходимость использования ЛИУ-10 для радиационных исследований и испытаний. Особо он доказывал полезность изучения воздействий комплексного гамма-нейтронного излучения и необходимость быстрого создания во ВНИИЭФ соответствующей



В. С. Босамыкин



Линейный ускоритель ЛИУ-10

щих комплексов. Затем такие комплексы были созданы, и правота В. С. подтвердилась. ВНИИЭФ имеет мировой приоритет в этой области.

К началу 1980-х годов В. С. уже стал родоначальником школы разработки методов расчета переходных процессов в секциях ЛИУ, экспериментальных исследований и испытаний на стойкость электронной техники и автоматики.

Валерий Семенович живо интересовался всеми новостями в области физики и стремился быстро разобраться в их сути. Он мог бы стать отличным профессором-педантом в вузе, так как доходчиво и научно-популярно объяснял сложные физические явления. Мог бы быть и великолепным историком, ибо глубоко интересовался и хорошо знал историю народов мира, имел богатейшую библиотеку, непрерывно пополняемую, и увлекательно рассказывал о непонятных моментах истории. Увлекался также происхождением русских фамилий. Мог по фамилии определить местность, где человек родился, чем занимались его предки, а по совокупности всех этих данных нарисовать довольно точно его психологический портрет. В. С. прекрасно знал историю джаза, имел большую коллекцию записей, мог часами слушать талантливых исполнителей. Не раз вел вечера в Доме ученых, посвященные джазу. Однажды я поехал с ним на автомашине на Ахтубу. В. С. захватил с собой наиболее любимые записи. В дороге и на берегу

реки он много слушал музыку, увлекательно объяснял мне ее отдельные нюансы. Обладая обширными знаниями и острым умом, В. С. выступал в команде КВН отделения.

В 1982 году В. С. был назначен начальником отдела, в 1987-м – заместителем начальника отделения, а в 1993-м – начальником физического отделения. По-видимому, став руководителем большого коллектива с разноплановой тематикой во времена очень неустойчивого финансирования и непонятной научно-технической политики со стороны государства, В. С. как-то растерялся, и все, кто общался с ним до его внезапной кончины в 1996 году, отмечали нередко его подавленное состояние.

Хотя В. С. прожил сравнительно немного, однако он внес значительный вклад в развитие нового направления в области мощных импульсных ускорителей и комплексов, электрофизических и ядерных установок, в выполненные на них научные исследования и решения задач прикладного характера, которые являются гордостью отечественной науки. Все это еще при жизни снискало Валерию Семеновичу в мировом научном сообществе заслуженный авторитет, которого он добился непрерывным целеустремленным трудом.

Из научных корифеев ВНИИЭФ особо запечатлелся Я. Б. Зельдович, его живая манера поведения, острый ум, энциклопедические знания. Он достаточно часто выступал с открытыми и закрытыми докладами по широкому кругу проблем на научных семинарах в физическом отделении. Все, кто присутствовал на них, обязательно получали новые знания даже по очень сложным явлениям, так как Яков Борисович первоначально рассказывал о них как бы научно-популярным языком, а затем излагал еще несколько раз, все усложняя и усложняя, привлекая физико-математический аппарат.

Своеобразной личностью являлся Леонид Иванович Сельченков, который после назначения А. И. Павловского в 1960 году начальником отдела стал его заместителем по общим, научным и инженерно-техническим вопросам и проработал в этой должности в течение 33 лет до внезапной смерти Павловского. По первым буквам имени, отчества и фамилии он имел прозвище ЛИС с намеком на хитрого зверя из народных сказок. Да и подпись его состояла только из этих трех четко выведенных букв. ЛИС действительно был непростой личностью.

Л. И. Сельченков родился в 1924 году в селе Троицкое Калужской области. С начала Великой Отечественной войны он в Красной Армии служил техником на знаменитом Сещинском аэродроме, затем попал в воздушно-десантные войска, участвовал в форсировании Днепра, победоносном наступлении на Карельском фронте против немцев и



Л. И. Сельченков

финнов, воевал в Венгрии, Австрии, войну закончил в звании старшего сержанта в Чехословакии. В конце войны служил, по его словам, в разного рода штабах и «носил шинель и полевую сумку Маршала Советского Союза К. А. Мерецкова». За участие в боевых действиях награжден орденом Красной Звезды, медалью «За отвагу» и после войны – орденом Отечественной войны II степени. Но больше всего он ценил полученный им на фронте значок «Отличный разведчик».

В 1946 году Л. И. поступил учиться на физический факультет МГУ, который закончил в 1952 году и был направлен на работу в КБ-11. Здесь он начал заниматься экспериментальной ядерной физикой, участвовал в определении констант для первой термоядерной бомбы. Затем ему поручили анализировать вместе с А. А. Лбовым продукты испытаний ядерных взрывов (в основном США), отбираемых из верхних слоев атмосферы и концентрируемых посредством фильтров, устанавливаемых на летающих самолетах. По радиоактивности и периодам полураспада выделенных продуктов можно было судить о делящихся материалах, используемых в заряде, и в какой-то степени о его конструкции. Такие же анализы делали и с поверхности грунта после взрывов отечественных зарядов с целью калибровки методик анализов. Для сбора информации ЛИС участвовал в полигонных испытаниях отечественных ядерных зарядов. По результатам этих исследований был составлен совместно с Ю. А. Зысиным и А. А. Лбовым и издан справочник «Выходы продуктов деления и их распределение по массам» (Москва: Госатомиздат, 1963). Это была первая книга сотрудников ВНИИЭФ, переведенная на английский язык и переизданная в других странах. Госатомиздат получил авторский гонорар в долларах, но авторам выплатил только по 700 рублей. ЛИС с усмешкой говорил, что за эту книгу им выдали «по одной месячной зарплате уборщицы».

Став заместителем начальника, ЛИС много времени уделял созданию в коллективе специального «мелкоконфликтного климата» между коллегами и отдельными группами. Из своего жизненного опыта он, по-видимому, пришел к выводу, что нужно так организовывать работу, чтобы наряду со здоровым соревновательным принципом обязательным было наличие межличностных интриг и мелких склок («сквалыг», называл он, хотя это литературно неправильно, так как «сквалыга» – это скупой, жадный человек, скряга). ЛИС считал, что такое состояние является наиболее оптимальным и активизирующим коллектив, создает в нем нужный тонус, не позволяет расслабляться при успехах и заставляет держать каждого по отношению к другому ухо востро. Мне же представлялось, что организовывать работу нужно не так, а только сплачивая дружно коллектив для достижения общей научно-технической цели, совместно отмечая успехи в решении мелких и больших задач, радуясь за каждого, добившегося положительного результата. На этой почве у меня часто возникали значительные разногласия с ЛИСом, особенно когда я был заместителем профорга (профсоюзного организатора) отдела, а затем – профоргом. При подведении итогов социалистических соревнований требовалась независимая оценка их профсоюзной организацией

для соответствующих моральных и/или материальных поощрений сотрудников. Не берусь судить окончательно, надо ли так действовать, как ЛИС. Павловский знал об этих его методах в течение всего периода совместной работы и никак не реагировал. Очевидно, деятельность ЛИСа его устраивала. Меня же лично ЛИС постоянно пытался подловить на каких-либо мелких оплошностях и обязательно наказать. Наверное, он очень ревниво оценивал доверительные отношения ко мне Павловского, который часто поручал мне решение научных или других вопросов без обсуждения их с ЛИСом и не ставя его в известность. А посему надо было как-то отыгрываться на мне. Как-то ЛИС рассказывал мне, что основы создания в коллективе мелкоконфликтного климата он постиг еще на службе в штабах армии. Там среди офицеров всегда присутствовало чувство зависти, желание выслужиться перед командиром, обойти в чине другого даже за счет мелких подлостей. Я же в армии не служил и судил о военных всегда лучше, представляя их как взаимно поддерживающих один другого в любых ситуациях.

Следует отметить, что ЛИС не был какой-то мрачной или унылой личностью, как это можно понять из предшествующего текста, а был достаточно жизнерадостным и общительным человеком с огромным жизненным и политическим опытом (был членом КПСС, избирался депутатом горсовета), с нормальным чувством юмора, был заводилой многих самостоятельных мероприятий, выездов на природу, организовывал отдельские вечера и «капустники». Даже объявляя во всеуслышание о наказании кого-то, ЛИС всегда мило улыбался. Правда, такие объявления были редкими, так как чаще он негласно лишал человека полностью или частично месячной или квартальной премии, и узнавал это наказанный, только получая зарплату. Казалось бы, тут срабатывала вроде здравая логика ЛИСа: чтобы понять наказание рублем, человек поглубже проанализирует свою работу и действия, поведение и общение в коллективе, и, может быть, такое «самокопание» пойдет ему на пользу в будущем. Для подобного воздействия на конкретного сотрудника у ЛИСа был еще один приемчик, явно заимствованный у некоторых партийных чиновников: не здороваться и не разговаривать с наказываемым, а проходить мимо, как бы не замечая его.

Однажды, когда я был начальником лаборатории, мне позвонили из профкома и сообщили, что ЛИС без согласования с профоргом отдела подготовил документ и подал его на визирование в профком о лишении меня полностью квартальной премии с формулировкой «за создание сверхнормативных запасов оборудования». А это были немалые деньги. Я, конечно, немедленно обратился к ЛИСу с вопросами: «О каком оборудовании идет речь? Где я его храню? Кто определил, что оно сверхнормативное?». Ни на один из вопросов ЛИС аргументированно ответить не смог и развил бурную деятельность по выяснению лиц, по вине которых произошла утечка информации. В связи с такой ситуацией я письменно попросил А. И. разъяснить мне суть дела. Оказалось, что А. И. ничего об этом не знает и дал указание ЛИСу ответить мне. Но сколько ЛИС не придумывал и не искал наличие каких-то сверхнормативов, ничего антизаконного в моих

действиях доказать не смог. Пришлось ему гласно объявить о своей «ошибке» и забрать из профкома поклеп на меня.

Такие деяния свершались им и в отношении других сотрудников отдела. Пожалуй, единственным человеком, к кому ЛИС относился дружественно, был начальник лаборатории магнитных кумулятивных генераторов Р. З. Людаев. Возможно, это связано с тем, что Людаев иногда включал ЛИСа в состав авторов выпускаемых научно-технических отчетов, даже если явного «личного творческого вклада» того не было.

Опасность быть «по-тихому» наказанным за что-то и попасться на крючок ЛИСу многому и учила: в частности, заведомо и всесторонне продумывать свои действия и принимаемые решения с учетом как положительной, так и отрицательной реакции на них ЛИСа. Эта постоянная озабоченность отнимала немало времени, однако позволяла накапливать научно-практический опыт организации и проведения исследований и разработок, создания здорового климата в коллективе. Мне это особенно пригодилось, когда начался быстрый рост численности руководимой мной лаборатории, которая достигла в итоге 179 человек. Естественно, что в таком большом коллективе найдутся люди или группы лиц, которые будут взаимно слаботерпимы, даже исходя из простого «физиономического» принципа, а это тоже следовало принимать во внимание для поддержания бесконфликтной ситуации. Анализируя позже те давние условия, приходится признать, что объективно ЛИС заставлял по меньшей мере начальников групп и лабораторий, входивших в состав отдела, более серьезно и многофакторно обмысливать свою деятельность, чем это нужно было только для выполнения плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. И в целом это благоприятно сказывалось на общем ходе дел в коллективах. Может быть, в некоторых из них так и надо «по-сельченковски» обеспечивать конкурентоспособность и работоспособность персонала.

Очень интересно и живо ЛИС проводил обязательные тогда для инженеров и научных работников философские семинары. Он даже позволял на них обсуждать и критиковать ряд установок КПСС и принятых на съездах программ, давал иногда поручение подготовить кому-либо доклад на тему с таким «провокационным» содержанием.

Будучи старше и потому опытнее Павловского, ЛИС очень настойчиво проявлял «отеческую» заботу о необходимости официального закрепления А. И. своих научных достижений. Увлеченному исследованиями и разработками, планами работ на будущее А. И. не хватало времени для оформления своих успехов (кроме написания статей и докладов), он откладывал все на дальнюю перспективу и считал, что время все расставит на свои места. Но ЛИС постоянно приводил ему в качестве примеров заботу о себе В. А. Цукермана, Е. А. Негина, С. Г. Кочарянца и внушал, что время скоротечно и надо обязательно и систематично участвовать в представлении в соответствующие инстанции нужных документальных материалов о себе. И если инициативу о присуждении доктора наук

Павловскому после его защиты в 1963 году кандидатской диссертации проявил академик Ю. Б. Харитон, то позже уже ЛИС составил и оформил много документов для присвоения А. И. звания Героя Социалистического Труда, профессора, члена-корреспондента АН СССР, заслуженного деятеля науки и техники России. Правда, выборы в 1992 году А. И. в академики АН РАН «пробивали» академики Ю. Б. Харитон и Ю. А. Трутнев.

К сожалению, проявления подобной личной инициативы со стороны ЛИСа о других сотрудниках отдела, занимающих меньшие должности, но тоже заслуживающих поощрений и представлений, я не знаю. Тут гораздо больше делал сам Павловский или давал конкретные указания.

Примером создания творческой бесконфликтной атмосферы в коллективе являлся начальник другого отдела – Вениамин Аронович Цукерман, совершенно незрячий человек. В его отделе часто проходили общие обсуждения проводимых плановых работ, обязательные гласные отчеты сотрудников по возвращении их с конференций и совещаний, из командировок с рассказами о предприятиях, встречах с известными специалистами, об увиденном и услышанном, и т. д. Особенно интересную информацию привозил всегда сам Цукерман. У меня с ним были хорошие деловые отношения, и потому я обычно приглашался на такие встречи. Его рассказы настолько впечатляли, что все забывали о его недуге и думали, что это он хорошо высмотрел все сам – и людей, и оборудование с приборами, а потому так четко рисует мелом на доске графики и схемы, образно и детально доносит сведения о них. Поэтому я часто приводил ЛИСу в качестве примера отдел Цукермана как по организации исследований и разработок, так и по созданию творческой деловой атмосферы. Но это обычно вызывало у ЛИСа раздражение, и он тут же разряжался антисемитскими высказываниями вообще против всех евреев и В. А. в том числе. Цукермана он критиковал за то, что тот, якобы, постоянно выискивает недостатки в работе отдела Павловского и доводит их до научного и административного руководства ВНИИЭФ. И делает он это потому, что до сих пор обижен на Павловского, который своими предложениями и разработками в области безжелезных бетатронов и линейных ускорителей сильноточных импульсных пучков электронов окончательно прервал монополию Цукермана в создании и совершенствовании ускорителей прямого действия. Высказываний же подобного рода Павловского в адрес В. А. я не слышал и не знаю.

Тем не менее в соответствии со своим должностным положением ЛИС достаточно много труда вкладывал во все научные направления, развиваемые в отделе. Благодаря ему удалось организовать выпуск нескольких типов магнитокумулятивных генераторов на заводе «Электросила» в Ленинграде. В конце 1960-х годов по советскому варианту «звездных войн» ЛИС принял самое активное участие в разработке мощных импульсных лазеров, однако наиважнейшей его заслугой в этом деле было создание комплексов сооружений на экспериментальной площадке 24. В 1970–1980-е годы значительный вклад был сделан ЛИСом в организацию изготовления принципиально новых мощных импульс-

ных линейных ускорителей пучков электронов ЛИУ-10 и ЛИУ-30, облучательных комплексов ЛИУ-10-ГИР и ПУЛЬСАР. Заслужой ЛИСа является и обоснование строительства зданий 6-А и 6-В на физической площадке. За работы во ВНИИЭФ ЛИС был награжден медалью «За трудовое отличие» и орденом Трудового Красного Знамени.

Оригинально представлялся ЛИС в командировках, в которые я несколько раз выезжал с ним. При встрече с руководством принимающей стороны он достаточно пафосно и четко произносил: «Леонид Иванович Сельченков из Министерства среднего машиностроения, представитель Всесоюзного научно-исследовательского института экспериментальной физики, заместитель Героя Социалистического Труда, члена-корреспондента Академии наук СССР (или Академика), профессора Александра Ивановича Павловского. А это мой сотрудник – лауреат Ленинской премии, кандидат физико-математических наук Анатолий Иванович Герасимов». У встречающего сразу создавалось впечатление о солидности организации, из которой прибыли эти люди, о ЛИСе, являющемся тоже лауреатом многих премий и имеющем, как минимум, степень доктора наук. Поэтому наши вопросы решались достаточно оперативно и, как правило, с положительным исходом.

ЛИС интересен еще тем, что писал о войне рассказы, поэмы и стихотворения. К сожалению, он это творчество не рекламировал, не пытался опубликовать, а складывал все в ящик. Судя по его единственным опубликованным воспоминаниям о Павловском и Людаеве (см. в [43] «Академик Павловский, как он встает в моей памяти», с. 160–163 и «Слово о друге, ученом, патриоте», с. 163–177), ЛИС обладал хорошим литературным языком. Как-то он дал мне почитать несколько стихотворений на военную тему, и я должен отметить, что для самодеятельного поэта они были высокого качества, с красивыми рифмами и достаточно яркими образами. Особое впечатление произвело большое стихотворение о молоденькой медсестре, которая, рискуя своей жизнью, бесстрашно вытаскивает ползком из-под огня раненых бойцов и оказывает им в таких условиях первую медицинскую помощь. Еще показал он мне уже после смерти Павловского толстую рукопись воспоминаний о работе с ним в течение 33 лет. При этом было сказано, что каждый человек имеет положительные и отрицательные стороны. Разным был и А. И. Вот таким многоплановым и представлен он во многих серьезных, драматических и курьезных ситуациях. Но опубликовать эти воспоминания удастся, по словам ЛИСа, нескоро – только после ухода из жизни близких родственников Павловского. Не знаю, оставил ли ЛИС насчет такой публикации завещание своим родным. Но еще живущим и помнящим Александра Ивановича людям было бы интересно прочитать, оценить и сравнить написанное, в том числе и мной.

В 1995 году Леонид Иванович ушел на пенсию. На проводах сотрудники отдела собрали в единый сборник некоторые стихи Сельченкова, компьютерно «издали» книгу и вручили ее вместе с компьютером не ожидавшему такого сюрприза пенсионеру, сильно растрогав его. Будучи на отдыхе, ЛИС жил в нашем

квартале, и я с ним часто встречался во дворе. Мы обсуждали интересные моменты текущего времени и вспоминали прошлое. Мне показалось, что, переосмыслив историю СССР, он глубоко переживал ошибки партийного руководства КПСС и Политбюро в деле создания эффективного демократического общества в России и что страна-то могла бы развиваться быстро и правильно с постоянным повышением жизненного уровня населения. «Это при наших-то природных богатствах!» – сокрушался он. При этом он ссылался на опыт современного развития Китая под руководством его компартии. В 2000 году Леонид Иванович скоропостижно скончался.

В разделе 15.2 я отметил, что А. И. Павловский с 1964 года начал мою группу переориентировать с бетатронной тематики на создание сильноточного импульсного ускорителя с энергией электронов свыше 10 МэВ. Связывалось это с тем, что в Америке стали активно разрабатывать мощные импульсные генераторы тормозного (ТИ) и нейтронного излучения для моделирования в лабораторных условиях воздействия поражающих факторов ядерного взрыва (ЯВ) на компоненты и крупногабаритную военную технику для предварительной отработки ее на заданные уровни радиационной стойкости и только затем последующие зачетные испытания на стойкость при натуральных ЯВ. Это позволяло существенно сократить денежные затраты на создание новых видов вооружения и убыстрить их поставку армии США.

Стало известно, что создаются ускорители электронов с напряжением более 10 МВ для получения мощных импульсов ТИ, а также проектируется мощная комплексная установка EDNA (ИДНА). В ней планировалось генерировать методом Аркадьева–Маркса импульсное напряжение амплитудой 25 МВ и прикладывать его к диоду для получения пучка электронов с током 200 кА длительностью 0,1 мкс, непосредственно (пучка) вводимого (или ТИ от него) в полость размножающей сборки из деталей на основе обогащенного урана ^{235}U ; по существу, такая сборка представляла собой импульсный ядерный реактор. От взаимодействия излучений с ^{235}U будут в результате фотоядерных реакций испускаться нейтроны, размножаемые в сборке. Поэтому около сборки из делящихся материалов или в «окнах» сборки станут генерироваться нейтроны с потоком до $1,3 \cdot 10^{15}$ 1/см² микросекундной длительности и гамма-импульс. Эти проникающие излучения и начнут использоваться для моделирования воздействия на специальную технику.

Ю. Б. Харитон, насколько известно мне, первым во ВНИИЭФ начал активно пропагандировать необходимость моделирования в лабораторных условиях воздействия поражающих факторов ЯВ на элементы, узлы и радиоэлектронную аппаратуру (РЭА), а также системы автоматики (СА), имитируя их нахождение в космосе, атмосфере над поверхностью Земли или непосредственно на Земле. Цель такого моделирования – исследование поведения испытываемых объектов при пофакторном или комплексном воздействии на них, отработка на штатное функционирование в этих условиях или повышенную стойкость к излучениям. Одной

из основных проблем являлось изучение эффектов, возникающих в материалах и электрорадиоизделях при кратковременном нагружении их проникающими излучениями. Следовало получать научно обоснованное представление о радиационных процессах в веществах, качественные и количественные изменения в них, зависимости изменения выходных параметров подсистем и аппаратуры РЭА и СА от характеристик полей излучения, от схемного и структурно-функционального построения аппаратуры и т. д. Поэтому Ю. Б. начал стимулировать разработку электрофизических установок, способных генерировать интенсивные импульсные потоки проникающих излучений. Не все крупные ученые в СССР и, в частности, во ВНИИЭФ поддерживали такое начинание в создании довольно дорогостоящих систем, так как синхронного моделирования полного набора поражающих факторов воспроизвести нельзя. Но Ю. Б. доказывал, что если даже отработать в лаборатории аппаратуру на стойкость только к гамма-излучению или только к нейтронному импульсу, то это обязательно положительно проявится и при зачетных натуральных испытаниях. И, как показали последующие события, Ю. Б. оказался прав.

Во ВНИИЭФ для изучения радиационных эффектов при воздействии ТИ разрабатывались под руководством В. А. Цукермана ускорители с прямым рядом генератора типа Аркадьева–Маркса на вакуумный диод и конвертировании кинетической энергии электронов в ТИ при взаимодействии их с мишенью из тяжелого вещества. В 1960-х годах последовательно были созданы ускорители ГИ-3000, МИГ-5000, РИУС-3, РИУС-3В. Максимально достигнутое напряжение составило 3,5 МВ на установке МИГ-5000 (1967 г.), а наибольшая доза излучения в установке ОРИОН-1 (1979 г.) – 270 рад на 1 м от мишени при длительности импульса примерно 110 нс и граничной энергии квантов 2,2 МэВ (подробнее см. [34]).

Так как ученые США сделали ставку на ускорители прямого действия, то я и Валерий Семенович Босамыкин собрали самые последние научно-технические данные по таким проектируемым или разрабатываемым импульсным ускорителям с максимальными энергиями ускорения, по изолирующим средам и системам на напряжение более 10 МВ, по ускорителям Ван-де-Граафа (электростатическим ускорителям), проконсультировались у специалиста физического отделения по этим установкам, доктора технических наук А. В. Алмазова, посетили с указанной выше целью Всесоюзный электротехнический институт им. В. И. Ленина (г. Москва) и сделали сопоставительный анализ всей накопленной информации. Из него следовало, что получение величины ускоряющего напряжения 20 МВ принципиально ограничено техническими современными возможностями, однако значения 10–12 МВ реально достижимы. Но это будут установки с огромными габаритами и ненадежные в работе. А главное, они не обеспечат требующихся сочетаний облучаемых площадей, уровней доз излучения, их длительностей и удобств работы. Оценки показывали, что для моделирования гамма-излучения ЯВ необходимо иметь пучок электронов с энергией более 15 МэВ, с током в десятки килоампер и выше при длительности импульса 10–25 нс. При обсужде-

нии наших выводов у А. И. он с ними согласился и сообщил, что доложит обо всем Харитону и обсудит с ним, а потому мы развивать мощные моделирующие установки на базе ускорителей прямого действия не будем. Известно, что, строя аналогичные по параметрам и конструкции уже где-то задействованные облучатели, сложно догнать ушедших вперед разработчиков.

Позже наши выводы подтвердились. Проект ИДНА в США так и не реализовали, но были введены там в практику экспериментов в 1965 году ускоритель прямого действия ГЕРМЕС II (HERMES II), в 1972 году – четырехмодульный крупнейший в мире ускоритель АВРОРА (AURORA), названный национальной установкой. Первый ускоритель проектировался на напряжение 12 МВ, но в рабочих режимах напряжение более 10 МВ к диоду не прикладывалось. То же для второго ускорителя: проектное напряжение было 15 МВ, но реально работали только при 8–9 МВ. На ускорителе ГЕРМЕС была получена максимальная доза тормозного излучения 6 крад на 1 м от мишени при токе электронов 170 кА длительностью около 100 нс. На ускорителе АВРОРА доза составила примерно 20 крад (проектная доза 50 крад) длительностью 120 нс при очень ненадежном функционировании (один рабочий импульс из 5–8 запусков установки). Габариты АВРОРЫ огромны: только ее ускоряющая часть с генератором ускоряющего напряжения размещалась в общем металлическом баке длиной 41,2 м, высотой 18,3 м, шириной 15,3 м. В качестве изолирующей среды использовалось 5000 т трансформаторного масла. Общая масса установки 7500 т. Оба ускорителя давно демонтированы.

Мы начали поиск новых научно-технических решений, которые позволили бы изготавливать более дешевые мощные ускорители заряженных частиц с требуемыми параметрами пучков, а также сократить временной разрыв в их создании и даже обойти США. Внимание было обращено на метод линейного индукционного ускорения (ЛИУ) частиц, предложенный за рубежом еще в 1923 году А. Буверсом. Необходимо было последовательно вдоль общей оси расположить серию замкнутых тороидальных ферромагнитных сердечников и синхронно посредством охватывающих каждый из них витков с импульсным током изменять в сердечниках магнитный поток. Вокруг каждого сердечника станет возбуждаться вихревое электрическое поле, которое можно с помощью охватывающего каждый сердечник или несколько из них тороидального металлического кожуха сосредоточить в кольцевом разрыве кожуха вокруг общей оси и использовать для импульсного ускорения заряженных частиц. Однако этот метод долго не находил применения из-за отсутствия качественных ферромагнитных материалов, технологии изготовления из них громоздких тороидальных высокочастотных сердечников и трудностей осуществления управления синхронным изменением потоков во многих сердечниках. Тем не менее в 1964 году в США создали для установки «Астрон» под руководством Н. С. Кристофилоса первый в мире такой ускоритель на энергию электронов 4,2 МэВ и импульсный ток до 800 А длительностью 300 нс, работающий с частотой до 60 Гц. Считалось, что

индукция магнитного насыщения сердечников и падение магнитной проницаемости с укорочением длительности импульсов не позволят получать токи пучков электронов свыше 2–3 кА, и потому эти ускорители имеют преимущества в получении большого среднего тока в частотном режиме.

Отсутствие полного ускоряющего напряжения относительно «земли» – важнейшее преимущество ЛИУ перед ускорителями прямого действия. В ЛИУ заряженная частица, проходя по оси системы, получает прирост кинетической энергии в каждом не зависимом от других индукторе с сердечником, и потому конечная ее энергия прямо пропорциональна числу таких индукторов. Поэтому предельная энергия ускорения определяется только количеством индукторов в системе, т. е. габаритами и стоимостью установки, а также решением проблемы эффективной транспортировки сильноточных пучков на большие расстояния. ЛИУ собирается из одинаковых ускорительных модулей, что упрощает его разработку, изготовление и эксплуатацию. Перечисленные факторы были очень привлекательными, но в СССР не было технологии изготовления эффективных магнитных сердечников. Значит, нужны были какие-то инновационные решения применительно к использованию принципа ЛИУ.

Так как, по существу, каждый индуктор представлял собой трансформатор с изолированными одновитковыми первичной и вторичной обмотками, то возникла идея эти обмотки выполнить в виде проводящих торов без сердечника, вложив первичный тор в полость вторичного. Но нужно было обеспечить равномерное обтекание импульсным током внутренней проводящей поверхности первичного тора, чтобы в его полости возникал тороидальный магнитный поток. И если при этом вторичный тор будет иметь кольцевую щель вокруг оси, то из-за суммирования этим тором вихревого электрического поля снаружи первичного тора и разделения зарядов на противоположных кольцевых электродах щели возникнет между этими электродами импульсная ускоряющая разность потенциалов, в идеале равная по амплитуде сумме напряжений на участках стенок первичного тора при обходе по его образующей. Такое техническое решение без использования сердечника, ограничивающего магнитный поток индукцией насыщения, позволяло в несколько раз и более увеличивать поток повышением амплитуды тока в первичной цепи. Стало понятно, что толщины стенок торов должны быть много больше глубин скин-слоя тока на частоте, эквивалентной его длительности. А тогда часть проводящей поверхности первичного тора могла одновременно являться и частью вторичного. (Известно, что плотность переменного тока уменьшается вглубь проводника. Расстояние, на котором ток уменьшается в $e \approx 2,71$ раза по сравнению с его величиной на поверхности проводника, называется глубиной скин-слоя.) Теоретически и схемно было рассмотрено несколько вариантов запитки первичного тора током и выбрано несколько из них для опытной проверки.

С начала 1965 года к экспериментам привлекли и А. П. Клементьева. Были спаяны торы из меди с внешними диаметрами около 800 мм. К первичному из

них равномерно по окружности через каждые 10 см со стороны внешнего диаметра подключили 26 отрезков кабеля одинаковой длины, которые с другой стороны присоединили к мощному частотному (200 Гц) генератору синусоидальных импульсов, ранее применяемому при исследованиях по бетатронной тематике. Включили генератор и замеры на электродах кольцевой щели во вторичном контуре напряжение, которое оказалось равным напряжению на входе первичного. По мере нагрузки вторичной цепи равномерно распределенными по окружности щели резисторами со снижением их номинала возрастал общий ток через резисторы, а напряжение уменьшалось, то есть все происходило в соответствии с нашей концепцией. Потом это стало казаться очевидным, но на начальном этапе надо было практически удостовериться в такой работе макета. Так как импульсная мощность генератора являлась недостаточной, то вместо него собрали небольшую конденсаторную батарею на 5 кВ и стали импульсно ее разряжать через искровой разрядник на кабели. Опять получили результаты, согласующиеся с теорией. Начали укорачивать длины кабелей, и амплитуда вторичного напряжения стала возрастать. И когда кабели оказались совсем короткими, то, естественно, возникла мысль вообще вставить конденсаторы в первичный контур, распределив их равномерно по внешней окружности тора и образовав как бы кольцевой конденсатор. Для макета накопителя использовали керамические низкоиндуктивные промышленные конденсаторы КВИ-3 на 6 кВ, изготовили малоиндуктивный газонаполненный четырехэлектродный каскадный разрядник, встроив его между общей высоковольтной кольцевой шиной конденсаторов и заземленной стенкой первичного тора. Экспериментально апробировали такой «безжелезный» индуктор, и он заработал согласно теории. Изготовили еще два таких индуктора, электрически соединив их по принципу ЛИУ. При синхронном запуске всех индукторов их вторичные напряжения на оси суммировалось. Но на одиночных разрядниках выделялось значительное падение напряжения из-за сравнимости их собственной индуктивности с индуктивностью тора, а магнитное поле разрядника проникало до оси торов и должно нарушать здесь ускорение электронов. Следующий шаг был очевидным – надо увеличить число одновременно запускаемых разрядников, тоже равномерно разместив их по окружности в торе, но конструктивно следовало расположить их вокруг области ускорения, образовав из них как бы кольцевой управляемый коммутатор. Это вместе со встраиванием в тор конденсаторов явилось ключевым решением в создании эффективного безжелезного индуктора, названного нами совмещенным, то есть в нем конденсатор и коммутатор кроме их электрической функции выполняют и роль частей стенки первичного тора. Присоединили так по три одинаковых разрядника в три индуктора, испытали индукторы автономно, а затем – совместно, симитировав таким образом макет ЛИУ. В ускорительной полости разместили нагрузку из объемнопроводящих резисторов типа ТВО-5, моделируя тем самым пучок электронов. И хотя разрядники включались со значительным взаимным временным разбросом, тем не менее при изменении сопротивления нагрузки

напряжение со вторичных контуров тоже изменялось и суммировалось на ней, что однозначно подтверждало правильность идеи разработки сильноточных ЛИУ.

Я провел расчеты распределения магнитного поля в осевой полости торов в зависимости от числа коммутаторов и показал, что для выбранного среднего диаметра 190 мм расположения искровых каналов при равномерном растекании тока по ним и наличии дополнительного кольцевого экрана со стороны области ускорения достаточно иметь четыре разрядника при диаметре пучка электронов 60 мм. А еще выявилось, что можно для всех разрядников основные электроды выполнить общими в виде двух колец, охватывающих область ускорения и не создающих магнитное поле в ускорительном тракте. Теперь это поле в нем возникало только от искровых каналов.

Еще надо было придумать эффективную проводку сильноточного пучка на расстояние в несколько метров, так как электроны сильно расталкиваются в таком пучке по радиусу и теряются на стенках тракта. По опубликованным сведениям пучки с током в десятки килоампер транспортировали только на длину до 0,5 м. Достаточно быстро появилась общая идея о проводке пучка электронов на расстояние более 5 м посредством размещения в ускорительном тракте однослойного соленоида с импульсным током в его витках для формирования в полости соленоида однородного продольного магнитного поля, предотвращающего расширение пучка. Более того, так как к такому соленоиду прикладывается и ускоряющая разность потенциалов, то соленоид станет выравнивать по длине тракта ускоряющее электрическое поле в нем. Расчетно оценили нужные значения магнитного поля, тока через соленоид, геометрические размеры и погонное количество витков, напряжение и емкость конденсаторной батареи для разрядки ее через соленоид. Все параметры находились в разумных пределах их осуществления. Сопоставительный анализ технических решений индукторов показал, что они находятся на уровне мировой новизны, мы с Босамыкиным оперативно написали и оформили три заявки на предполагаемые изобретения, которые после рассмотрения их надлежащими комиссиями были направлены во Всесоюзный НИИ государственной и патентной экспертизы (ВНИИГПЭ) в Москве. В следующем году В. С. Босамыкину, А. И. Герасимову, А. П. Клементьеву и А. И. Павловскому выдали первое авторское свидетельство на изобретение ускорителя с предложенными «совмещенными» индукторами – № 205178 «Линейный индукционный ускоритель» с приоритетом от 27.07.1966, затем – В. С. Босамыкину, А. И. Герасимову и А. И. Павловскому – на ускоритель с соленоидом в его тракте № 202365 «Линейный индукционный ускоритель» с тем же приоритетом, В. С. Босамыкину, А. И. Герасимову и А. И. Павловскому – на ускоритель с индукторами, запитываемыми от внешних импульсных источников тока, № 242287 «Линейный индукционный ускоритель» с приоритетом от 15.05.1967. В последующие годы я стал автором и соавтором более 55 изобретений, в основном по тематике ЛИУ, технические решения на 47 из них предложил я и составил на них описания.

Мы из общих соображений договорились, что первый экспериментальный безжелезный линейный индукционный ускоритель должен обеспечить получение пучка электронов с энергией около 2 МэВ. Началось составление электрических схем систем и узлов установки, прорабатывание их устройств и вариантов компоновок ускорителя. Конкретное и схемно-расчетное обоснованное предложение о возможности создания нового мощного ускорителя вызвало значительный интерес у руководства ВНИИЭФ, и при его поддержке это направление начало активно развиваться. Но следовало квалифицированно сконструировать первый такой ускоритель, для чего решить еще одну крупную проблему, не реализованную к тому времени в мире науки, – это практически создать многоканальные разрядники, которые при общем их количестве до сотни штук стабильно бы и управляемо срабатывали по задаваемой программе с разбросом времени задержки не более нескольких наносекунд относительно стартового импульса. Конечно, предстояло разработать и новую многоканальную систему запуска таких коммутаторов. Все это следовало придумать нам – электрофизикам-ускорительщикам.

В середине 1966 года мы с Босамыкиным написали черновик первого отчета по данной тематике «Разработка безжелезного линейного индукционного ускорителя БИЛ-2 (проект)», его авторами были А. И. Павловский, А. И. Герасимов, В. С. Босамыкин, А. П. Клементьев. Мы тогда еще не определились с сокращенным названием этого нового технического типа ускорителей, поэтому аббревиатура БИЛ образована от начальных букв слов «безжелезный индукционный линейный», хотя вскоре эту аббревиатуру заменили на ЛИУ – линейный индукционный ускоритель. Во введении отметили, что выполнен значительный цикл экспериментальных исследований (совмещенных индукторов, разрядников, инжектора электронов на основе термокатода, генератора импульсного напряжения для инжектора, соленоида для магнитного сопровождения пучка электронов и др.), явившихся обоснованными исходными данными для создания реального безжелезного линейного ускорителя электронов. Однако А. И. около двух месяцев правил черновик, практически полностью переработав его идеологическую часть. При этом во введении он добавил, что «...по предложению одного из авторов (А. И. Павловский, 1964 г.) был выбран безжелезный вариант линейного индукционного ускорителя...». Читая затем исправленный вариант черновика, я, зная как рождался и совершенствовался в наших экспериментах с В. С. и обсуждениях безжелезный индуктор без каких-либо изначальных указаний Павловского, решил, что А. И. ошибся, и потому спросил его об этом. Ответ был такого содержания: «Нет, я не ошибся. Если бетатрон сделан без ферромагнитного сердечника, значит, можно создать и ЛИУ тоже без сердечников. Поэтому отчет должен быть именно с моими добавлениями и исправлениями». Так отчет и был оформлен с фразой о приоритетном предложении А. И. по разработке безжелезного ЛИУ. Затем эта фраза стала тиражироваться в последующих документах и видоизменяться по прямым директивным указаниям Павловского.

Оставалась еще одна задача, которая нам была непосильна, – это изготовление около 800 энергоемких малогабаритных высоковольтных (на рабочее напряжение примерно 50 кВ) конденсаторов; от них зависела осевая протяженность каждого индуктора и потому общая длина ускорителя, надежность и ресурс его работы, а также параметры и конструкция еще ряда систем ЛИУ-2. Ими могли в то время быть только плоские керамические конденсаторы. Но близких для наших целей по совокупности электрических характеристик конденсаторов промышленность не выпускала. И я считал, что создать новый керамический материал, технологию его производства и организовать выпуск опытной партии конденсаторов на ее основе могли только в крупном НИИ радиоконденсаторостроения (НИИРДС, он же НИИ Гириконд, позже – НПО «Позитрон», г. Ленинград), где неоднократно я уже бывал в командировках и был знаком с рядом ведущих разработчиков по соответствующим направлениям, а также с главным инженером И. А. Гайлишем. Он был квалифицированнейшим специалистом по научно-техническим вопросам электронных компонентов, пользовался авторитетом в Министерстве электронной промышленности (к нему институт и относился), через него практически решались все вопросы, встречался не раз с Ю. Б. и посещал ВНИИЭФ. Павловский переговорил по проблеме конденсаторов с Ю. Б., который и дал санкцию ехать мне в командировку и действовать в НИИРДС от его имени. Узнав по ВЧ-связи, что Гайлиш находится на месте, я отправился в Ленинград. Главный инженер встретил меня по-деловому, расспросил о проблемах, которые позволят решить новый ускоритель с такими конденсаторами, когда они практически нужны (я назвал срок – год) и в каких количествах, созвал совещание, пригласив на него начальника лаборатории новых керамических материалов Михаила Исааковича Неймана, сотрудницу его лаборатории Галину Павловну Блохину, начальника лаборатории конденсаторов на базе титаната бария В. А. Гедзюна и ведущего специалиста его лаборатории Н. А. Мандрыку. Последних двух я заочно знал по их публикациям о керамических конденсаторах. Позже они выпустили в соавторстве с Н. П. Богородицким книгу «Высоковольтные керамические конденсаторы» (М.: Сов. радио, 1970), экземпляр которой подарили мне. На совещании я еще раз рассказал о своих проблемах, а Гайлиш добавил, что они должны сделать все возможное для Харитона, и началось обсуждение. Выяснилось, что для обеспечения наших требований к кольцевому конденсатору нужен новый электропрочный технологичный материал с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon \approx 400\text{--}500$. Гедзюн, порассуждав, произнес, что их материалы имеют проницаемость больше, но они менее электропрочные, чем необходимо, имеют значительный тангенс угла диэлектрических потерь, и он в данный момент не очень представляет, как такой новый материал создать и какими силами. С учетом уже утвержденных НИР в министерстве, сроков их выполнения и недостатка в исполнителях они смогут приступить к работе не ранее чем через два года. Нейман тоже посетовал на очень короткие сроки, но сказал, что он с Блохиной все-таки возьмется за это дело, тем более, что она уже занимается

подобным. И если будут возможности денежно стимулировать персонал за работу во внерабочее время и выходные дни, то они постараются выполнить задание за год. Я подтвердил готовность заключить между ВНИИЭФ и НИИРДС договор об оплате и добавил, что надо прямо сейчас составить калькуляцию на затраты и проект такого договора. Гайлиш согласился с такой оперативной постановкой вопроса, но добавил, что тематика их института жестко закреплена в министерстве. И, чтобы они смогли отбиться от вышестоящего руководства в случае обнаружения проведения внеплановой работы, нужно направить в НИИРДС письмо от очень уважаемого минсредмашевского академика Харитона вместе с подписанным нашей стороной договором. Подготовив документы, я вновь отправился в Ленинград, был принят Гайлишем, передал ему письмо и добрые пожелания от Ю. Б., который, как оказалось, уже звонил ему по ВЧ и разговаривал на эту тему. Гайлиш дал указание Нейману срочно приступить к НИР по заключенному договору. И началась очень дружная, активная и взаимно заинтересованная совместная работа; квалификацию, пробивные способности и деловые качества своих партнеров я очень скоро высоко оценил и надолго подружился с ними.

Для форсирования работ по разработке первого безжелезного линейного ускорителя ЛИУ-2 был подключен инженер Виктор Алексеевич Тананакин, а касательно конструирования установки я предложил А. И. ходатайствовать перед руководством ВНИИЭФ о переводе к нам из технологического отделения неоднократно упоминаемого мной ранее Д. И. Зенкова, очень талантливого конструктора. Насколько мне было известно, в технологическом отделении в ближайшей перспективе интересных задач перед Зенковым не стояло, и это несколько тяготило его. С кем обсуждал А. И. переход Зенкова в физическое отделение – я не знаю, однако через три дня он сказал мне, что пусть Зенков пишет заявление о переводе. Так в 1966 году Д. И. оказался в моей группе и с первых дней продуктивно подключился к нашим делам (правда, вскоре Павловский принял решение набрать еще молодых специалистов и сформировать отдельную конструкторскую группу во главе с Д. И.).

Хочется сразу представить здесь новых сотрудников нашей группы – незабываемого В. А. Тананакина и Д. И. Зенкова.

При знакомстве В. А. сказал мне: «Вы немного постарше меня, но давайте будем на "ты". Я очень не люблю официальщины, но Вас буду звать по имени-отчеству, а Вы зовите меня просто Виктор. И еще. Я человек прямой и рублю правду-матку в глаза, что кое-кому не нравилось. Поэтому, если принимаете меня таким, то будем вместе работать». Виктора я до этого не знал, и такое его заявление было несколько необычным. Я ему ответил, что сам не люблю «крутить» и тоже говорю правду, но в зависимости от конкретного человека преподношу ее иногда прямо, а иногда в дипломатичной форме, чтобы не сильно обидеть или расстроить человека и дать ему возможность задуматься. И добавил, что три с половиной года работал с заключенными, а они обычно говорили правду грубо и прямо.

Тананакин родился в 1937 году в казацком поселке Глубокий («Глубочка» – так называл он) Каменского района Ростовской области. Окончил в 1962 году Таганрогский радиотехнический институт по специальности «инженер-электрик по электронным приборам» и был направлен во ВНИИЭФ. Здесь его определили в подразделение внешних испытаний, но работой он не был удовлетворен, поэтому часто конфликтовал с руководством. Да это и понятно: в Викторе действительно было много казацкого, вольного и буйного: размашистая жестикуляция, мгновенная бурная реакция, любовь к острому слову и какая-то бесшабашность. Он часто вспыхивал как порох и в такие минуты, не задумываясь, высказывал все, что было на сердце. Проработав четыре года в указанном подразделении, он свой положительный вклад в дело оставил, ибо в изданной к 45-летию подразделения книге авторов Ф. М. Гудина, Б. М. Бородянского, В. П. Евланова и др. «И вправе мы собой гордиться. Люди и факты» (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006) о Викторе говорится положительно. Однако в 1966 году, не найдя в очередной раз общего языка с руководством, он взял административный отпуск и поехал в Москву, чтобы через отдел кадров министерства получить направление на другое предприятие. Но в поезде с ним случайно познакомился заместитель начальника нашего отдела Леонид Иванович Сельченков и уговорил вернуться назад, пообещав ему перевод в свой отдел и интересную работу. Это было сделано, в результате чего Виктор и оказался в моей группе.

Имея уже опыт общения с людьми, а, главное, получив близкое ему по специальности направление приложения инженерных знаний, он активно подключился к работам по созданию ускорителя ЛИУ-2 и последующим проведениям на нем физических исследований. Особенно Виктору понравилось заниматься доводкой многоканальных разрядников до требуемых характеристик, разработкой методов измерения в них задержки и развития искровых каналов в зависимости от ряда геометрических размеров деталей разрядников и электрических параметров управляющих импульсов, совместного запуска большого числа коммутаторов. В связи с его значительным вкладом в комплекс исследований на узлах ЛИУ-2 он стал соавтором большинства отчетов по данному ускорителю и статей в журналах [46–50]. В 1970 году Виктора перевели уже на должность старшего инженера.

Благодаря своему коммуникабельному характеру и широкой казацкой душе Виктор вскоре стал заводилой коллектива и организатором совместных отечаний больших советских и народных праздников, конечно, с небольшим употреблением спиртного, иногда и в служебных помещениях во вне рабочее время. Такие деяния тогда не очень преследовались, особенно в брежневские времена. Виктор прикидывал общие денежные траты на такие «смычки» в зависимости от важности праздника, определял, сколько и каких нужно продуктов и спиртного, и обязывал определенных сотрудников выполнять эти поручения. Немного выпив, Виктор, будучи и так очень живым, оживал еще больше и становился очень веселым. Заводил всегда какие-нибудь песни и пляски. Особенно хорошо

удавалось ему организовывать такие мероприятия при нередких тогда выездах сотрудников в рабочее время и даже выходные дни на сельскохозяйственные работы в подшефные колхозы и совхозы. В данных вопросах Виктор был признанным авторитетом. Это действительно сплачивало коллектив, и я, как и многие пожилые люди, с ностальгией вспоминаю те давние времена, не понятные современной молодежи.

Значительный вклад Виктор внес в начатые в 1971 году исследования по обоснованию реальности создания мощнейшего ускорителя ЛИУ-30 (см. ниже), разработку и оформление к 1975 году эскизного проекта этого ускорителя. С 1974 года он был уже начальником научно-исследовательской группы и занимался созданием точно включаемых разрядников на 500 кВ для натуральных индукторов этого ускорителя, многокабельных генераторов и систем для запуска около 1500 таких коммутаторов с наносекундной точностью. Когда в 1984 году наша лаборатория переехала в здание, построенное для монтажа ускорителя ЛИУ-30 и организации здесь на нем радиационных исследований, Павловский оставил группу Тананакина на прежнем месте для работ по новым физическим направлениям. В последующем при выделении из физического подразделения в 1995 году Научно-технического центра (НТЦ-1) его назначили начальником лаборатории.

Однажды у Виктора на работе остановилось сердце, и только оперативные действия коллег и быстрый приезд скорой помощи, которая доставила его в реанимационное отделение больничного городка, спасли ему жизнь. Однако подобное повторилось с ним и в больнице, когда он один вышел погулять по больничной территории. Хорошо, что близко оказались врачи, которые вторично восстановили деятельность его сердца. После этого Виктору запретили быстро ходить, нагружать организм физически, рекомендовали быть эмоционально сдержанным. Но куда там! С таким-то характером! Он приобрел ракетку и увлекся большим теннисом, да так, что вскоре получил второй разряд по этому виду спорта.

Виктор сдал два кандидатских экзамена, стал соавтором около 60 научных отчетов, более 10 статей и докладов, 10 изобретений. Но дальше судьба распорядилась по-своему. У него внезапно поднялась температура. Сначала он лечился дома, потом его положили в больницу, но, как оказалось, лечили его не от того и не тем. У Виктора вдруг на левой ноге вскрылась трофическая язва. Пришлось удалять часть мышцы, затем еще, потом всю. После этого язва возникла на мышце выше колена. И с этой мышцей началось то же самое. Виктор вынужден был уволиться с работы в 2000 году. Я заходил к нему, поддерживал морально. Но оставаться без движения Виктору было тяжело.

А во ВНИИЭФ приезжал в середине 1990-х годов профессор, генеральный директор Всероссийского центра глазной и пластической хирургии Минздрава России в г. Уфе, обладатель многих почетных зарубежных званий, мастер спорта по туризму Эрнст Рифгатович Мулдашев. В их центре создали новое медицинское вещество – хирургический биоматериал, названный аллоплантом,

готовящийся из кусочков органов трупов и позволяющий «выращивать» (регенерировать) собственные человеческие ткани у больных людей, как это заложено природой на генетическом уровне. Мулдашев выступил у нас с интересной лекцией об аллопланте, чтобы, возможно, у кого-то появились некие мысли с объяснением, как подобное может происходить в организме, ибо у медиков не было об этом однозначного толкования. После лекции я долго беседовал с ним, и он, а также сопровождавшая его врач-референт, кандидат медицинских наук (теперь – доктор наук) Ольга Ратмировна Шангина дали мне свои визитки «на всякий случай». В физическом отделении ВНИИЭФ Мулдашев договорился, чтобы им периодически облучали на высокочастотном ускорителе электронов компоненты для приготовления аллопланта, для чего сюда станет приезжать Шангина. Дело благородное, и такие облучения проводились, пока Мулдашев не попросил сделать для них и продать специальный ускоритель электронов. Высокочастотный линейный ускоритель типа ЛУ-7-2 (7 МэВ, 2 кВт) был разработан в преобразованном из сектора 4 Институте ядерных и радиационных исследований (ИЯРФ) ВНИИЭФ, доставлен в 2005 году в Уфу и запущен там в эксплуатацию. Я после первой встречи попадал случайно в Москве еще два раза на лекции Мулдашева и снова разговаривал с ним, в том числе о выпущенной в 1999 году его сверхлюбопытной книге «От кого мы произошли? Сенсационные результаты научной гималайской экспедиции». При последней встрече в июне 2000 года он сказал мне, что они изобрели еще ряд аллоплантов, которые проходят испытания в их клинике на людях, давших письменное согласие на это. Результаты положительные, но опять биологически не понятные. «А не можете ли вы попробовать вылечить нашего сотрудника от трофической язвы?» – безнадежно сорвался с языка мой вопрос. «Вашего товарища обязательно попробуем вылечить, и бесплатно. Мы имеем такой аллоплант, апробировали его с очень хорошим исходом на добровольцах. Вот только Минздрав не дал пока официального разрешения на применение нашего препарата, так как проверка лекарства – дело длительное, идет десятилетиями». И затем добавил, что в порядке исключения, если к ним в Уфу приедет в командировку от нас врач с выпиской о болезни нашего коллеги, то они его проинструктируют под расписку о лечении аллоплантом и дадут его необходимое количество. Я, вернувшись в Саров, тут же рассказал все директору ИЯРФ, доктору физико-математических наук В. Т. Пунину, и он проявил большое желание помочь Тананакину. Валерий Тихонович объяснил по телефону всю ситуацию начальнику Центральной медсанчасти № 50 С. Б. Окову и сказал ему, что даст для поездки в Уфу свою автомашину, а тот пообещал через неделю гарантированно выделить врача. Я немедленно позвонил Шангиной (именно с ней мы должны были теперь поддерживать связь) и все ей пересказал, она только заметила, что все это нужно сделать в течение июля, так как персонал института уходит с 1 августа в отпуск. Вечером я зашел к Тананакину (а здоровье его ухудшалось) и сообщил ему о наших намерениях. Мне показалось, что это обрадовало Виктора и внушило ему слабую надежду на выздоровление. А дальше...

далее все затянулось. То врач внезапно заболел, то якобы где-то на юге России началась непонятная эпидемия и медсанчасти приказали отправить туда специалистов, и т. д. Мне трудно понять, как можно должностному лицу, который дал клятву Гиппократу, не выполнить свои обещания, тем более что речь шла о здоровье человека!

Когда же Виктору стало известно, что поездка в Уфу не состоится, он впал в глубочайшую депрессию, что и окончательно сгубило его. Я позвонил уже в конце сентября Мулдашеву, и там сказали, что еще ждут нас. Но теперь уже Виктор в категоричной форме запретил мне что-либо предпринимать в этом направлении, и я убедить его не смог, хотя пытался не раз. Скончался Виктор Алексеевич 1 февраля 2001 года.

Д. И. Зенков родился в 1934 году в г. Новозыбкове Брянской области. Он окончил Харьковский политехнический институт в 1956 году по специальности «инженер-механик» и работал по 1966 год конструктором в технологическом отделении ВНИИЭФ. В [41] деятельность Д. И. в этом отделении отмечена высоко. В результате последующих моих длительных контактов с ним я могу охарактеризовать его так. Он обладает широким кругозором, профессиональной подготовкой и большим практическим опытом. Все разработки проводит с ответственностью и инициативно. Хорошие теоретические знания успешно применяет в своей работе. Может глубоко и всесторонне анализировать поставленную задачу и находить самостоятельно пути ее решения. Ниже я еще буду говорить об участии Д. И. в создании ускорителей ЛИУ-2 и ЛИУ-10. После этих совместных работ наши пути несколько разошлись. Павловский переориентировал его на конструирование уникальных оптических квантовых генераторов и источников их питания, взрывамагнитных кумулятивных генераторов на разные их выходные электрические параметры (ряд таких генераторов длительно затем серийно выпускался промышленностью, в том числе дисковые МК-генераторы) и другое оборудование. Д. И. много внимания уделял и уделяет обучению молодых инженеров, в результате В. Ф. Басманов стал главным инженером ИЯРФ, сотрудники группы Р. М. Гарипов и С. Т. Назаренко – начальниками отделов, несколько человек – начальниками конструкторских групп. После выделения в 1995 году из физического отделения НТЦ-1 под руководством В. Д. Селемира, затем преобразованного в Научно-технический центр физики высоких плотностей энергии и интенсивных потоков излучений (НТЦФ), Зенков остался работать в этом подразделении. В настоящее время он является руководителем конструкторской бригады и продолжает творчески и продуктивно работать над созданием физической аппаратуры. Д. И. – автор и соавтор большого числа научно-технических отчетов, статей и докладов, 30 изобретений. У меня с ним сохранились еще со времен разработки электронно-лучевых сварочных пушек хорошие товарищеские отношения, и мы не раз выезжали на отдых с ночевками на берегу Мокши.

Казалось бы, при отмеченных качествах Д. И. он давно должен занимать более высокую должность. И тут, по-моему, определенную роль сыграл Павлов-

ский. Ему не всегда нравилось, что Д. И. обязательно сконструирует устройство не так, как это продумал предварительно он. Д. И. обязательно создавал конструкцию по-своему и потом упорно доказывал Павловскому, что данное решение лучше технологически и работоспособнее. Как правило, так и оказывалось. А. И. же всегда исходил из принципа, что «лучшее враг хорошего», а, значит, исполнение «по Павловскому» тоже бы нормально функционировало и было бы разработано быстрее. А потому, жалея свое время, заводился в дискуссиях с Д. И. и говорил, что «... вот поставь его начальником подразделения и на споры с ним по каждому вопросу будешь тратить уйму времени». В августе 2009 года последовал указ Президента РФ о присвоении Д. И. Зенкову почетного звания «Заслуженный конструктор РФ», чему я был рад и поздравил Дмитрия Ивановича. Это было явно запоздалое признание его огромного творческого вклада в дела ВНИИЭФ; по моему мнению, Д. И. давно заслуживал большей оценки.

Появившись в группе, Д. И. начал прорабатывать варианты конструкций ключевого компонента ЛИУ-2 – четырехканального разрядника – и экспериментально проверять эти идеи на макетах устройств. Было выявлено, что тригatronный запуск параллельных разрядных каналов в сжатом до 0,5 МПа азоте (5 ати) при общем токе через них 100 кА и развязке по времени пробега электромагнитной волны между каналами 0,5 нс не обеспечивает синхронного развития и устойчивого удержания каналов. Я провел серию анализов и оценок переходных процессов инициирования и удержания каналов по методу быстрого искажения распределения электрического поля посредством ламельных управляющих электродов, размещенных между основными электродами, и показал, что это должно позволить решить данную задачу. Опытная проверка надежно подтвердила такое предложение, и вся последующая ставка была сделана на данный тип коммутатора.

Буквально через месяц Нейман бодро сообщил по телефону Павловскому, что нужный конденсаторный материал они уже получили, и я должен приехать на его испытания и совместные с ними измерения электрических характеристик, обсудить дальнейший ход дел и официально принять выполненный этап работ. Я без задержки отправился в НИИРДС. Оказалось, что в качестве основы диэлектрического материала было использовано специальное мелкокристаллическое стекло – ситалл. Его относительная диэлектрическая проницаемость составила около 450 на частоте 1 МГц при достаточно высокой электропрочности. По моему предложению этот материал получил название «сиконд» – от начала слов «ситалл конденсаторный», что позже закрепили и документально. Окончательно договорились, что рабочее напряжение конденсаторов будет составлять 50 кВ, емкость каждого – 5000 пФ, габаритная высота – 35 мм, диаметр – 130 мм, что позволит размещать в индукторе 12 таких конденсаторов, запасая энергию в 75 Дж. Так как конденсаторы должны закрепляться между жесткими металлическими дискообразными электродами с внешним диаметром около 1000 мм, то для выборки допусков на изготовление всех деталей индуктора и его монтаж, а также

уменьшения механических напряжений отрыва контактных электродов конденсаторов от вожженных в поверхность конденсаторов тонких слоев металлов (обычно – серебро) эти электроды должны быть легкодеформируемыми в виде части сильфонов, и такие контакты изготовит ВНИИЭФ и поставит в НИИРДС. Общее название конденсаторов на разные электрические номиналы согласно ГОСТ стало «конденсаторы К15-10».

Д. И. Зенков быстро оформил чертежи на три варианта деформируемых контактных электродов для конденсаторов, их изготовили, испытали, выбрали лучший образец и заказали заводу ВНИИЭФ срочно изготовить 1500 штук. Но выяснилось, что сиконд очень агрессивный материал и разъедает при его плавке стенки тиглей, включая графит и платину. Не подвергается коррозии только иридий, отличающийся от платины высокой температурой плавления (2440 °С) и большей устойчивостью к химическим воздействиям кислот, включая царскую водку. Иридий значительно тверже платины. Однако попытки достать его институтом радиодеталестроения не увенчались успехом, так как расходование этого драгметалла контролировалось Министерством финансов СССР и лично его министром В. Ф. Гарбузовым. А для отработки типовой технологии изготовления конденсаторов на опытном заводе НИИРДС нужно было около 25 кг металла. Я попросил написать от имени Гайлиша письмо Ю. Б. с обоснованием потребности в иридии, вернулся с этим письмом на «объект», рассказал все Павловскому, и он отправил меня к Харитону. Ю. Б., как обычно, тактично, но детально все расспросил (казалось, что он хочет однозначно понять и убедиться, знает ли человек данную тему и можно ли доверять его словам), прочитал письмо и сказал, что переговорит с директором Б. Г. Музруковым, возможно, свяжется с нашим министром Е. П. Славским и обязательно позвонит В. Ф. Гарбузову, а потом известит нас. Через два дня к Павловскому приехал помощник Харитона – А. И. Водопшин с запиской от академика, в которой сообщалось, что вопрос решен и мне надо ехать к министру финансов. Я, конечно, слышал о Гарбузове, тем не менее, познакомился в библиотеке с краткими сведениями о нем. Василий Федорович родился в 1911 году, окончил в 1933 году Харьковский финансово-экономический институт, кандидат экономических наук (1933 г.), работал в Министерстве финансов СССР, был директором Киевского финансово-экономического института (1944–1953 гг.), с 1950 года – председатель Госплана Украины. Министром финансов СССР назначен в 1960 году (в этой должности он проработал до 1986 г.). Приехав в Москве по нужному адресу, я заказал пропуск, и тут же ко мне подошел мужчина и сказал, что проводит меня к министру. В огромной приемной находилось более 10 человек, по-видимому, ходаков и просителей, но меня сразу провели в кабинет к Гарбузову, и сопровождающий доложил министру обо мне. В кабинете находилось еще шесть человек. Гарбузов бодро вышел из-за стола и поздоровался со мной за руку. Я еще раз представился и обратил внимание, что он тщательно разглядывает меня. Наверное, ожидал увидеть степенного и солидного человека в гражданской одежде с наградами на лацканах пиджака, а тут

сравнительно молодой человек в простой дорожной одежде и даже без галстука и портфеля. Гарбузов сказал, что все присутствующие здесь – это сотрудники и специалисты-консультанты министерства, что у меня 15 минут и я должен кратко, но понятно объяснить, что мы разрабатываем в институте, зачем это стране надо, какой будет экономический эффект и почему требуется именно иридий. Мне показалось, что министр сомневался в моих способностях проявить себя так, как он требовал. Но, я, имея уже кое-какой опыт, представлял, как надо говорить, на что делать акценты, какие примерно последуют вопросы и как надо отвечать. Поэтому несколько раз прорепетировал свое выступление еще на объекте и прокрутил его в поезде, чтобы убедить хозяйственного и прижимистого министра предоставить для наших дел требуемый металл в необходимом количестве. Тематику я хорошо знал и без запинок спокойно дал свои ответы, уложившись точно в 15 минут. Гарбузов поблагодарил за ясное изложение проблемы и добавил, что ему все понятно, задачи ВНИИЭФ решает срочные и важные для защиты страны. Последовал ряд вопросов присутствующих: делали ли тигли из жаропрочной стали, тантала, графита, и т. д. Я исчерпывающе ответил. Мне обсуждение показалось несерьезным, а для формы, ибо решение о выделении иридия уже, скорее всего, изучено и принято. Возможно, что Гарбузову звонил об этом металле сам всемогущий Славский, в министерстве которого тоже занимались добычей иридия как попутного металла, сдавая его в государственный фонд. Гарбузов подвел итоги и заявил, что иридий нам предоставят. Указал затем на одного из присутствующих, с которым я далее должен обговорить конкретику поставки драгметалла, и попрощался со мной. Этому чиновнику я сказал, что иридий следует как можно скорее переправить в НИИРДС (написал его адрес и телефоны Гайлиша) для использования в работах по договору с ВНИИЭФ. Металл там был нужен еще несколько недель назад. Мне было уверенно заявлено, что они его получают в течение 10 дней. И я ушел, задержавшись в столице еще на два дня, чтобы посетить несколько институтов и патентное ведомство. На четвертый день я позвонил с объекта Нейману в НИИРДС, чтобы передать ему хорошую весть об иридии и необходимости контроля за прохождением драгметалла через их инстанции, но он прервал меня и радостно сообщил, что вчера весь иридий «фельдгегери» уже им доставили в спецхранилище. Вот так оперативно работали в советское время и решали сложные финансовые и государственные вопросы!

С учетом согласованных геометрических размеров конденсаторов стала ясной нужная высота (50 мм) четырехканальных разрядников на 50 кВ. Была разработана Зенковым конструкция такого разрядника, последовательно проведены его испытания с контролем пусковых характеристик и доработкой деталей. Для измерений параметров импульсов тока и напряжения потребовалось создать серию датчиков с субнаносекундным временем нарастания. А. Я. Бродский разработал удобную систему регистрации контроля индивидуального свечения каждого искрового канала в разрядниках (в опытных образцах число таких каналов

достигало восьми) и записи этой информации при каждом запуске одного или более разрядников. Эта система стала дипломной работой Бродского в МИФИ, руководителем которой являлся я. В окончательном варианте три разрядника проверили на механическую прочность при давлении азота 1,2 МПа (12 ати), затем – на ресурс работы круглосуточно с частотой запуска два раза в минуту при запасе по электропрочности их газового промежутка, создаваемого давлением азота, близком к 50 %. В серии из пяти тысяч включений разброс задержки пробоев не превысил ± 2 нс ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$) с четким удержанием искровых каналов в каждом разряднике и равномерным распределением общего тока по ним; в течение последующих еще пяти тысяч срабатываний временные и электропрочностные характеристики коммутатора практически не изменились. Это был триумф разработчиков, гарантирующий нужную синхронность взаимного включения индукторов в ЛИУ и возбуждения в тракте электрических полей в соответствии со временем пролета пучка электронов по оси ускорителя.

На заводе ВНИИЭФ начали изготавливать по чертежам НИИРДС с нашими корректировками необходимые устройства, которые быстро переправлялись в Ленинград. Мы стали получать опытные образцы сикондовых конденсаторов, проводить их высоковольтные испытания в нужных режимах, отрабатывать совместно с технологическим отделением приемы опрессовки конденсаторов внешней твердотельной изоляцией (эпоксидным компаундом или виксентом) и результаты всех наших опытов сообщать в НИИРДС. В результате совместных усилий сотрудников двух предприятий была создана менее чем за 9 месяцев технология изготовления новых эффективных конденсаторов типа К15-10 и начат на опытном заводе НИИ «Гириконд» выпуск этих накопителей энергии. Кстати говоря, конденсаторы К15-10 на разные рабочее напряжение, емкость и габариты выпускаются промышленно до сих пор и являются лучшими из твердотельных конденсаторов в России по своим характеристикам, их поставляют даже за рубеж. Думаю, что я и Д. И. Зенков имеем право гордиться нашим вкладом в это дело.

Д. И. сконструировал индуктор с внешним диаметром 1000 мм, чтобы их можно было изготавливать на технологической базе механического цеха физического отделения. Интересным было решение конструктора по выполнению изолирующей прокладки из многих листов пленочного полиэтилена, сваренных с центральной толстостенной полиэтиленовой трубой. Из таких индукторов решено было скомпоновать ускоряющую систему ЛИУ-2 в виде трех автономных ускорительных блоков с 16 индукторами в каждом, обеспечивающих на холостом ходе получение суммарного ускоряющего напряжения в полости тракта до 2400 кВ. С учетом доставленной первой партии конденсаторов изготовили натурный образец индуктора с двенадцатью конденсаторами в нем и отработанной конструкцией четырехканального разрядника, всесторонне испытали индуктор при напряжении 50 кВ и обмерили его характеристики, получив надежные результаты, полностью убедившие нас в правильности выбранного направления ЛИУ-строения. Однако выявилось, что для повышения электропрочности ин-

дуктора конденсаторы К15-10 целесообразно заряжать не от выпрямителя на 50 кВ, а импульсно за 5 мкс. И такую систему зарядки тоже быстро разработали.

К созданию пульта управления работой ускорителя ЛИУ-2 и контроля срабатывания его узлов подключили В. И. Амеличкина и позднее – В. П. Царева.

Параллельно с перечисленными выше исследованиями велась и разработка сложной системы синхронного инициирования развития пробоев 192 каналов в 48 разрядниках. Решено было компоновать ее по принципу десятикратного ступенчатого размножения импульсов с 1 до 100 с одновременным соответствующим увеличением количества передающих высоковольтный импульс кабелей и двукратным повышением амплитуды импульсов с 6,25 до 25 кВ. Коммутатором первой ступени являлся промышленный тиратрон, а последующих ступеней – созданные нами газонаполненные разрядники тоже с управляющими ламельными электродами, имеющие субнаносекундную точность включения. Причем в коммутаторе на 12,5 кВ применен один управляющий электрод в виде тонкостенного невысокого стакана, а в выходной ступени на 25 кВ установлены восемь ламелей. Общая протяженность ускоряющей системы ЛИУ-2 должна составить около 4 м, и потому время транспортировки по ней ускоряемых электронов равно примерно 15 нс. Поэтому синхронность момента включения разрядника в каждом последующем по длине тракта индукторе с момента влета в его область ускорения электронов в пределах указанного интервала 15 нс достигалась заданием временной программы поступления на ламели импульсов запуска с наносекундными фронтами постепенным увеличением длин в пределах 3 м радиочастотных кабелей выходной ступени, от первого индуктора до последнего. При этом к каждому выходному кабелю присоединялись два ламельных электрода коммутатора индуктора. По принципу действия все кабели ступеней системы запуска должны синхронно заряжаться тоже за указанное выше время 5 мкс. С автономно отработанными элементами и разрядниками собранную систему испытывали в течение 1000 ее включений и получили отличные результаты.

Оставалось быстро сделать инжектор пучка электронов и генератор ускоряющего напряжения для него. Я, Босамыкин и Клементьев приступили к соответствующим работам. Решено было в электронной пушке на начальном этапе использовать прямонакальный катод из 18 радиально расположенных вольфрамовых спиралей для получения тока пучка около 2 кА. Оценки показывали, что энергия электронов должна составлять 250–500 кэВ. Нашли необходимый фарфоровый изолятор на это напряжение и обработали его торцы алмазными резцами. Зенков разработал чертежи на детали пушки в виде плоского диода с катодом диаметром 40 мм и анодом из проволочной вольфрамовой сетки. В качестве источника высоковольтного напряжения до 500 кВ собрали десятикаскадный экранированный генератор умножения напряжения с сикондовыми конденсаторами в каскадах и точно управляемым газонаполненным тригatronом в первом каскаде.

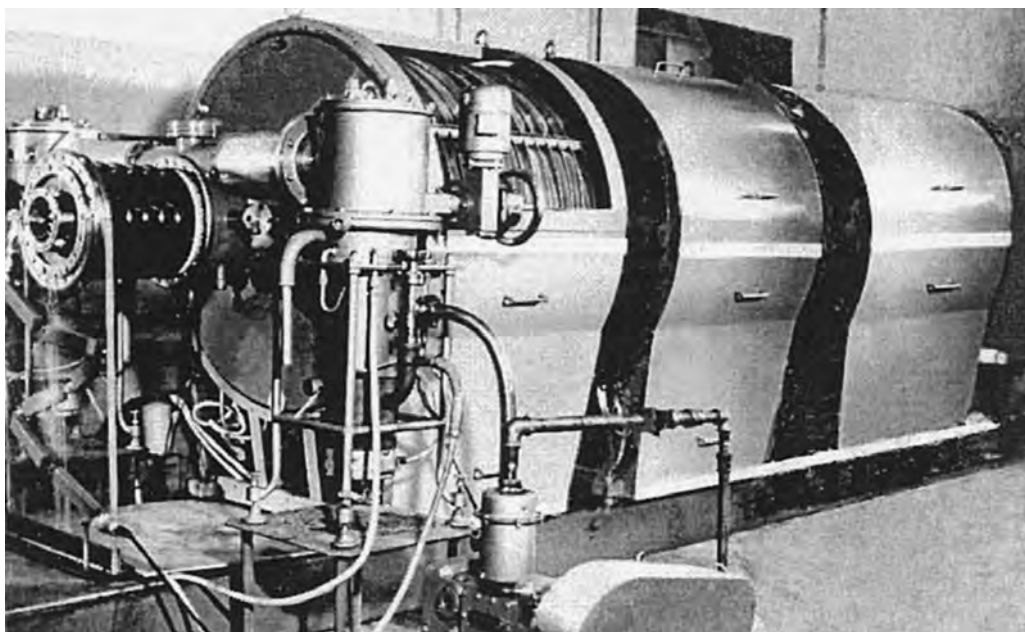
По результатам перечисленных разработок и экспериментальных исследований я оформил в начале 1967 года уже второй отчет «Безжелезный линейный

индукционный ускоритель» указанных выше авторов первого отчета о проекте и дополнительно Д. И. Зенкова, В. А. Тананакина, А. Я. Бродского и В. И. Амеличина. После прочтения отчета А. И. пригласил меня к себе и сказал, что страницу 6 следует перепечатать и внести в нее фразу: «...одним из авторов предложено для получения одиночных или серий импульсов с токами более 1000 А использовать в ЛИУ безжелезные магнитопроводы» и добавить соответствующую ссылку «А. И. Павловский. Диссертация. 1965». Я на некоторое время оторопел, а потом прямолинейно произнес: «Александр Иванович! Ведь диссертацию будут смотреть другие сотрудники и они не обнаружат в ней никаких намеков на такие магнитопроводы! Если бы они там обсуждались, то я бы давно внес в отчет подобную фразу и соответствующую ссылку. По этой же причине аналогичной фразы нет и в первом отчете по ЛИУ». На это я услышал такой ответ: «...если работает бетатрон без сердечника, то и ЛИУ может быть без сердечников. Однозначно этого в диссертации нет. Но отсюда следует некая логика применительно к ЛИУ». А ранее, еще после первого отчета, я снова просмотрел диссертацию А. И. и ничего близкого там к ЛИУ не нашел. Не нужен в бетатроне обтекаемый током тороидальный металлический кожух. Есть только замкнутые силовые линии магнитного поля центрального соленоида. Так ведь соленоиды применяют еще со времен Фарадея! Посему это была «антилогика», до которой А. И. додумался только после разработки совмещенного индуктора с тороидальным магнитным потоком и возникшего желания навязать свой приоритет в этой идее. Если бы мысль о безжелезном ЛИУ возникла у А. И. при написании диссертации, то такое оригинальное решение он бы обязательно в ней отметил! Да и упоминание во фразе тока с пучком более 1000 А еще и в сериях их импульсов ничего для наших целей не давало (нужны токи в десятки килоампер и более!). Это еще раз показывало, что А. И. этот вопрос изначально не прорабатывал. Тем не менее мне было сказано, что изменение в отчете я должен сделать без обсуждения и что нам всем от этого хуже не будет. Я приказ выполнил, хотя это дополнение явилось позже настоящим яблоком раздора между Павловским и Кулешовым. С позиций прошедших затем десятилетий я считаю, что зря А. И. в приказном порядке заставлял вписывать в отчеты и другие документы его личный приоритет в идеи безжелезных ЛИУ. Вполне достаточно его других первооткрывательств. Примером служат десятки полученных в соавторстве свидетельств на изобретения безжелезных индукторов и ЛИУ. Это отлично понимали Кулешов, Босамыкин, Тананакин, Сельченков и я, и, по-видимому, многие другие сотрудники.

На переходные процессы в натурном индукторе с учетом всех его электрических параметров, емкостей и индуктивностей рассеяния элементов я составил, как в воздушном трансформаторе с одновитковыми тороидальными витками, соответствующие уравнения, которые численно просчитали на только что появившейся у нас ЭВМ типа «Мир». Были получены зависимости амплитуд, форм и длительностей импульсов ускоряющего напряжения на резистивной нагрузке и тока через нее от сопротивления нагрузки. Программированием уравнений и вво-

дом их в ЭВМ занимался Булат Сумгатович Макаев. Полученные расчетные данные хорошо согласовались с экспериментально измеренными характеристиками. Впоследствии В. С. Босамыкин обратил внимание на то, что, если первичный и вторичный торы имеют общую часть стенки, то можно переходной процесс рассматривать и как разряд кольцевого конденсатора через четырехканальный коммутатор одновременно на индуктивность первичного тора и нагрузку (пучок электронов) через индуктивность вторичного тора. В пределах точности наших вычислений и практических измерений все результаты совпали. Это позволило мне трактовать действие ЛИУ-2 как действие ускорителя, функционирующего на стыке чисто индукционных линейных ускорителей и серии импульсных (не тороидальных) трансформаторов, одновитковые вторичные катушки которых соединены последовательно и подключены в местах стыков к кольцевым электродам ускорительного тракта ЛИУ, т. е. некоему гибриду ускорителя прямого действия.

К середине 1967 года большинство комплектующих элементов и узлов ЛИУ-2 было получено и начались монтаж его систем, пульта управления и проверка их включений на имитаторы нагрузок. Значительный вклад в эти работы внесли лаборанты В. Е. Белухин, А. С. Гончаров (позже – инженер), Е. Г. Дубинов, В. А. Лазарев, Л. А. Малов (затем – техник, инженер), Н. Ю. Мирохина. В конце 1967 года впервые в мире ввели в действие безжелезный линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2 с индукторами на основе тороидальных колебательных контуров, созданный под научным руководством А. И. Павловского.



Линейный ускоритель ЛИУ-2

Этот ускоритель сразу показал стабильную и устойчивую работу, подтвердив теоретические предпосылки, схемные и технические решения, положенные в основу его реализации. С термокатодом в инжекторе он обеспечил ускорение до энергии 2 МэВ пучка электронов с током 2 кА (ток ограничивался эмиссионной способностью катода) и длительностью по основанию около 70 нс и проводку его по длине 5 м. В рабочую смену производилось до 60 включений установки. Для точного измерения энергетического спектра пучка ускоренных электронов я предложил магнитный спектрометр с полукруговой фокусировкой. Такой спектрометр был разработан при ведущем моем участии, эффективно использован в экспериментах и описан в статье в журнале ПТЭ. Проведенный в последующие три года комплекс экспериментальных исследований работы отдельных узлов и ЛИУ-2 в целом позволил накопить большой практический опыт и показал, что созданные многоканальные управляемые разрядники индукторов и системы их запуска решают проблему синхронизации большого числа индукторов по необходимым временным программам, а изобретенная система транспортировки сильноточного пучка обладает высокой эффективностью. Ускоритель использован для изучения накачки выведенным электронным пучком CO_2 -лазера (разработанного начальником лаборатории Л. В. Сухановым с сотрудниками), рабочий объем которого около 6 л располагался в продольном магнитном поле, являющемся продолжением ведущего поля в тракте ЛИУ-2. Здесь был получен ряд новых научных результатов, и мы совместно подготовили об этом открытую статью в журнал, но Харитон почему-то запретил публикацию. Значительный цикл исследований проведен по измерению зависимостей от параметров релятивистской инжекции захвата электронов в ускорение безжелезного бетатрона. Пришлось снова почти на год включиться в коллектив бетатронщиков во главе с Кулешовым. Изучение совместной работы составной установки ЛИУ-2-БИМ-234 позволило сопоставить экспериментальные данные с теорией захвата электронов в циклическое ускорение и определиться с перспективами целевой разработки инжекторов на энергию электронов свыше 1 МэВ. Сведения по инжекции электронного пучка в бетатрон как начальной и важной фазе ускорительного цикла, определяющего величину ускоряемого заряда и в конечном итоге интенсивность тормозного излучения, затем были опубликованы [51], как и об электрической схеме и конструкции нового инжектора на энергию электронов до 2 МэВ [52]. В этом инжекторе успешно применен разработанный емкостный делитель напряжения на 2 МВ из 112 сикондовых конденсаторов К15-10 для распределения напряжения по восьми последовательным ускоряющим промежуткам инжектора. Одновременно емкость делителя образовывала совместно с индуктивностью вторичной обмотки повышающего трансформатора колебательный контур, магнитно связанный с первичным контуром, причем контуры имели близкие собственные частоты (600 кГц). Такие устройства обычно называют трансформаторами Тесла по имени его гениального сербского изобретателя. Трансформатор, ускорительная трубка и делитель размещались в стеклопластиковом корпусе,

заполненном трансформаторном маслом. Однако инжектор оказался достаточно сложным в эксплуатации, и через несколько лет от него отказались.

В указанный период была проведена модернизация ЛИУ-2 с целью экспериментального изучения формирования и ускорения пучка электронов с током до 25 кА со взрывоэмиссионным холодным катодом. Для подачи на такой катод ускоряющего напряжения впервые разработан и использован сумматор вторичного напряжения с 16 индукторов (блока индукторов) вместо ранее использовавшегося генератора Аркадьева–Маркса. Сумматор изготовлен в виде тонкостенной, вставленной в вакуумный тракт металлической трубы длиной 1,4 м с коническим наконечником. В совокупности с импульсным продольным магнитным полем, создаваемым при разряде конденсаторной батареи через намотанный на ускорительную трубку соленоид, сумматор представлял собой безфольговый магнитоизолированный сильноточный электронный диод. Его катод – одно или несколько концентрических колец с максимальным диаметром до 80 мм из танталовой фольги толщиной от 20 до 100 мкм. В кольцах сделаны прорезы для ликвидации замкнутых контуров. При срабатывании в блоке всех разрядников прикладывалось к сумматору импульсное напряжение до 0,4 МВ, под воздействием которого с катода эмитировался трубчатый пучок электронов с током до 25 кА. Этот пучок вводился в тракт последующего блока, где ему сообщалась дополнительная энергия около 400 кэВ, и затем он мог транспортироваться в продольном магнитном поле еще на 2 м. Апробирована компрессия сильноточного пучка за ускорителем в плавно нарастающем продольном магнитном поле. Например, сформированный катодом трубчатый пучок с внешним диаметром 62 мм, с током 12 кА и проводимый в поле с индукцией 0,27 Тл сжимался в поле 3 Тл до 10 мм при потере до 30 % тока пучка. Изучены создание сжатым пучком тормозного излучения из мишени и его просвечивающая и разрешающая способности. Пучок электронов был выведен через тонкую фольгу в дополнительный объем, в котором изучена под воздействием электронов пучка флюоресценция нескольких заполняемых объемов газов. Эти работы велись совместно с Л. И. Сельченковым, В. П. Варовой и его коллегами. Выполнен также ряд других физических исследований с ускоренным пучком электронов [50].

Главный итог проделанных работ – практическая демонстрация надежного функционирования нового оригинального технического типа линейного ускорителя. Немало ученых-электрофизиков и ускорительщиков первоначально считало это недостижимым. Дальнейшее развитие этого направления начало активно обсуждаться, намечены были разработка во внешних организациях более энергоемких конденсаторов на напряжение 100 кВ и выше и соответственно создание под это напряжение более многоканальных управляемых коммутаторов. Однако концепция накопителя энергии из сосредоточенных конденсаторов вскоре существенно изменилась, о чем речь пойдет ниже.

Ускоритель ЛИУ-2 привлек внимание директора Института теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ, г. Москва) профессора И. В. Чувило, со-

трудники которого приступили к изучению и разработке методов коллективного ускорения частиц, нового и модного тогда направления получения ионов высоких энергий, ранее предложенного академиком В. И. Векслером. Чувило обсудил с Павловским этот вопрос, и А. И. направил меня в ИТЭФ для проведения там семинара с рассказом о ЛИУ-2. Я прибыл в институт, взяв с собой только видовые фотографии и осциллограммы сигналов с датчиков, встретился с Чувило. Он попросил предварительно кратко ознакомить его и главного инженера Н. В. Лазарева с информацией об ускорителе, что я и сделал. В ходе нашего разговора я понял, что эти товарищи слабо себе представляют наносекундную высоковольтную технику. В институте действительно работают только с процессами в десятки микросекунд и больше, а это в тысячи раз длиннее наносекундных времен. Мне стало все ясно. Я понял, что привезенного иллюстративного материала мало и для доклада понадобится еще ряд плакатов. А посему договорились, что семинар пройдет во второй половине следующего дня, а в первой половине я быстро нарисую на больших листах ватмана ряд схем и графиков. После этого разговора Лазарев организовал мне интересную экскурсию по лабораториям и действующим в них установкам. На следующий день я нарисовал толстым черным карандашом около 15 плакатов. На семинар в конференц-зале ИТЭФ собралось около 200 человек. Чувило объявил тему доклада, немного рассказал обо мне и далее пояснил, что возможно такой ускоритель вскоре с помощью ВНИИЭФ будет установлен и в их институте. А потому слушатели пусть не стесняются задавать вопросы об очень любопытном и оригинальном ускорителе электронов. Я сразу сказал, что выступаю экспромтом, письменного плана раскладки материала и тем более текста доклада у меня нет. Поэтому заранее извинился за возможную непоследовательность в изложении информации. По завершении моего выступления, длившегося 1,5 часа, последовало много вопросов; мои ответы заняли еще более часа. После семинара Чувило опять пригласил к себе в кабинет меня, а также Лазарева и начальника отдела линейных высокочастотных ускорителей профессора Илью Михайловича Капчинского, которого я уже заочно знал как автора книг по динамике пучков в ускорителях и очень уважаемого специалиста в среде ускорительщиков. Только Капчинский задал мне на семинаре около десяти разнообразных вопросов. (Позже я неоднократно посещал ИТЭФ и ближе познакомился с И. М., узнав, что он имел здесь прозвище «капо» и даже отзывался на него.) Чувило и Лазарев отметили, что они не заметили никакого нарушения логики в моем докладе и он им понравился. А главное, теперь они однозначно определились с необходимостью запуска у них такого же ускорителя и потому будут просить руководство нашего министерства (ИТЭФ тоже входил в состав Минсредмаша) дать указание ВНИИЭФ передать им конструкторскую документацию на ЛИУ-2 и впоследствии курировать монтаж и запуск ускорителя в опытную эксплуатацию, обучить персонал обслуживанию установки и работе на ней. Действительно, такие команды из министерства были спущены ВНИИЭФ, чертежи на ЛИУ-2 передали в ИТЭФ, где его оперативно изготовили и с помо-

шью сотрудников физического отделения наладили (неоднократно выезжали я, В. А. Тананакин, В. С. Никольский, А. П. Клементьев), обеспечив с 1973 года в течение более 10 лет проведение физических исследований, главным образом по коллективным методам ускорения. Мне эти контакты со специалистами ИТЭФ затем очень пригодились, когда понадобилось определиться с ведущей организацией при представлении на защиту моей диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Так как в ней половина объема занимали исследования, связанные с разработкой ЛИУ-2, то, чтобы еще ближе познакомиться с этими сведениями, ИТЭФ выразил сам заинтересованность стать такой организацией. Институт представил в 1974 году четко аргументированный отзыв в соответствии с требованиями ВАК, подписанный доктором технических наук профессором И. М. Капчинским и кандидатом технических наук Н. В. Лазаревым и утвержденный И. В. Чувило. Отмечу одну фразу из отзыва: «Сколько-нибудь серьезных замечаний к материалу, изложенному в диссертации, нет».

По результатам разработки ЛИУ-2 было разрешено сделать ряд кратких открытых публикаций [46–54]. Статьи [48, 49] явились тезисным изложением докладов, которые я сделал на общесоюзной конференции по газоразрядным приборам в Рязани, организованной действующим тогда там НИИ газоразрядных приборов. Более подробно ЛИУ-2 впервые описан в [55]; многоканальные разрядники с ламельными управляющими электродами и последующие из результатов их разработок и исследований другие варианты коммутаторов с управлением инициирования пробоя по методу возмущения распределения электрического поля, а также многокабельные системы запуска с наносекундной точностью таких ключей представлены в моем обзоре [56].

В 1968 году В. С. Босамыкин участвовал в качестве слушателя в международной конференции по ускорителям в Новосибирске (тогда сотрудникам ВНИИЭФ запрещалось выступать с докладами на таких конференциях), которая проводилась Институтом ядерной физики, возглавляемым академиком СО АН СССР Г. И. Будкером. С конференции В. С. привез копию доклада американского ученого, который тоже предлагал безжелезный индуктор, но в нем вместо конденсаторов (как это реализовано в нашем совмещенном индукторе) были радикально проложены отрезки кабелей с полиэтиленовой изоляцией. При сообщении сотрудникам отдела наиболее полезной информации об ускорителях В. С. отметил любопытную независимость и одинаковость параллельного возникновения близких мыслей об устройстве безжелезных индукторов у ученых разных стран. Доклад заинтересовал меня и еще ряд сотрудников, и с него мы сделали фотографические копии. Далее оказалось, что этот доклад натолкнул В. С. на мысль о возможности замены центральных высоковольтных проводников кабелей общей металлической пластиной, а оплетки – такой же заземленной пластиной с изоляцией пластин одну от второй сплошной полиэтиленовой изоляцией и сворачиванием совместно их и изоляции в тор, образуя индуктор, в котором с одного конца

тороидальной линии включен кольцевой разрядник (конечно, торы довели еще с разработки совмещенного индуктора). Обращаю внимание, что я пользуюсь здесь терминологией того времени, так как никто из нас не знал о «радиальных или дисковых линиях, образованных двумя электродами с изоляцией между ними». В широко известных книгах по импульсной технике и неоднородным линиям, которыми мы пользовались, например, [57] и других, ничего о радиальных линиях с распределенными параметрами не говорилось. Я узнал о применении классических – в виде двух дисков – радиальных линий в радиотехнике только в 1969 году, когда мне в руки попала книга Рамо С., Уиннери Дж. «Поля и волны в современной радиотехнике» (М.-Л.: Госиздат техн.-теор. литературы, 1950), в которой, начиная со с. 397, приведен раздел с рассмотрением переходных процессов в таких линиях для радиального направления электромагнитной энергии из центра ко всем точкам периферии дисков или, наоборот, с их периферии к центру. У В. С. быстро созрело решение заявить тороидальный индуктор как изобретение. Он предложил соавторство Павловскому, и материалы пошли в Москву, правда, без ссылки на индуктор с кабелями как на аналог или прототип, надеясь, что информация об этом индукторе до ВНИИГПЭ еще не дошла, иначе им могли бы отказать в выдаче авторского свидетельства, посчитав предыдущее техническое решение эквивалентным. И действительно сведения об индукторе не обнаружили, и вскоре ВНИИГПЭ выдал авторам свидетельство на изобретение № 270913 «Линейный индукционный ускоритель» с приоритетом от 10.08.1968 г. (опубликовано 04.11.1971 г. в Бюллетене изобретений № 34). Я и Кулешов не знали об этом изобретении; думаю, что о нем у нас не слышал до 1971 года никто. Ниже я детальнее коснусь его. В полученном описании изобретения ничего не говорится о радиальных линиях в составе заявленного индуктора, как и об изоляции, так как автоматически мыслилось использование полиэтилена. В то же время по правилам требуется при подаче рукописи заявки дать в описании наиболее целесообразное техническое исполнение изобретения. Короче говоря, о заполнении пространства между пластинами водой авторы не сообразили. Формула этого изобретения такова: «Линейный индукционный ускоритель заряженных частиц, содержащий индукторы и ускорительный тракт, ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ тем, что с целью повышения мощности ускорителя каждый индуктор выполнен в виде тороидальной линии с распределенными параметрами, с одного конца которой в зазоре линии включен кольцевой разрядник, а с другого конца линии подключен резистор». Я дословно привожу оригинал формулы потому, что термин «тороидальная линия с распределенными параметрами» тогда и позже в научно-технической литературе не использовался и что данное изобретение явилось потом причиной ряда неприятных разговоров и размолвок Кулешова с Павловским в моем присутствии, причем Г. Д. поддерживал и я. Горький осадок от этих дискуссий у меня остался до сих пор. Суть здесь в том, что согласно закону об изобретательстве главным в описании изобретения является именно формула, и только она открыто публикуется, ибо лишь по содержащимся в ее

ограничительной и отличительной частях существенным признакам, представленным в статическом состоянии, судят официально о том, выполнимо ли технически изобретение и используется ли практически оно в каком-то устройстве. По данной же формуле индуктор вообще не работоспособен! Удивительно, как опытные и квалифицированные эксперты ВНИИГПЭ того (советского) времени выдали ошибочно свидетельство на изобретение. Связано это с тем, что нельзя «...с другого конца линии подключать резистор», ибо линию в этом случае не зарядишь, да и не нужен в индукторе такой резистор. Однако позже А. И. и В. С. в приказном порядке постоянно навязывали сотрудникам указывать в отчетах и иных документах это изобретение как основополагающее в безжелезном ЛИУ-строении на радиальных линиях (в ЛИУ-30, ЛИУ-10), хотя, кроме отмеченной ошибки, предложенный тор не является радиальной линией. Я ниже коснусь еще этого изобретения при изложении развития идеи создания ускорителя ЛИУ-30.

Любопытно, что у участника той же конференции – известного новосибирского ученого-ускорительщика профессора Е. А. Абрамяна тоже возникли мысли о замене проводников коаксиальных кабелей проводящими пластинами в индукторе и он быстро оформил заявку на изобретение. Но Е. А., как он позже рассказывал Кулешову, когда он перевелся работать в Институт высоких температур в Москве в отдел к Абрамяну, решил не вводить отличительным признаком в индукторе линию из пластин с полиэтиленовой изоляцией между ними, опасаясь применения экспертами ВНИИГПЭ принципа эквивалентности, а использовал как отличительный признак размещение в каждом индукторе у внешней стенки тора импульсный трансформатор для зарядки распределенной емкости этой линии. И тоже получил свидетельство на изобретение № 273893 «Ускоритель заряженных частиц» с приоритетом от 25.11.1968 г., т. е. позже на 2 месяца и 15 дней приоритета заявки В. С., о котором я узнал после опубликования формулы изобретения 05.07.1976 г. в Бюллетене изобретений. Заявитель тоже не называет свои электроды радиальными линиями, а – резонаторами, причем в качестве лучшей изоляции в них обсуждает сжатые под давлением более 1 ат азот и элегаз (SF_6).

Вскоре после подачи заявки В. С. завел со мной разговор о том, что он давно решил посвятить свою жизнь науке и даже не будет обзаводиться семьей, чтобы она не мешала ему двигаться к намеченной цели и достигать в ней высот. А в настоящее время он считает себя созревшим для более самостоятельных исследований и желает реализовать свою первую мечту – защитить как можно скорее кандидатскую диссертацию. Но, так как руководителем такой работы должен быть человек с ученой степенью, а я (автор) ее не имею, то, если я не возражаю, он поговорит об этом с Павловским и попросит его быть руководителем диссертационной работы. Разговор такой у них состоялся, и дня через два А. И. сказал мне об этом, добавив, что в качестве диссертационной темы выбрали по желанию В. С. изучение некоторых научно-технических аспектов «стабилизированного пучка Будкера», нового и модного в то время явления, и пусть пока В. С. числится у меня в группе. С этого времени Босамыкин не участвовал явно

(по плановым документам группы) в работах по ЛИУ-2, занимаясь, как я понимал, диссертационными делами, хотя с получаемой нами новой информацией постоянно знакомился. Я его о ходе дел не спрашивал, подразумевая В. С. подотчетным теперь Павловскому, как мы и договорились. А сам В. С. ими обычно не делился, считая остальных инженеров и научных сотрудников конкурентами, и быстро закрывал или переворачивал свои записи на столе, если кто-то подходил к нему. Раньше у нас не было так принято, мы свои новые результаты не скрывали, и мне, например, было неприятно такое поведение В. С. Поэтому я старался близко к столу В. С. не подходить.

В начале 1971 года Босамыкин вдруг обратился ко мне (позже он отметил, что сделал это по указанию А. И.) с предложением ознакомить меня с итогами о проделанной им за последние годы работе. В. С. сказал, что изучил ситуацию в науке со стабилизированным пучком и понял, что эта тема не диссертательна из-за сложностей с экспериментами по данному направлению. Потому А. И. и В. С. изменили тему диссертации на исследование некоторых вопросов линейного ускорения пучков и разработки других технических вариантов индукторов. Исходя из этого В. С. за прошедшее время теоретически и численно проанализировал переходные электрические процессы в ряде схем индукторов, предложил еще экзотические их технические решения с магнитным преобразованием потока в индукторах и совместно с А. И. направил несколько заявок на изобретения, а кое-что изложил в соавторстве с А. И. в научно-техническом отчете «Системы линейного индукционного ускорения», выпущенном пока в двух экземплярах (для себя и А. И.). Павловский считает, что данных материалов вполне достаточно для оформления диссертации, но нужны еще публикации в солидных журналах, и посему В. С. готовит сводную статью в журнал «Атомная энергия», где будут ссылки и на совместные со мной изобретения и публикации. А так как я тоже komponую материал для своей диссертации, то он и извещает меня, что не будет касаться экспериментов по разработке ускорителя ЛИУ-2 и проведенных на нем физических исследований и что тут мой вклад является определяющим, а потому у нас взаимных научных претензий быть не должно. Позже он даст мне на ознакомление отчет и статью, а пока они нужны ему.

Я удивился изменению тематики диссертации, так как об этом ни А. И., ни В. С. никогда не говорил, и заметил, что у меня приоритетных претензий к материалам диссертации не будет. Это же самое затем я заявил и А. И., подчеркнув, что диссертацию перед ее обсуждением следует показать мне, что и было обещано. Вскоре выяснилось, что обращение В. С. ко мне санкционировано Павловским в связи с тем, что я в начале 1970 года инициативно написал и оформил без соавторов отчет «**Применение радиальных линий с внешней коммутацией для линейных ускорителей заряженных частиц**», подробно обсудил содержание с начальником лаборатории Кулешовым, который подписал его на административном листе, после чего передал отчет на подпись А. И. как начальнику отдела. В отчете предложен и рассмотрен ряд схем индукторов, причем именно

с *радиальными линиями* (РЛ), и так они в отчете *впервые* и названы, проведено на их макетах измерение характеристик формируемых импульсов тока через нагрузку, получены полуэмпирические формулы для оценки параметров напряжения на нагрузке и тока в ней, сделаны расчеты индукторов с нагрузочными токами до 1 МА и др. Рассмотрено в индукторах использование ситалловой изоляции с $\epsilon = 1200$ и впервые *водяной изоляции* в РЛ. В выводах отмечено, что «...при внешней коммутации РЛ достигается высокая средняя напряженность ускоряющего поля (из-за создания на ускоряющем промежутке амплитуды напряжения, равной двум величинам зарядного напряжения РЛ) и уменьшается возмущение идущей с периферии к центру цилиндрической волны тока разрядки линии». Это являлось существенным преимуществом индукторов с учетом более удобного доступа к разрядникам, размещенным снаружи корпуса ускорительной единицы. Естественно, что в отчете я не сделал какую-либо ссылку на схемное предложение Павловским подобных индукторов, тем более с водоизолированными радиальными линиями. Отчет А. И. более года не подписывал, требуя включить его в соавторство со мной, чем очень возмущал Кулешова. Такое тогда не было принято. Я же изначально решил, что отчет написан вне плана, его материалы предварительно с А. И. не обсуждались, они могут войти в диссертацию как предложенные мною самостоятельно, что соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии (ВАК). А кроме того, А. И. однозначно будет руководителем моей диссертации и потому он как бы тоже соавтор проработки этих вопросов. Сыграло в моем мнении роль и то, что А. И. стал более занятым, подключившись к научным проблемам комплекса новых исследований, стал сильнее загружен общими делами отдела и физического отделения (А. И. стал уже и его начальником) с их многоплановой тематикой.

Еще раз напомним, что с 1964 года я и Кулешов, будучи начальниками научно-исследовательских групп, подчинялись непосредственно начальнику отдела – Павловскому – и занимались разными разработками: я – в области сильноточных ЛИУ, Г. Д. – развитием бетатроностроения. Однако в конце 1968 года Кулешов стал начальником лаборатории (он уже был доктор наук, как и А. И.), в состав которой вошла и моя группа, а потому ему пришлось знакомиться с электрофизикой и переходными процессами в узлах сильноточных линейных ускорителей, но в исследования на ЛИУ-2 он старался не вмешиваться, кроме организации совместных работ на комплексной установке ЛИУ-2-БИМ-234 (см. выше). Тем не менее в середине 1970 года Кулешов обратился ко мне с предложением, что коль я написал отчет о низкоимпедансных индукторах на РЛ, то не пора ли мне подумать о практической разработке и более мощного ЛИУ для получения пучка электронов с энергией около 20 МэВ и ускоряемым током в сотни килоампер для создания во ВНИИЭФ на основе этого ЛИУ комплексной моделирующей установки типа не реализованной пока в США установки EDNA.

А я еще в конце 1969 года, размышляя о дальнейшем совершенствовании безжелезных индукторов, обращался с согласия А. И. в КТБ в г. Хотьково

к К. И. Перешивко с просьбой разработать для нас технологию изготовления толстых (несколько сантиметров) пластин размером примерно 1 м^2 с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ свыше 100 и электропрочностью по объему более 50 кВ/см. Я тогда еще не мыслил о радиальных линиях и потому предполагал, что мы из этих пластин вырежем кольца и разместим их снаружи в первичных торах индукторов вместо дискретно размещенных сикондовых конденсаторов, образовав в каждом индукторе истинно кольцевой конденсатор, не имеющий паразитной индуктивности. Я договорился с Перешивко, что материал будет изготовлен из многих слоев стеклоткани, склеенных эпоксидным компаундом с добавлением в него в качестве наполнителя мелкодисперстного порошка титаната бария, имеющего $\epsilon \approx 1000$. Если работа получится, то мы заключим официальный денежный договор на технологию получения такого материала и изготовление из него партии пластин. Перешивко попробовал оговоренный метод и известил, что нужен мощный пресс для формования беспористого материала, а у них такого пресса нет. Тем не менее он сделал несколько образцов пластин размером около 100 см^2 , и мы их испытали. Диэлектрическая проницаемость оказалась равной 80–100, электропрочность примерно 60 кВ/см. При обсуждении результатов испытаний с Перешивко он сообщил, что теперь знает как сделать материал с гораздо бóльшим значением ϵ (от значения ϵ зависит очень важный показатель накопителя в ускорителе – плотность запасаемой энергии в единице объема и потому – мощность накопителя).

Поэтому через некоторое время я предложил Кулешову апробировать в РЛ индукторов твердотельную изоляцию Перешивко с $\epsilon > 100$, для чего заключить договор с КТБ на изготовление пластин большого размера, и если там согласятся, то сначала мы подробнее изучим электрические импульсные характеристики такой изоляции при небольших ее площадях, проверив влияние тангенса угла потерь на формирование высоковольтных импульсов (а он должен быть значительным, что не очень хорошо для короткоимпульсных режимов), и освоим нанесение проводящих покрытий на поверхности изоляции с надежной адгезией к ней. При положительных результатах обратимся через А. И. к руководству ВНИИЭФ за разрешением заключить договор на оговоренные выше работы и поставку в КТБ необходимого пресса. А сейчас можно было бы экспериментально смакетировать такие РЛ при размещении сикондовых конденсаторов по всей площади между дисковыми электродами. (Кстати говоря, такой вариант размещения конденсаторов в совмещенном индукторе мы обсуждали еще в 1967 году, т. е. надо было расположить конденсаторы в два ряда, затем – в три и т. д., что, естественно, вытекало из общего хода дел, но этот накопитель мы не именовали радиальной линией.) Мы с Г. Д. начали анализировать различные электрофизические и конструктивные аспекты подобных индукторов. Договорились, что при пробое хотьковской изоляции ее легко можно будет восстановить, высверлив каналы разрядов и залив эти места эпоксидным компаундом с наполнителем из титаната бария. Решили, что рабочее напряжение должно быть выше 100 кВ, а

заряжать линии следует от высоковольтного выпрямителя или импульсно, как и конденсаторов К15-10 в ЛИУ-2. В связи со значительно большей емкостью линий подразумевалась длительность зарядки за несколько десятков микросекунд. Долго не могли определиться с электропрочностью на внешнем и внутреннем диаметрах твердотельной изоляции из-за противоречивости требований к ней и удобства обслуживания индукторов при периодической их профилактической разборке и для возможной замены каких-то деталей. Рассмотрели варианты изготовления индукторов герметичными и заполнение их полостей сжатым элегазом (SF_6), но сошлись на заливке полостей хорошо изученным трансформаторным маслом. Однако работа с маслом очень негигиенична и вообще нелюбима экспериментаторами. Обсудили преимущества и недостатки замены масла глицерином и даже спиртом. И тут Г. Д. вдруг предложил заполнить полости концевых участков твердотельной изоляции дешевой экологически чистой водой, а время зарядки сократить до минимума, чтобы снизить токи утечки через воду при зарядке линий. Эта идея явилась несколько неожиданной для меня. Я был зациклен по аналогии с ЛИУ-2 на длинные времена зарядки. Стали думать о способах укорочения длительности зарядки и пришли к выводу, что его можно реализовать только при индивидуальной зарядке линий одного или более индукторов от низкоиндуктивного генератора умножения напряжения по методу Аркадьева–Маркса, и таких генераторов, включаемых одновременно или синхронно, теперь должно быть много. Опыт создания и применения подобных генераторов у нас уже был. Договорились, что следует собрать и изучить информацию об электрических свойствах воды и еще раз просмотреть сведения о проекте EDNA. Более того, так как Г. Д. никогда не начинал разговор с руководством без детально и всесторонне обдуманной идеи, то он попросил меня пока ничего никому не говорить о наших поисках, пока окончательно не разберемся здесь сами.

А очищенную от механических примесей дегазированную и деионизованную воду использовали первыми в качестве эффективной ($\epsilon = 81$) импульсной высокочастотной изоляции еще в 1958 году ученые США в конденсаторе на 240 кВ с запасаемой энергией 30 кДж. Как изоляцию ее начали изучать с 1963 года в СССР по предложению академика Г. И. Будкера в Институте ядерной физики в Новосибирске и почти одновременно под руководством В. Я. Ушакова в Томском политехническом институте. Во ВНИИЭФ в марте 1969 года начались испытания построенного по предложению В. А. Цукермана и О. П. Печерского первого импульсного ускорителя электронов РИУС-3В (напряжение 3 МВ, ток пучка 120 кА) с водоизолированной формирующей коаксиальной линией. Они обобщили известные сведения по электрическим характеристикам воды и провели ряд уточняющих исследований. Мы с Г. Д. интересовались этими работами и потому были в основном в курсе полученных результатов. Тем не менее договорились с ними, что надо дополнительно выяснить некоторые аспекты использования воды как изоляции. Но так как у Павловского с Цукерманом были несколько натянутые отношения, то Г. Д. не решился напрямую взаимодействовать с В. А. и его

коллегами, хотя сам Кулешов относился к В. А. с достаточным уважением. Зная о моих частых контактах с Цукерманом без всяких предубеждений, Кулешов и попросил меня поговорить с ним и Печерским по вопросам главным образом необходимой степени очистки воды от находящихся в ней природных солей и растворенных газов, оптимальной длительности приложения напряжения к жидкости, использованию металлов для электродов. Приняли меня В. А. и О. П. по-деловому, все рассказали и показали, ответили на мои вопросы и дали подборку копий статей по водоизоляции. (Замечу, что это свойство воды меня сильно заинтриговало; я собрал и продолжаю собирать всю информацию по изучению воды как диэлектрика, сам провел исследования и получил любопытные результаты по практическому способу повышения электропрочности воды. Позже я оформил и выпустил по воде препринт и две статьи, которые, судя по откликам и пришедшим мне письмам, вызвали значительный интерес у исследователей [58].)

С учетом сведений, изложенных в публикациях и полученных от Цукермана и Печерского, следовало, что нужна вода с удельным электрическим сопротивлением свыше 3 МОм·см (т. е. чище водопроводной воды примерно в 1000 и более раз), электроды из полированной нержавеющей стали, заряжать накопители с такой изоляцией нужно за время около 1 мкс, электропрочность воды зависит от времени зарядки и площади поверхности электродов и равна в среднем 170 кВ/см, высокочастотные свойства воды сохраняются постоянными до частоты 1 ГГц. На основе этого мы и начали углубленно прорабатывать индукторы для ЛИУ, но еще с комбинированной изоляцией в них – твердотельной и воды, определяться с выбором элементной базы и устройством генераторов зарядки линий. А как-то Г. Д. сказал, что он еще раз перечитал мой отчет по РЛ, и коль там рассмотрены радиальные линии только с водяной изоляцией, то почему бы нам не пойти по такому же пути? Зачем нужна еще и твердотельная изоляция с примерно таким же значением ϵ ? Зарядку мы же выбрали короткой, а это полностью решает проблему применения в линиях только воды! Я на мгновение задумался и тут же согласился. И начался второй круг проработки индукторов именно с водоизолированными РЛ, определение внутреннего и внешнего диаметра линий, исходя из первоначально взятой длительности ускоряющего поля 100 нс (время пробега электромагнитной волны по линии в одну сторону 50 нс), оценка необходимого напряжения зарядки в совокупности с толщиной слоя воды между дисковыми электродами. Договорились, что водоизолированные линии будем заряжать до 500 кВ, причем определяющим было то, что разрядники на 200 кВ мы уже делали и потому надо очередной разрядник создавать на напряжение больше в 2–3 раза, иначе неинтересно работать. Оценили толщину слоя воды в линиях в 50 мм. Как-то я даже пошутил, что если основные параметры начинаются на цифру 5 (50 мм, 50 нс, 500 кВ), то не назвать ли нам будущий ускоритель «ЛИУ пять в кубе»? Долгие дискуссии проходили по выбору коммутации разрядниками линий по внешнему диаметру или внутреннему. Каж-

дый из этих вариантов имеет свои положительные и отрицательные стороны. В конце концов, решили размещать разрядники по внутреннему диаметру из-за опасений сложностей надежного удержания ускоряющей трубкой длиной 10 см одного индуктора (две толщины слоя воды) ускоряющего напряжения, близко-го к удвоенному напряжению зарядки линии, то есть 1 МВ (вариант внешней коммутации). В соответствии с приведенными в проекте EDNA и в ряде других публикаций данными определили количество секций в 120 штук для получения пучка электронов с граничной энергией 30 МэВ и генерирования из размножающей сборки нужного потока нейтронов. Рассмотрели много и других вопросов, на которых я здесь останавливаться не буду. На анализ всего комплекса конструктивно-технических и высоковольтных решений, многократные обсуждения практической работы узлов и систем предполагаемого ЛИУ, а также для записи в журналы результатов всех рассмотрений понадобилось почти три месяца интенсивного труда, в основном вне рабочего времени. Даже выезжая в выходные дни на Мокшу, мы продолжали обсуждать вопросы создания ЛИУ на РЛ. Г. Д., имеющий каллиграфический почерк (в отличие от моего), вызвался написать черновик отчета о проекте линейного ускорителя, который окончательно назвали ЛИУ-30, обозначив числом граничную энергию ускорения электронов в мегаэлектронвольтах, чтобы затем с этим рукописным материалом ознакомить Павловского и получить его согласие на введение этих работ в план лаборатории и отдела. В самом деле Г. Д. примерно за 20 дней составил указанный черновик, аккуратно и четко нарисовал электрические схемы, эскизы устройств и графики (Г. Д. очень не любил неряшливо оформленные документы, поэтому старался всегда сам составить рукопись без грамматических и пунктуационных ошибок, без каких-либо исправлений, с исключительной ясностью и логикой изложения мыслей). Отчет назывался «Проект линейного импульсного ускорителя электронов на энергию около 30 МэВ с током пучка сотни кА». Мы умышленно не ввели в заголовок слово «индукционного», так как, по нашему мнению, в такой установке реализуются на стыке как бы три механизма ускорения частиц: линейный индукционный (имеется замкнутый вокруг оси ускорения магнитный поток), ускорения на импульсно-возбуждаемой стоячей волне, ускорителя на импульсных трансформаторах с одновитковыми первичной и вторичной обмотками, соединенными последовательно и заземленными (в двух последних случаях не обязателен тороидальный вокруг оси магнитный поток). Кроме того, в заголовок не внесли слова об облучательном комплексе на основе ускорителя и размножающей нейтроны сборки из делящихся материалов, хотя в тексте отчета этому была посвящена целая глава. Я внимательно прочитал рукопись и не увидел надобности что-либо поправить. Два момента оставил Г. Д. на общее решение: 1) кто еще должен быть соавтором отчета; 2) надо ли делать ссылку на мой отчет с применением РЛ. По первому вопросу определились сразу – это А. И. Павловский и его заместитель Л. И. Сельченков. А. И. всегда вводили в соавторы, так как он далее будет руководить научными проработками поставленных в отчете задач, да и

инициаторы отчетов сами стремились заполучить его в соавторы, ибо со ссылками на него затем легче будет пробивать во вспомогательных структурах заказ и получение материалов, приборов и оборудования, изготовление опытных или иных образцов в механической мастерской отдела, механическом цехе отделения или на заводе ВНИИЭФ. А так как мы договорились реально создавать ЛИУ-30 (разрабатывать технический и рабочий проекты, изготавливать и испытывать макеты узлов, монтировать и вводить в опытную эксплуатацию ускоритель и т. д.), то решение этих вопросов станет во многом зависеть и от Сельченкова. Г. Д. настоял и на внесении в список использованной литературы моего отчета, как первоисточника, в котором именно впервые рассмотрены водоизолированные РЛ. Я слабо возражал против, понимая свою оплошность с невнесением А. И. в соавторы отчета.

Через день или два Кулешов сказал мне, что поговорил с А. И., который просит нас вечером проинформировать его о возможности создания нового мощного ЛИУ и ознакомить с черновиком отчета. Сначала Павловский бегло просмотрел всю рукопись и список ссылок. Обладая хорошей интуицией, А. И., как мне показалось, мгновенно оценил данное предложение, тем не менее попросил рассказать ему историю возникновения идеи. Г. Д. напомнил о проекте EDNA и его основных выходных параметрах и что у него (Г. Д.) постоянно возникали мысли о необходимости создания подобной комплексной установки и во ВНИИЭФ. Но конкретизировалась идея только после прочтения моего отчета, где рассмотрено применение для этих целей РЛ с твердотельной и водяной изоляциями. Задав ряд вопросов, А. И. сказал, что предложение очень стоящее и он внимательно прочитает написанное. Однако добавил, что нечто подобное они ранее рассматривали с В. С. и даже получили свидетельство на изобретение, а ряд вариантов индукторов проанализировали в уже оформленном отчете. Затем Павловский открыл сейф, достал описание изобретения и отчет и положил все на стол со словами: «Возьмите почитайте, возможно, надо будет дополнить ссылки в вашем отчете». Это были и описание изобретения № 270913, и упомянутый отчет «Системы линейного индукционного ускорения».

Мы стали изучать авторское свидетельство и сразу отметили, что в описании нет слов «радиальные или дисковые линии», а тороидальные линии это не одно и то же, не обсуждено и применение воды в качестве изоляции. Но главное – согласно формуле изобретения данный индуктор вообще не работоспособен! Затем мы просмотрели предварительно отчет. Там опять было изложено описание указанного изобретения и еще ряд экзотических индукторов с системами умножения напряжения по методу Аркадьева–Маркса и системами преобразования магнитного потока, вряд ли технически реализуемыми. В отчете также не использован термин «радиальные линии», как не обсуждено и применение воды в качестве изоляции. Однако на с. 24 имелась фраза, близкая по смыслу той, которую А. И. приказал мне внести в текст второго отчета о ЛИУ-2 в 1967 году, но уже с более расширительным толкованием: «В 1963 году А. И. Павловский

предложил [15; А. И. Павловский. Диссертация. 1963] создавать изменяющиеся тороидальные магнитные потоки с помощью безжелезных контуров» (вообще-то, если быть точным, диссертация оформлена в 1964 г.). Мы с Г. Д. поудивлялись этому, решив, что и Босамыкина внести такую фразу в отчет обязал А. И., как руководитель будущей диссертационной работы. Кулешов, досконально знающий содержание диссертации А. И., подтвердил, что из нее никак не следуют безжелезные индукторы для ЛИУ и уж тем более с радиальными линиями, да еще с водяной изоляцией. Бетатрон и ЛИУ совершенно разные технические устройства. Тем не менее договорились, что Г. Д. возьмет завтра диссертацию А. И., и мы изучим в ней буквально каждое слово: может быть, где-то мы что-то ранее не уловили и есть в ней какие-то намеки на безжелезные торы с замкнутыми магнитными потоками! На следующий день мы внимательнейшим образом прочитали и отчет. Но... увы! Наши изначальные мнения подтвердились, и мы решили их отстаивать при очередной встрече с А. И.

В январе 1971 года Кулешов сказал мне, что Павловский просит нас обсудить у него рукопись отчета с нашим предложением и обоснованием создания ЛИУ-30 и на его основе комплекса с импульсным реактором. В назначенное время мы явились к нему и первым делом заслушали его мнение. В начале он заявил, что очень внимательно прочитал текст отчета. Идея очень ценная; на ее основе однозначно реально сделать во ВНИИЭФ сильноточный короткоимпульсный ускоритель для радиационных исследований и догнать США в разработке мощных генераторов тормозного излучения. Принцип разработки комплекса хорошо и доказательно обоснован. Он уже обговорил идею с научным руководителем ВНИИЭФ Ю. Б. Харитоновым, получил его одобрение и указание начать форсирование исследований по созданию в первую очередь ЛИУ-30, не забывая и доработки размножающей нейтроны системы типа известных импульсных быстрых ядерных реакторов. Для документального подтверждения этого требуется срочно оформить данный отчет с изменениями согласно общим замечаниям Ю. Б. и внести в план НИР это направление работ. Он такие изменения в рукописи уже сделал. Окончательный вариант отчета Ю. Б. хочет еще раз прочитать и утвердить. Теперь о некоторых нюансах. Сельченкова из авторов снять. Из названия отчета цифры убрать, так как они могут получиться другими. Целесообразно по аналогии с учеными Америки дать проекту какое-то благозвучное название, отвечающее сути. (Кулешов сразу добавил, что название уже есть – «проект ПУЛЬСАР».) И еще. В конец фразы на с. 6 «Ниже рассмотрен проект сильноточного линейного индукционного ускорителя ЛИУ» Харитон настаивает внести добавление «...(предложение А. И. Павловского)». Лично он (А. И.) считает необходимым из перечня ссылок [25–39] на документы по созданию и экспериментальному исследованию узлов и в целом ускорителя ЛИУ-2 убрать ссылку [39] на отчет А. И. Герасимова, а для увеличения веса реальности разработки такого ЛИУ добавить отчет А. И. и В. С. «Системы линейного индукционного ускорения», как более ранний и уже имеющий регистрационный номер. Снять же от-

чет Герасимова придется по формальным соображениям, так как он его еще не утвердил и отчет не имеет номера. На него можно будет сослаться в будущем.

Наступила немая пауза, как у Гоголя в «Ревизоре». Через некоторое время Г. Д. произнес: «Но ведь мы от Вас никогда никаких предложений по разработке проекта ЛИУ-30 на водоизолированных радиальных линиях не слышали. Это наша инициатива!» – «Во-первых, внести такое дополнение требует Ю. Б., а не я. Во-вторых, в этом дополнении и нет слов о радиальных водоизолированных линиях. В-третьих, если в трех предыдущих отчетах уже указано, что именно мной предложены безжелезные ускорители на основе разработки безжелезных бетатронов, то почему это не отметить и здесь. Хуже от этого не будет?» – «Но бетатрон это далеко не ЛИУ и уж тем более не ЛИУ на водоизолированных радиальных линиях». – «Все ускорители без ферромагнитных сердечников разработаны на основе моего предложения о создании безжелезного бетатрона. Это уже признано многими. А ЛИУ на радиальных линиях прямо следует из нашего изобретения № 270913». – «ЛИУ на радиальных линиях с водяной изоляцией впервые рассмотрен только в отчете Герасимова, только он сынициировал разработку проекта ЛИУ-30. По вашему совместному изобретению, как я уже доказал, ЛИУ не может ускорять частицы!» – «Отчета Герасимова еще нет, он не утвержден мной. А элементы радиальных линий в моем изобретении с Босамыкиным уже присутствуют». Тут всегда корректный Г. Д., по-видимому, уже сдержаться не мог и произнес слова с утрированными, но точными сравнениями сути обсуждаемых приоритетов: «Винты и/или болты присутствуют как элементы практически в каждом устройстве. Но все устройства разные, предназначены для различных целей. И вообще, к ускорителю ЛИУ-30 на водоизолированных радиальных линиях ваши технические решения имеют такое же отношение, как кино к кинологии или как медведки к медведям! Так что ссылка Ваша на схожесть каких-то конструктивных металлических элементов с РЛ просто абсурдна!». Вот на эти аргументы А. И. уже ничего возразить не смог. Он на некоторое время задумался, затем произнес: «Все. Разговор окончен. Можете идти. Я действую по указанию Ю. Б. Харитона и отдаю отчет в печать. Если с чем-то не согласны, обращайтесь к Ю. Б.»

Мы ушли несколько обескураженные такой бесцеремонностью. ЛИУ-30 был разработан нами, отчет написан без каких-либо обсуждений с А. И. По меньшей мере я надеялся, что он скажет о нашем большом вкладе в это дело и похвалит. Но такого не произошло. Мы решили, что обращаться к Харитону тоже не стоит; он явно благоволит Павловскому и не будет разбираться в нездоровой ситуации, а отправит нас на покаяние к А. И. Скорее всего, после этого придется переходить на работу в другое подразделение. А если не подписывать отчет, то А. И. выпустит его только от своего имени. И тут я впервые услышал от Г. Д. горькое признание, что его чаша терпения уже переполнена необоснованными претензиями А. И. и потому он начнет искать работу в другом месте, вероятнее всего в Москве, так как у него там есть забронированное жилье.

Отчет с исправлениями А. И. оперативно напечатали в феврале 1971 года с измененным названием «Линейный импульсный ускоритель электронов (проект ПУЛЬСАР)». А. И. пригласил Г. Д. и меня, встретил нас с улыбкой, как будто не было неприятной размолвки, и произнес: «Ну чего вы заупирались. Ваш приоритет здесь очень высок, не менее моего. Так что ставьте подпись, и я повезу отчет к Ю. Б.». Подписи мы молча поставили, а утвердил отчет Харитон только 30 июня 1971 года.

В мае 1971 года А. И. попросил меня зайти к нему, где был и Босамыкин, и сказал, что мой отчет о радиальных линиях изучал Валерий Семенович. Он считает, что один кусок моего текста на трех страницах надо изъять, так как близкое техническое решение уже описано ими в указанном выше отчете. Я заявил, что их отчета до этого года не видел и свой составил независимо. В. С. быстро открыл страницы на заложенных местах двух отчетов и стал объяснять, почему я должен переделать. Я не увидел близкого совпадения в схемах индуктора и не согласился с ними, сказав, что так как отчет уже прочитан и подписан более полугодом назад начальником лаборатории Г. Д. Кулешовым, который об их отчете тоже не знал, то без его согласия формально не имею права переделывать текст, да и по сути наши схемы разные. Тогда А. И. произнес, что мы оба свободны, а с Г. Д. он вопрос обсудит особо. И вскоре разговор между ними состоялся, и, по-видимому, неприятный, так как Г. Д. вернулся возбужденный и сказал, что надо заменить первый административный лист с изменением года выпуска отчета на 1971-й, после чего А. И. его подпишет. И еще Павловский просит лично меня вписать от руки на с. 5 сноску следующего содержания: «Ряд вариантов безжелезных индукторов с распределенными параметрами рассмотрен применительно к линейному ускорению заряженных частиц в работах В. С. Босамыкина и А. И. Павловского: 1) Авторское свидетельство № 270913; 2) Отчет «Системы линейного индукционного ускорения». Я подумал и согласился с таким дополнением, ибо оно было как бы нейтральным, так как слов о радиальных линиях в ссылочных документах нет, как нет и намеков на водяную изоляцию в индукторах, но в документах действительно проанализированы некоторые схемы индукторов; применимы они реально или нет в ускорителях, этот вопрос я не обсуждаю. Поэтому так Кулешову и заявил.

В начале июня Павловский позвонил мне и сообщил, что мой отчет о ЛИУ с радиальными линиями он утвердил 5 июня 1971 года. Касательно же указанной выше статьи В. С. и А. И. в журнал «Атомная энергия», она почему-то надолго там задержалась и была напечатана только в 1974 году, а В. С. защитил в 1973 году первую по безжелезным ЛИУ диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, в основном по теоретическому и расчетному рассмотрению физических и переходных процессов в узлах и системах ЛИУ.

С начала второго полугодия 1971 года разные аспекты экспериментальных исследований создания ЛИУ-30 были по указанию Павловского введены в планы лаборатории Кулешова наряду с продолжающимися разработками в ней новых

гаммаграфических бетатронных установок и начали интенсивно развиваться. Г. Д. тщательно и детально по направлениям работ и конкретным исполнителям официально оформил при моем участии такие планы на два года, в том числе на заказ и поставку материалов, оборудования и приборов. Предусмотрели и командировки в различные НИИ для получения информации по надлежащим вопросам и заключения возможных договоров на разработку для нас требующейся аппаратуры, элементной базы и материалов. А. И. документы подробно просматривал и визировал, после чего их сообща обсуждали в моей группе, так как главным образом она должна вести эти исследования и разработки. В то время в ее состав входили: инженеры – Е. Г. Дубинов, Д. И. Зенков, А. П. Клементьев, Ю. С. Скаженик, В. А. Тананакин, техник – Л. А. Малов, лаборанты – В. А. Артемов, В. Е. Белухин, А. С. Гончаров, а также оказывали помощь в разработке по нашим заказам радиоэлектронной и релейно-автоматической аппаратуры сотрудники радиогруппы во главе с В. П. Царевым – В. И. Амеличкин, А. Я. Бродский, Б. Г. Кудасов, Б. С. Макаев .

Одним из важнейших узлов будущей установки являлся типовой ускорительный блок с водоизолированными РЛ на зарядное напряжение 500 кВ (первоначально блок мы называли «секция») и соответственно надежные многоканальные разрядники с наносекундным разбросом запуска тоже на это рабочее напряжение совместно с генераторами высоковольтных импульсов для инициирования синхронного пробоя каналов в разрядниках. Параллельно с анализом выявляемых вариантов физических схем этих узлов и их широким обсуждением для последующих заказов конструкторам на разработку эскизов и чертежей сооружались четыре стенда для проведения экспериментов с секциями в целом и генераторами зарядки емкостей их РЛ, отдельно с многоканальными разрядниками, со сборками высоковольтных генераторов пусковых импульсов, с технологическими системами (водоочистка, маслоочистка, газоочистка, мощные выпрямители с коммутационной аппаратурой и др.).

А. И. Павловский, понимая перспективность создания нового технического типа сильноточных ЛИУ и возможность обойти в этом вопросе наших зарубежных соперников, активнейшим образом подключился как научный руководитель направления и менеджер по быстрейшему исполнению работ к ежедневному оперативному обсуждению хода и состояния всех дел. В результате такой его поддержки наши заказы вспомогательным подразделениям выполнялись достаточно быстро и работы действительно шли согласно планам. К середине 1972 года был завершён первый этап экспериментальных исследований основных модельных элементов ускорителя: на макете ускорительной секции с водяной изоляцией изучены зависимости формы и амплитуды импульсов ускоряющего напряжения на нагрузке, имитирующей пучок электронов. На макете одноканального тригatrona с высотой корпуса 50 мм впервые применено заполнение его сжатым элегазом (SF_6) и получена при 500 кВ точность включения коммутатора ± 2 нс; с индукторами ЛИУ-2 подтверждена возможность суммирования ускоряюще-

го напряжения в инжекторе протяженным в тракте металлическим катодным электродом, а также выбранная схема формирования в бесфольговом магнитоизолированном диоде пучка электронов с токами до 25 кА и проводке его в тракте посредством серии соленоидов с разрывами между ними для создания здесь ускоряющих зазоров. Успешно апробирован макет системы водоочистки для получения воды с удельным электрическим сопротивлением более 3 МОм·см. Эти экспериментальные результаты, подтвердившие практически уже на начальном этапе наши оценочные характеристики узлов ускорителя, были изложены в очередном отчете, который Харитон утвердил 15 августа 1972 года.

Попутно была получена новая любопытная информация, как говорится, на стыке областей. Например, мы испытали инициирование пробоя газонаполненных разрядников ускоренным до небольших энергий импульсным пучком электронов, вводимых в газ через разделительную фольгу; разрядники точно включались с большим запасом электропрочности, и это как вариант могло быть использовано в разрядниках на 500 кВ. Многоканальный генератор пусковых импульсов для разрядников успешно апробировали для запитки низкоимпедансного диода и получения сильноточного пучка ускоренных электронов, что нашло затем применение в серии физических исследований. По этим экспериментам были выпущены отчеты и опубликованы статьи.

В апреле 1973 года по указанию Минсредмаша было составлено и оформлено техническое задание на разработку эскизного проекта установки ПУЛЬСАР (ТЗ на ЛИУ-30), исполнителями которого являлись А. И. Павловский, Г. Д. Кулешов, А. И. Герасимов, А. П. Клементьев, В. А. Тананакин; утвержденное Ю. Б. ТЗ направили в Главк министерства.

Необходимость форсирования работ повлекло усиление моей группы, и в нее вскоре были добавлены инженеры-физики Б. А. Афанасьев, Д. Н. Милорадов, Н. Ф. Попков, С. Я. Слюсаренко, А. Д. Тарасов, А. С. Федоткин, инженеры-конструкторы В. Ф. Бухаров, В. Г. Зюкин, техник В. В. Сенченко, лаборанты А. Н. Балдин, В. В. Барабин, В. Д. Бессонов, Ю. М. Быков, В. А. Лазарев, В. Н. Оськин, В. Я. Очегавва, Б. Н. Пичугин, И. Ф. Смирнов. Количественный состав группы превысил 30 человек, не считая сотрудников из других групп, работающих по нашим заданиям. Следовало создать за оставшееся время натурные образцы индукторов на рабочее напряжение 500 кВ, многоканальные разрядники на это же напряжение с наносекундной точностью включения, генератор импульсной зарядки емкостей радиальных линий за примерно 1 мкс, многоканальное пусковое устройство разрядников в индукторах, инжектор с диодом для формирования тока пучка электронов около 200 кА, систему очистки, деионизации и дегазации воды, масло- и газоочистку, мощные стабильные выпрямители на напряжение до 100 кВ с переключающей арматурой, систему создания в тракте проводки пучка магнитного поля с индукцией около 0,5 Тл и конденсаторную батарею для запитки соленоидов системы импульсным током, вакуумную систему, пульт управления включением и контроля работы

оборудования, большое число разнообразных датчиков электрических сигналов и многое другое. Все перечисленное оборудование требовалось отработать на проектные параметры и экспериментально их подтвердить, проведя цикл ресурсных испытаний.

Коллектив группы работал с энтузиазмом, не считаясь со временем. Каждый исполнитель знал свой участок работ и меру ответственности за результаты исследований. А уже в третьем квартале 1973 года в соответствии с указанным ТЗ мы выпустили на основе результатов обширного цикла экспериментальных исследований и опытных разработок пять объемных научно-технических отчетов с подтверждением реальности создания ЛИУ-30 с объявленными проектными параметрами: 1) «Комплекс ПУЛЬСАР. Пояснительная записка к эскизному проекту. Часть I»; 2) «То же. Часть II»; 3) «Макетно-модельные измерения характеристик ускорительных секций установки ЛИУ-30»; 4) «Разработка и исследование многоканального коммутатора на напряжение 500 кВ для ускорительных секций установки ЛИУ-30»; 5) «Разработка генератора импульсной зарядки накопителей секций ускорителя ЛИУ-30». Эти материалы просмотрели и обсудили научное руководство и администрация ВНИИЭФ, утвердили их, и комплект документов был выслан в Минсредмаш, а сотрудники группы продолжили совершенствовать узлы ускорителя и улучшать их характеристики, повышать ресурс включений, создавать некоторое вспомогательное и технологическое оборудование, заняться которым ранее у нас не хватало времени и сил.

К работам присоединились приехавший на объект опытный инженер-физик В. П. Циберев, а также группа молодых инженеров-конструкторов; М. И. Елюхин, Г. З. Каратаев (будущий глава г. Сарова), В. В. Мушкин, С. С. Павлов, А. А. Шустов. Последнее пополнение позволило оформить рабочие чертежи на два варианта ускорительных блоков из четырех индукторов каждый диаметром 2 и 3 м с соблюдением всех правил и требований к такой документации. По указанию министерства Павловский с этими чертежами отправил в командировку заместителя главного инженера физического отделения Б. А. Ермакова на предприятия Минсредмаша с определением возможности изготовления серии таких одинаковых блоков для нас. К сожалению, никто не взялся делать из нержавеющей стали с заданной точностью детали диаметром до 3 м и сборки из них. Обратились с этим вопросом в ряд других министерств и там тоже получили отказы. Начали искать выход из ситуации. В результате обсуждений проблемы с директором завода ВНИИЭФ Е. Г. Шелатонем и ведущими его специалистами и технологами было получено заверение, что они эти сборки сделают при условии поставки им нескольких карусельных станков с соответствующими размерными базами и размещением их в построенном для этого цехе. Стало ясно, что надо добиваться поставки таких станков и строительства цеха, что изготовление около 40 блоков займет 7–10 лет. А с учетом проектирования и строительства специальных зданий, монтажа ускорителя и всех инженерно-технических систем, возможно, и того больше.

Поэтому мы с Г. Д. предложили создать за это время меньшую модель такого ускорителя с габаритным диаметром индукторов в блоках не более 1 м, чтобы детали для них готовить на технологической базе только физического отделения. Такой ускоритель помещался в уже имеющееся готовое здание с небольшой его перестройкой. На проектирование ускорителя, названного нами ЛИУ-10 (10 – расчетная энергия ускорения электронов в МэВ), оперативно разработали и оформили в 1973 году техническое задание, которое подписали Г. Д. Кулешов, А. И. Герасимов, А. П. Клементьев, В. А. Тананакин, Е. Г. Дубинов. В процессе составления этого ТЗ мы много консультировались по тонкостям конструктивного устройства узлов установки у Д. И. Зенкова как у будущего ведущего конструктора этой техники, а потому и заделали на ТЗ его согласующую подпись. Утвердил ТЗ А. И. Павловский. В планах наметили проведение физического пуска ЛИУ-10 в декабре 1976 года. Срок сильно зависел от наличия нужных материалов, приборов и оборудования, поэтому в первую очередь тщательно продумали и оформили ведомость заказов на внешние поставки в следующие два года. И начались ударные работы параллельно со всеми другими и по этому ускорителю.

Со второй половины 1973 года мы с Г. Д. приступили и к разработке очень объемного технического задания на проектирование зданий для облучательно-го комплекса ПУЛЬСАР (по нашей задумке следовало построить два здания: одно – для установки комплекса и всего относящегося к нему оборудования, а второе – для размещения обслуживающего персонала, инженерных и научных сотрудников, лабораторных стендов и приборов. Сложность состояла в том, что по государственным нормам выдаются проектировщикам вместе с ТЗ всегда и рабочие (не эскизные, не технический проект!) чертежи на оборудование и его размещение вместе с детальным изложением в пояснительной записке к ТЗ режимов работы оборудования, правил его эксплуатации и техники безопасности при обслуживании персоналом, особенности режимов, дозиметрической защиты, противопожарной безопасности, потребляемой электроэнергии и ее подвода к оборудованию, особенностей вентиляции, подачи холодной и горячей воды, сжатого воздуха и многое-многое другое. У нас же еще отсутствовали не только рабочие чертежи, но и предваряющий их технический проект, не было никакой другой нужной документации, да мы многое еще точно и не представляли, как делать. Для оформления такого объема документов следовало привлечь на 2–3 года с десятком специалистов, знающих ГОСТы и нормалы, изучить обилие законов, правила проектирования зданий, санитарные правила и т. д. А подобного набора специалистов у нас, конечно, не было. Поэтому руководство ВНИИЭФ обратилось в Минсредмаш с просьбой ходатайствовать перед Советом Министров СССР о разрешении в порядке исключения и в связи с особой важностью начать проектирование зданий без предоставления рабочих чертежей и всего комплекта требующихся по закону документов, а только по определенному ТЗ с пояснительной запиской и внесением по ходу оформления проектов зданий дополнений и изменений по мере их уточнений разработчиками оборудования

с выездами специалистов и электрофизиков к проектантам для обсуждения с ними нужных технических решений и письменного их подтверждения. К этому времени стало ясно, что наиболее целесообразно в качестве размножающей нейтроны сборки использовать создаваемые под руководством А. А. Малинкина, В. Ф. Колесова и А. С. Кошелева импульсный реактор БР-1 (бустер-реактор) с металлической активной зоной из сплава высокообогащенного (90 % по ^{235}U) урана с молибденом и возможно бустер-реактор БР-К1 «Каскад» тоже с металлической активной зоной [59]. Поэтому на помощь в составлении технического задания касательно размещения ядерных реакторов был подключен высококвалифицированный специалист-реакторщик, кандидат физико-математических наук А. С. Кошелев, с которым я позже несколько раз выезжал в Ленгипрострой (современный ВНИПИЭТ, г. Ленинград) для передачи и уточнения с проектантами нужной им информации. В результате наших совместных усилий такое ТЗ с пояснительной запиской было в январе 1974 года составлено, в качестве соисполнителей фигурировали А. И. Павловский, А. А. Малинкин, Л. И. Сельченков, А. М. Воинов, И. Л. Сумкин, В. Ф. Бухаров, А. Д. Тарасов и ряд других сотрудников, были согласованы нужные данные с отделом капитального строительства ВНИИЭФ (М. И. Карюк), все утверждено у руководства института и выслано в министерство для дальнейшего оформления и направления проектантам. ТЗ рассматривалось и анализировалось в Главном управлении капитального строительства, куда его начальник Александр Николаевич Усанов приглашал три раза нас с Г. Д. для обсуждения ряда вопросов. (Усанов был назначен в 1979 году заместителем министра по капитальному строительству; руководил сооружением саркофага над разрушенным в результате аварии ядерным реактором Чернобыльской АЭС, за что ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда.) Наконец, в начале 1975 года наши и дополнительные из Главка материалы выслали в Ленинград проектантам, которые для увязки всех вопросов перед разработкой строительных и монтажных чертежей определили для себя и утвердили срок в полтора года.

В 1974 году на коллегии министерства, куда пригласили Ю. Б. и Павловского, наш эскизный проект ЛИУ-30 был ими защищен и одобрен коллегией. Но этого было мало. В перспективе следовало подготовить и выпустить соответствующее Постановление ЦК КПСС и СМ СССР.

Все работы развивались согласно нашим задумкам и планам. Однако месяца за два до конца года Кулешов вдруг позвонил мне и попросил зайти в кабинет. Необычайно расстроенный и взволнованный Г. Д. сообщил, что Павловский решил взять все работы по ЛИУ-10 в свою лабораторию и сформировать в ней для их проведения группу во главе с В. С. Босамыкиным. В эту группу будет переведена и часть персонала из лаборатории Кулешова. Г. Д. высказался резко против такого поворота дел и попросил объяснить причины изменения планов. Ведь в его коллективе развернут на основе разработок по ЛИУ-30 широкий цикл экспериментальных исследований применительно к ЛИУ-10 и уже получено

много нужных для этой установки результатов, выполнен огромный объем подготовительной работы, заказаны материалы, приборы и оборудование, составлен детальный график работ на 1975 год и укрупненный на три года вперед и т. д. Но А. И. свое решение никак логически не мотивировал, кроме того, что он считает такое разделение по разным лабораториям разработок ЛИУ-30 и ЛИУ-10 лучшим. Казалось, произошедшие когда-то конфликты уже приутихли, а теперь, с учетом нового взаимного непонимания, опять обострились. И Г. Д. произнес, что он берет на днях отпуск и едет в Москву, чтобы окончательно найти там новое место для приложения своих знаний, умений и опыта. Для информации обо всем этом Кулешов и пригласил меня, дабы я впредь сам предусматривал ведение всех дел в своей группе по ЛИУ-30. И в начале 1975 года Кулешов перешел на работу в Институт высоких температур АН СССР в Москве. (После ухода Кулешова Павловский перестал указывать меня, как впервые предложившего использование в ЛИУ РЛ с водяной изоляцией, а аббревиатуру ЛИУ стал расшифровывать как «линейный индукционный(?) ускоритель».)

Кроме упомянутых сотрудников стоит отметить еще одну интересную личность – Вениамина Михайловича Барашкова, который с 1970 года руководил механической мастерской отдела. Он в отличие от А. Т. Берлева (см. раздел 15.1) хорошо знал все направления холодной обработки и резки металлов, технологические их приемы и квалифицированно читал чертежи. В. М. был уже достаточно пожилым человеком, по-видимому, имел специальное образование или большой опыт практической работы по металлообработке. В отделе было принято, что заказ на изготовление по чертежам деталей должен обсудить с разработчиком начальник отдела или его заместитель, и, если это действительно необходимо, подписать чертежи. Но получить подпись удавалось не всегда в связи со следующим. В принципе в отделе поощрялась инициатива сотрудников в разработке каких-либо новых полезных приспособлений и вариантов несложных устройств, если далее рационализатор монтирует, налаживает и проверяет все это в свободное от основной работы время. Но иногда оказывалось, что идея еще не обмозгована, а человек уже эскизы на ряд деталей сделал и в дальнейшем хочет проверить «сырой» вариант устройства в деле, затем изготовить еще серию измененных вариантов и по результатам их испытаний создать окончательное работоспособное и, возможно, нужное приспособление. В такой ситуации руководство обычно улавливало недодуманность идеи и чертежи не визирило. Поэтому нередко исполнители шли в обход и старались установить хорошие отношения с начальником мастерской, который мог обеспечить изготовление деталей и без всяких резолюций на эскизах. А потому с В. М. все старались быть в дружбе. Я имел некоторые преимущества перед другими сотрудниками по иной причине. В. М. плохо слышал и носил самодельный слуховой аппарат с наушником, микрофоном и усилителем звуковых колебаний на полупроводниковых триодах (отечественные аппараты тогда еще не продавались). Этот аппарат часто выходил из строя, и В. М. приходил ко мне с просьбой найти причину и устранить ее.

Обычно где-то нарушался электрический контакт или происходил обрыв цепи, так как В. М. был очень подвижным человеком, ходил быстро и часто цеплял висящими проводами от аппарата за оборудование, станки и т. д. Но интересным было то, что, не зная один из известных законов Мерфи: «Если отложить дело на-долго, то его либо выполнит кто-нибудь другой, либо оно вообще перестает быть нужным», В. М. практически постоянно использовал его с большой пользой. Расспросив заказчика о надобности изготовления деталей (независимо, с визой ли чертежи или принесены по дружбе), как скоро надо сделать (а все просили «срочно»), он соглашался выполнить заказ, записывал необходимые данные в «амбарный журнал» (так он называл журнал учета работ и просителей) и накалывал чертежи на тонкий длиной около 40 см с острием на конце металлический стержень, вделанный в стену (это называлось «заказ принят на штырь»). Когда через некоторое время приходил заказчик и спрашивал обещанные детали, В. М. извинялся, ссылаясь на большую занятость, сразу находил его чертежи, снимал со стержня и насаживал их на второй подобный штырь. После третьего посещения заказчика и очередных объяснений чертежи перевешивались на третий пруток. И только после следующего прихода просителя заказ оперативно выполнялся. Удивительно, но к концу года накопленных на третьем штыре не востребованных чертежей и эскизов оказывалась высокая стопа, а значит, не изготовленных деталей, а потому огромное количество сэкономленного металла, электрической энергии и трудозатрат станочников и слесарей. В. М. проработал у нас недолго, но запомнился вот таким оригинальным приемом выполнения «сверхсрочных» механических работ.

Лабораторию безжелезных бетатронов после Г. Д. Кулешова возглавил В. Н. Суворов, очень хороший человек, но, к сожалению, специалист не в области ускорительной техники. Мою группу Павловский перевел в свою лабораторию, от нас в штат группы Босамыкина был переведен только опытный инженер Клементьев. Мы продолжили разработку ускорителя ЛИУ-30, но А. И. запланировал нам и создание за два года для ЛИУ-10 системы из 14 штук точно синхронизированных надежных генераторов импульсных напряжений на 500 кВ для зарядки за 1 мкс до такого же напряжения водоизолированных радиальных линий в 42 индукторах ЛИУ-10. Данное задание было достаточно ответственным, мы такие системы еще не делали. Я возглавил это направление исследований, подключив инженеров А. С. Федоткина и С. Я. Слюсаренко, техников Л. А. Малова, А. П. Савченко, В. В. Сенченко, лаборантов Ф. Б. Глазкова, С. А. Лаврентьева. Федоткин служил ранее офицером в армии, был демобилизован в хрущёвскую кампанию по ее сокращению, затем закончил МИФИ и направлен на работу во ВНИИЭФ. Здесь он уже участвовал в исследованиях по бетатронной тематике под руководством Кулешова, очень серьезно и по-деловому относился к поручаемым заданиям. Слюсаренко – недавний выпускник МИФИ; через некоторое время к работам присоединился еще один дипломник МИФИ – В. В. Мамонтов. Конкретно для разработки чертежей на варианты опытных генераторов и их эле-

менты Павловский назначил конструктора Д. И. Зенкова и молодого специалиста С. Т. Назаренко.

Ответственными исполнителями работ по другим системам и узлам ЛИУ-10 были определены: В. С. Босамыкин – многосекционная ускоряющая система; В. А. Тананакин – малогабаритные газонаполненные тригатроны на 500 кВ для кольцевых коммутаторов индукторов; В. А. Савченко – система инъекции и экспериментальные исследования проводки пучка электронов в тракте ЛИУ, узел тормозного излучения; А. П. Клементьев – экспериментальные исследования и отработка секций; В. С. Никольский – высоковольтная система синхронизации; В. Д. Селемир – расчеты и эксперименты по проводке пучка электронов к мишенному узлу; В. С. Гордеев – расчеты электрических параметров секций; Л. Н. Робкин – расчет магнитных полей систем проводки пучка электронов в тракте ЛИУ; Б. Г. Кудасов – система управления и контроля работы ускорителя; Н. Н. Сулин, А. Н. Петров, М. В. Загускин – технологические и вспомогательные системы; К. А. Морунов – комплектация, монтаж и наладка систем установки; В. Ф. Басманов – разработка конструкторской документации на узлы и системы ЛИУ-10; А. С. Гончаров – подготовка помещений здания и курирование пристройки к нему.

Моя группа уже имела опыт разработки источников на выходное напряжение 500 кВ для зарядки емкостей РЛ макетов секций ЛИУ-30 на стадии эскизного проекта. Но этот генератор только заряжал РЛ и не отрабатывался на надежность и точность включения при большом числе запусков. Поэтому за основу источника для ЛИУ-10 мы приняли пятикаскадный генератор импульсного напряжения (ГИН) типа Аркадьева–Маркса с использованием в каждом каскаде по одному промышленному конденсатору ИК-100-0,25 (100 кВ; 0,25 мкФ) серпуховского завода. Но здесь нужно было создать особо надежный типовой ГИН, чтобы при общем их указанном количестве (несколько позже оно было увеличено до 16 шт.) и 70 коммутаторов в них, имеющих запас электрической прочности не менее 50 %, разброс задержек времени срабатывания каждого ГИН не превышал 30 нс относительно момента подачи на все генераторы общего пускового импульса в диапазоне совместных включений $3 \cdot 10^3$. Дополнительными требованиями являлись: время зарядки емкостей радиальных линий по закону $(1 - \cos \omega t)$ не более 1 мкс; запасаемая энергия в ГИН – 6,25 кДж; ресурс включений ГИН более $3 \cdot 10^3$; минимальный уровень электромагнитных помех около генератора; удобство обслуживания ГИН и безопасность персонала. Кроме генераторов следовало создать несколько выпрямителей на регулируемое выходное напряжение до 125 кВ для отбора по электропрочности конденсаторов в ГИНЫ и зарядки их в каскадах; коммутационную аппаратуру для дистанционного подключения и отключения ГИНов от выпрямителей; серию делителей для контроля зарядного напряжения на ГИНах; в каждый ГИН гальванически развязанный от цепей индукционный датчик формы и амплитуды импульса тока зарядки емкостей радиальных линий; многоканальный генератор пусковых импульсов напряжения с амплитудой до

75 кВ и фронтом не более 15 нс. И эти разработки начали интенсивно развиваться, причем поощрялись всякая инициатива и новые идеи, которые коллективно обсуждались, подвергались возможному теоретическому анализу и экспериментальной проверке, затем следовали конструктивные решения, создание опытных макетных образцов, их испытания и по ее результатам – отработка конечной продукции. Сейчас такой стиль работы называют инновационным. Естественно, что мы одновременно продолжали исследования и в интересах «собственного» ускорителя ЛИУ-30, причем разработки по ЛИУ-10 мы считали дополнительной нагрузкой и потому хотели выполнить их как можно быстрее, но качественно, чтобы затем все силы вновь бросить на наше детище.

Как-то в июле 1975 года, когда Павловский находился в отпуске в Адлере, мне позвонил помощник научного руководителя и сообщил, что со мной хочет поговорить академик Харитон. Поздоровавшись и поинтересовавшись, пообедал ли я, Ю. Б. попросил срочно прибыть к нему и сказал, что прилетит сейчас свою автомашину. В кабинете Ю. Б. сообщил, что завтра в Кремле в 8 ч. состоится расширенное заседание Государственной комиссии СМ СССР по военно-промышленным вопросам (обычно ее называют ВПК – военно-промышленная комиссия), на которой будут обсуждаться пять предложений от разных организаций о создании установок для проведения радиационных исследований и моделирования в лабораторных условиях некоторых поражающих факторов ядерного взрыва с целью проверки и отработки на заданные уровни радиационной стойкости военной техники, выборе для этого нужной установки из предлагаемых, принятии соответствующих решений и последующем выпуске Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР с указанием в нем сроков разработки установки, а также выделения из бюджета средств для целевого финансирования ее создания. Но так как Павловский находится на юге, а срывать его отдых нежелательно, то в Кремль надо поехать мне и выступить на комиссии с аргументированным докладом о проекте облучательного комплекса ПУЛЬСАР и его базовой установке – новом техническом типе ускорителя ЛИУ-30, рассказать, какие характеристики он будет иметь, что нами уже экспериментально сделано по этому направлению и какие результаты получены для подтверждения реальности достижения проектных параметров, дать ориентировочные сроки создания и оценочную стоимость комплекса. По существу, это будет повторная защита уже выполненного нами эскизного проекта комплекса, который давно отправлен в министерство и рассмотрен экспертами ВПК и лично ее председателем. По предварительным сведениям, нашими конкурентами могут быть НИИЭФА им. Д. В. Ефремова (Ленинград), который представит проект мощного ускорителя пучка электронов прямого действия типа уже действующих в США; что-то подобное предложит ИАЭ им. И. В. Курчатова (Москва), возможно, ТРИНИТИ (г. Троицк) и ИЯФ им. Г. И. Будкера (г. Новосибирск). Но ВНИИЭФ имеет явное преимущество перед конкурентами, так как он не повторяет уже сделанное другими, ибо, если копировать, то первоисполнители уйдут далеко вперед в своем развитии за это

время. Более того, мы демонстрируем новое перспективное направление создания семейства сильноточных мощных ускорителей пучков электронов и соответственно генераторов интенсивных импульсов тормозного излучения, что позволит обойти наших американских противников по дешевизне установок и совокупности высоких и нужных характеристик проникающих излучений. Вести заседание будет председатель ВПК Леонид Васильевич Смирнов, талантливый инженер и крупный организатор оборонной промышленности, который достаточно хорошо относится к проводимым во ВНИИЭФ работам (позже я узнал, что указанную должность он занимал в течение 1963–1985 гг.). Далее Ю. Б. предложил мне минут 15 подумать и экспромтом выступить перед ним, как перед ВПК. Я немного задумался, смогу ли взять на себя такую серьезную задачу, тем более изложить ее в Кремле, где я буду в первый раз. Но тут же проскочила мысль, что тему эту я досконально знаю, написал ряд отчетов по ней, не раз выступал уже с ее обоснованием. Поэтому сказал, что я готов доказать, что только наш комплекс позволит разрешить указанную проблему. И я начал речь. Ю. Б. ни разу не прервал меня, но в конце сделал ряд замечаний и попросил с их учетом «выступить» еще раз, что я и сделал. «Теперь все хорошо, – сказал Харитон. – Но Вы еще два-три раза потренируйтесь и обязательно сделайте акцент на сведениях о скорой разработке меньшего образца этого ускорителя – ускорителе ЛИУ-10 и его параметрах, который начнет работать примерно в конце 1977 года. Сейчас мой водитель отвезет Вас обедать. А вечером на вокзале около вагона Вас будет ждать мой помощник Александр Иванович Водопшин, которого Вы знаете. Он даст Вам билет, командировку и расскажет, как и где получить пропуск для прохода на территорию Кремля и в конкретное здание. Но, так как Вы опоздаете к открытию заседания и появитесь там только около 9 ч., то я позвоню Смирнову и скажу ему об этом. Они с 8 ч. начнут обсуждать другие вопросы, а наш – только после 9 ч. Вернувшись на свое рабочее место и доложив начальнику лаборатории о поручении Харитона, я собрал сотрудников своей группы, пересказал им все и дал указания о выполнении в мое отсутствие некоторых дел. Затем составил письменный конспект своего выступления и прорепетировал несколько раз, чтобы уложиться в отведенные регламентом 20 минут. В конце рабочего дня зашел ко мне лаборант нашей группы В. Е. Белухин и спросил, не смогу ли я выполнить в Кремле его большую просьбу, чем очень удивил меня. Я согласился попробовать. «Сейчас очень тяжело достать курево, а в Кремле, наверняка, продаются свободно сигареты и папиросы. Если можно, купи мне 10 пачек папирос. (В то время дефицитными являлись многие продукты и промтовары. В дефицит попали и сигареты с папиросами, которые трудящимся распределяли по талонам.) У вагона меня встретил Водопшин и передал все необходимые для поездки документы и билеты. Касательно же прохода в Кремль он пояснил, что слева от Спасской (Фроловской) башни стоит со стороны Красной площади небольшое одноэтажное деревянное здание, где и находится бюро пропусков. Я сказал, что неоднократно проходил мимо этой башни и что никакого там здания нет. Водоп-

шин рассмеялся и добавил, что здание стоит уже более 20 лет, но его на фоне мощных зубчатых стен Кремля и величественных башен никто не замечает. Так что здание есть. И я поехал. Действительно, невзрачное, обитое снаружи наискосок досками такое сооружение оказалось на месте. В 8 ч. 45 мин. я обратился в бюро в одно из окошек, передав туда свои полномочные документы. Очень быстро появился человек в гражданской одежде, дал мне пропуск вместе с моими документами и пригласил следовать за ним. Мы зашли на территорию Кремля, и провожающий указал на желтое трехэтажное здание, сказав, что это здание Президиума Верховного Совета СССР (рядом находилось такого же цвета здание Совета Министров СССР с круглой башней над его углом и острым шпилем на башне с развивающимся государственным флагом). Перед входом в здание провожающий сказал, что он далее не пойдет, а мне надо подняться на второй этаж в зал № 2. При входе в здание охрана в пограничной форме снова сличила пропуск с паспортными данными и указала направление моего движения по коридору. До зала меня проверяли раз пять или шесть, вежливо показывая дальнейший путь (снаружи здание представляется не таким большим и длинным, каким оно оказалось внутри; в плане оно имеет Ш-образный вид). У зала № 2 меня снова проверил погранконтроль и, назвав фамилию, предложил тихонько пройти в передние ряды зала. В зале сидело не более 150 человек, среди них много в военной форме (кто здесь были члены ВПК и в каком количестве, я не представлял). Ведущий обсуждение Л. В. Смирнов, увидев меня, извинился, объявив, что прибыл представитель ВНИИЭФ т. Герасимов. При мне кратко выступили несколько человек не по нашей тематике, но я не очень слушал их, так как все же несколько волновался. Затем после 10 ч. 30 мин. последовал небольшой перерыв, и Смирнов попросил меня зайти в примыкающую к залу комнату отдыха. Здесь спросил, хорошо ли я доехал, успел ли позавтракать. На последний вопрос я ответил, что только слегка перекусил. Он попросил показать ему письменный текст моего выступления и, как мне показалось, удивился, узнав, что я буду говорить устно, так как текста нет, а его надо бы было оставить здесь в секретариате. «Ладно, запишем», – произнес он (наверное, имелось в виду на магнитофон или стенографически). Далее добавил, что, ознакомившись с представленными здесь предложениями, сняли свои конкурсные проекты курчатовский и будкерровский институты, но их представители здесь присутствуют и могут задать мне вопросы. Так что остались три конкурирующие организации: НИИЭФА, ТРИНИТИ и ВНИИЭФ. Но я должен знать, что лично он (Смирнов) и эксперты однозначно уже заключили, что проект ВНИИЭФ имеет огромные преимущества перед другими. Поэтому я должен выступать смело и также отвечать на все вопросы. У меня создалось впечатление, что Л. В. заинтересован в прохождении нашего предложения без каких-либо шероховатостей. Затем по какому-то сигналу появилась женщина с подносом, и мы выпили по стакану хорошо заваренного чая, а я съел еще два бутерброда; хотелось еще, но я постеснялся. НИИЭФА и ТРИНИТИ предлагали разработать ускорители электронов прямого действия типа уже применяемого с

1969 года для радиационных исследований в США ускорителя Гермес-2 (Hermes-II, 10 МэВ, 170 кА, 100 нс). Докладчики ответили на заданные им вопросы из зала. Представитель НИИЭФА насчет сроков сказал, что только на разработку проекта и оформление рабочих чертежей им понадобится не менее 7–8 лет. Затем свой проект изложил я и тоже ответил на вопросы. Все доклады сопровождалось показом на большом экране посредством кинопроектора соответствующих иллюстраций, которые для моего доклада были взяты из ранее высланных в ВПК пяти научно-технических отчетов по эскизному проекту облучательного комплекса ПУЛЬСАР. После этого выступили пять рецензентов-экспертов, охарактеризовавших проекты с точки зрения достижимости сочетания величин заявленных параметров проникающего излучения, соответствия их требованиям лабораторного моделирования, сроков изготовления и стоимости создания, перспективности развития данного направления разработок по сравнению с имеющимися и проектируемыми зарубежными, в первую очередь Америки. В заключение каждый из рецензентов рекомендовал принять к осуществлению именно наш проект, отметив его оригинальность, мировую новизну, большую перспективность и относительную дешевизну, возможность опередить другие страны в создании моделирующих установок с высокими выходными характеристиками. Подводя итоги заседания, Л. В. Смирнов сказал, что он детально изучил все проекты и целиком согласен с мнением экспертов, что нужно реализовывать комплекс ПУЛЬСАР во ВНИИЭФ. Затем он зачитал предварительный текст такого решения ВПК и закончил совещание, поблагодарив всех за участие в нем. Меня же Л. В. опять попросил задержаться и пригласил к себе в кабинет. Там он сказал, что надо дополнительно побеседовать со мной, чтобы уточнить ряд научно-технических и конструктивных характеристик установок комплекса, а также ряд вопросов по сооружению специального здания для размещения в нем этих установок. Смирнов задал свыше 20 самых разнообразных вопросов, в том числе по реальному состоянию элементной базы и узлов ускорителя ЛИУ-30, где мы планируем изготавливать малыми сериями крупногабаритные узлы установки, по физике переходных электрических процессов в узлах ускорителя, по потерям энергии и их зависимостям при пробеге электромагнитных волн по водоизолированным радиальным линиям в индукторах, по характеру изменения активного сопротивления и индуктивности при развитии разрядных каналов в коммутаторах на 500 кВ, какие еще нужны установки в составе комплекса кроме трех заложенных в проект (ускоритель, реактор, ударный стенд) и др. Я обычно представлял руководителей такого государственного масштаба менее компетентными в тонкостях электрофизических устройств и сильноточной импульсной ускорительной техники, но тут по совместному обсуждению и даже некоторой спорной полемике по ряду научных явлений почувствовал в Л. В. специалиста-электрофизика и проникся должным к нему уважением. Подтвердились и слова Ю. Б. о нем, как о действительно крупном и широко образованном инженерере, не зря занимавшем этот высокий пост в течение уже более 12 лет. Наш диспут длился

около двух часов, и в завершение Л. В. вдруг вспомнил, что я сегодня плохо позавтракал, а время уже позднего обеда. Он пригласил меня вместе пообедать, и мы прошли в смежную комнату, где уже был накрыт стол на две персоны. Состоялся нормальный обед из трех блюд с компотом и на десерт красивые яблоко, груша и персик, без каких-либо изысков, за исключением несколько большего объема, хорошего вкуса блюд, а также наличия разной зелени (по-видимому, по этикету следовало съесть один какой-то на выбор фрукт, но я употребил все их три – когда еще попадешь в Кремль!). За обедом тоже был продолжен разговор о комплексе. По завершении трапезы я поблагодарил хозяина за неожиданно приятную встречу и угощение и рассказал ему о трудностях с куревом у народа и о просьбе нашего лаборанта купить ему в Кремле папирос без талонов. Смирнов заулыбался и, проводив меня в коридор, попросил передать самые добрые пожелания Юлию Борисовичу, а также показал проход в подвальный этаж, сообщив, что там есть столовая и буфет, в котором я могу купить что-то и для себя. Я приобрел дефицит Белухину – 10 пачек душисто пахнущих папирос «Золотое руно» и себе – по банке зернистой и паюсной икры, немного осетрового балыка и копченой колбасы.

На следующее утро я был уже дома. При появлении на работе не успел я позвонить Ю. Б., как раздался звонок от него со словами благодарности за хорошо выполненное поручение, что подтвердил ему Л. В. Смирнов. Я, в свою очередь, передал Харитону наилучшие пожелания во всем от Смирнова. Указанное Постановление о создании во ВНИИЭФ комплекса ПУЛЬСАР вышло в конце 1975 года.

Одним из важнейших элементов ГИНов являлся коммутатор на напряжение 100 кВ, пять штук которых в сильноточном контуре каждого генератора должны последовательно срабатывать со стабильным временем задержки пробоя. По сути, коммутатор значительно определяет пусковые, надежность и ресурсные характеристики ГИНа. Другими главными требованиями к такому коммутатору (разряднику) были: амплитуда импульсного тока длительностью 0,7–1 мкс до 100 кА; разброс времени включения при запасе электропрочности более 50 % менее 10 нс; коммутируемая энергия – до 2 кДж; частота включений один раз в минуту; срок службы более $5 \cdot 10^3$ срабатываний; компактность и удобство размещения в условиях ограничения габаритов ГИНа. Собственно разрядник представляет собой устройство, содержащее как минимум два основных электрода, между которыми прикладывается рабочее постоянное или импульсное напряжение, меньшее по значению напряжению, при котором происходит самопробой между этими электродами. В заданный момент времени производят дополнительное воздействие на основные электроды или зазор между ними, и он пробивается. Методов таких воздействий много, например: создание плазмы в промежутке, облучение электродов ультрафиолетом, впрыскивание в зазор пучка электронов, повышение напряженности электрического поля в промежутке. К тому времени в научной литературе содержались конструктивные сведения о

большом числе вакуумных и газонаполненных разрядников разного технического типа. Наиболее широко были представлены трехэлектродные разрядники (тригatrony), в одном из основных электродов которого размещался изолированный управляющий штыревой электрод. Между кромками торца этого и отверстия в основном электроде производился в нужный момент вспомогательный пробой, плазма которого распространялась в зазор между основными электродами и облучала его, создавала перенапряжение промежутка между фронтом плазмы и вторым основным электродом, находящимся под положительным потенциалом, после чего основные электроды замыкались каналом разряда. Однако сочетанием нужных нам характеристик ни один из коммутаторов не обладал. Точность включения в десятки наносекунд они обеспечивали при рабочем напряжении, составляющем только 95–98 % от напряжения самопробоя. Нам же из-за большого числа одновременно находящихся под рабочим напряжением таких ключей следовало для надежного предохранения какого-либо из них от неуправляемого пробоя иметь рабочее напряжение менее 66 % от самопробивного, то есть запас по электропрочности должен быть более 50 %.

Проведенный мной анализ инициирования развития искрового канала и имеющих при этом место переходных физических процессов с учетом присоединенных к электродам импедансов электрических цепей показал возможность обеспечения наносекундной точности срабатывания разрядника с запасом электропрочности до 100 % при следующих условиях. Камера разрядника должна заполняться сильно электроотрицательным газом (или с добавкой воздуха, азота, инертных газов) под давлением более 1 атм; таким газом является химически нейтральная шестифтористая сера SF_6 (сокращенно называемая элегазом от сочетания слов «электротехнический газ»), примерно в пять раз превышающая по прочности воздух при одинаковых давлении и конфигурации электродов (что элегаз наиболее полно отвечает требованиям по изоляции среди всех газов – открыл в 1930-х годах советский исследователь Б. М. Гохберг с сотрудниками). Кроме того, штыревой электрод в тригатроне должен иметь около торца ступенчатый уступ по диаметру, а отверстие в основном электроде для него должно быть протяженным цилиндрическим или тоже с расширением уступом ближе к внешней поверхности. Эти ступенчатые изменения диаметров находятся в определенных соотношениях. На управляющий электрод должно подаваться пусковое напряжение обязательно положительной полярности, а противоположный высоковольтный основной электрод должен находиться под отрицательным рабочим потенциалом (в отличие от общепринятого для тиратронов положительного потенциала). Первоначально напряжение запуска сильно искажает на небольшое время распределение электрического поля между основными электродами, многократно увеличивая напряженность на кромках электродов, их поверхностях и в зазорах. Поэтому одновременно начинают инициироваться разряды (катодо- и анодонаправленные стримеры) с высоковольтного электрода, у торцевой и цилиндрической поверхностей в меньшем радиальном зазоре между управляющим

электродом и охватывающим его основным. Можно так выбрать геометрические и электрические параметры, чтобы разряд первоначально завершился с высоковольтного электрода на управляющий, а затем – в кольцевом зазоре. Лучше, если разряды в основном зазоре и во вспомогательном завершаются одновременно. При упрощенно изложенном здесь процессе достигается высочайшая точность срабатывания коммутатора при наибольшем запасе электропрочности.

Проведенная затем совместно с А. С. Федоткиным и С. Я. Слюсаренко экспериментальная проверка данного принципа управления работой разрядника полностью подтвердила эту концепцию. По результатам данных исследований был выпущен отчет, а позже получены два свидетельства на изобретения вариантов трехэлектродного разрядника, опубликованы ряд статей в журналах ЖТФ и ПТЭ, вызвавшие определенный интерес у специалистов необычностью принципа действия и технического решения. Д. И. Зенков отработал типовую конструкцию нужного разрядника на 100 кВ, испытания которого показали обеспечение им всех требуемых высоких характеристик. Поэтому началось изготовление приборов серий в 100 штук в механическом цехе физического отделения.

Мной вместе с Федоткиным и Слюсаренко была предложена и апробирована с положительным результатом модернизированная схема умножения напряжения, в которой в первый его каскад устанавливается указанный разрядник с нужными принудительно создаваемыми оптимальными полярностями потенциалов на электродах. В последующих каскадах эти оптимальные разности и полярности потенциалов формируются в переходных электрических процессах при пробое коммутаторов в предыдущих каскадах, что позволяет в целом ГИНу иметь минимальные задержку времени срабатывания и его разброс. На такой вариант ГИНа и две его разновидности тоже были выданы свидетельства на изобретения. Пять разрядников Зенков и Назаренко встроили в конструкцию высоковольтного маслоизолированного сильноточного контура изобретенного типового ГИНа, который в большой серии экспериментов показал нужные совокупные электрические и ресурсные параметры как при подключении к его выходу резистивного имитатора нагрузки, так и при зарядке от ГИНа до 500 кВ электрической емкости. Такие ГИНЫ сразу начали изготавливать в количестве 18 штук (четыре в резерв, из них два затем встроены в систему) с приложением к каждому мощного электролитического резистора на 500 кВ.

Для испытания конструкций разрядника и затем в целом ГИН мы разработали и изготовили все необходимое дополнительное перечисленное выше оборудование и измерители, то есть выпрямитель на 100 кВ, дистанционно управляемый переключатель на такое же напряжение, ряд датчиков постоянного и импульсного напряжения на 100 и 500 кВ, измерители характеристик импульсов тока амплитудой до 100 кА и т. д. Кроме того, мы создали устройство, формирующее одновременно в 18 отрезках кабелей импульсное управляющее напряжение амплитудой до 75 кВ и фронтом 12 нс для запуска параллельного срабатывания системы из 14 ГИНов. Схематически генератор представлял собой

индуктор ускорителя ЛИУ-2, но только в нем по окружности устанавливались по два последовательно соединенных сикондовых конденсатора К15-10, а роль нагрузки вместо импульсного пучка электронов выполнял импеданс из параллельно соединенных 18 отрезков коаксиального радиочастотного высоковольтного кабеля.

Для обеспечения последовательной зарядки конденсаторов ИК 100-0,25 в ГИНах и удержания напряжения на них в течение времени, значительно превышающего время передачи энергии из ГИНов в емкости радиальных линий секций после пробоя всех пяти разрядников в контуре каждого ГИНа, потребовались мощные малогабаритные резисторы на 100 кВ. Подобные резисторы необходимы и для передачи через них без искажения формы пусковых импульсов на управляющие электроды тригатронов, по меньшей мере в первых каскадах каждого ГИНа. Промышленность подобные резисторы не выпускала. У меня возникла идея создать для этих целей герметичные жидкостные резисторы, причем наиболее перспективным представлялось использование в них водного раствора медного купороса. Это сравнительно безопасный при попадании на кожу человека состав, а, главное, при изготовлении электродов резистора из чистой меди раствор не должен в идеале обедняться при прохождении тока через резистор, так как осевшее в результате электролиза на катоде количество ионов меди компенсируется выделившимся из анода таким же его количеством. Это стабилизировало бы на длительное время активное сопротивление резистора. Однако в опубликованных в 1950–1960-х годах основополагающих обзорных зарубежных статьях по жидкостным резисторам утверждалось: в водном растворе нельзя создавать электрическое поле более 15 кВ/см, так как с дальнейшим ростом напряженности изменяется удельное сопротивление раствора; для обеспечения подвижности ионов следует применять только одновалентно диссоциирующие вещества, такие как HCl, NaCl, KJ (медный купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ нельзя); для электродов нужно использовать только не взаимодействующие с электролитом такие вещества, как уголь, графит, платина; в резисторе должно быть однородное электрическое поле и т. д. Мне показались изложенные правила необоснованными, так как до моего незнания указанных публикаций я уже пробовал пропускать импульсный ток через макет резистора с раствором медного купороса и медными электродами, причем электрическое поле достигало 40 кВ/см. При этом я не заметил изменения значения сопротивления, а резистор передавал форму микросекундного и короче импульсов без искажений. Поэтому я совместно с А. П. Клементьевым и с Д. Н. Милорадовым провел более детальные и точные измерения поведения характеристик водного раствора медного купороса. Мы показали, что проводимость раствора с тяжелыми ионами в импульсных полях в диапазоне напряженностей от 2 до 50 кВ/см сохраняется. При изменении концентрации раствора в широких пределах удельное сопротивление в этих полях тоже остается постоянным. Через такой раствор прямоугольные импульсы тока с длительностью фронта до 1,5 нс передаются без искажения. Подобные данные были получены нами и для вод-

ного раствора NaCl с электродами из нержавеющей стали. Эти сведения сильно корректировали известную информацию, а нам позволили обоснованно начать разработку требующихся резисторов. Экспериментальные измерения характеристик раствора медного купороса в квазипостоянных и короткоимпульсных полях мы опубликовали в 1976 году в журнале «Электричество», и на эту статью потом неоднократно ссылались другие авторы. К конструированию вариантов резисторов для ГИН был привлечен Д. И. Зенков, потом – В. Ф. Бухаров, на технические решения по резисторам получены два свидетельства на изобретения, а резисторы до сих пор применяются во всех разновидностях ГИН и в ряде других электрофизических установок. В 1994 году я совместно с А. С. Федоткиным и В. В. Кульгавчуком описал в журнале «ПТЭ» ряд разработанных и используемых жидкостных резисторов, а в 2006 году я в этом же издании представил большой обзор по конструкциям и характеристикам водно-растворных резисторов. На обе статьи авторам были присланы читателями и специалистами хвалебные отзывы и семь запросов по уточнению некоторых электротехнических данных. Любопытно, что американская фирма «R. E. Beverly III and Associates» представила в 1995 году информацию о промышленном выпуске высоковольтных герметичных водно-растворных резисторов для ограничения тока в цепях и для нагрузок мощных электрических систем, сославшись на полностью заимствованные для этого конструктивные данные из нашей статьи за 1994 год.

По мере изготовления деталей для ГИН последовательно производились монтаж генераторов и их электрические автономные испытания при нагрузках на резисторы. После сборки 14 ГИН они были размещены на штатном месте, каждый из них обеспечен гальванически развязанным датчиком параметров импульса зарядного тока через свою нагрузку, и проведены совместные включения ГИН с целью проверки и отработки на синхронное включение, взаимную помохоустойчивость их и всей другой аппаратуры управления и контроля функционированием, входящей в состав ускорителя ЛИУ-10. Система из ГИН оказалась готовой одной из первых, она устойчиво срабатывала при одновременных запусках всех ГИН и обеспечивала требуемый ресурс включений. По результатам исследований и разработок ГИН и элементной базы для них я написал и оформил в марте 1977 года научно-технический отчет, соавторами которого стали: В. С. Босамыкин, В. С. Гордеев, Д. И. Зенков, А. П. Клементьев, В. В. Мамонтов, К. А. Морунов, С. Т. Назаренко, В. С. Никольский, С. Я. Слюсаренко, А. С. Федоткин.

При создании этих ГИН мы поняли, что для ГИН ЛИУ-30 понадобятся более энергоемкие конденсаторы, чем конденсаторы ИК 100-0,25, но в их габаритах. В результате нескольких моих и А. С. Федоткина поездок во Всесоюзный НИИ силового конденсаторостроения (ВНИИСК, г. Серпухов) удалось убедить их сотрудников во главе с заведующим лабораторией импульсных конденсаторов В. И. Рудем взяться за разработку более мощных накопителей энергии. Основным доводом было отсутствие выпуска в СССР электропрочной изоляци-

онной пленки и возможное в перспективе отсутствие потребителей таких конденсаторов. Но мы уже знали, что Финляндия активно поставляет всем качественную тонкую электропрочную полипропиленовую конденсаторную пленку, а специалистам Института атомной энергии им. И. В. Курчатова и ТРИНИТИ (г. Троицк) тоже нужны в больших количествах импульсные высокоемкостные конденсаторы повышенной емкости. Они официально подтвердили это во ВНИИСК, и мы заключили договор с институтом на разработку им и поставку только нам опытной партии конденсаторов в количестве 2000 штук с емкостью 0,4 мкФ на рабочее напряжение 100 кВ, имеющих собственную индуктивность не более 70 нГн. В результате совместных работ с институтом, многочисленных испытаний у нас вариантов конденсаторов и обсуждений внесения последующих изменений в конструкции элементов образцов были созданы достаточно удачные конденсаторы ИК 100-0,4 с пропиткой нескольких слоев из полипропиленовой пленки и конденсаторной бумаги касторовым маслом, промышленно выпускаемые затем на Серпуховском конденсаторном заводе в течение более 25 лет и нашедшие широкое применение во многих организациях. Эти конденсаторы служат в ГИН ЛИУ-30 и в ряде других его узлов до сих пор. Правда, для этого пришлось разработать мне и А. С. Федоткину своеобразную методику отбраковки на ресурс конденсаторов для наших условий (отход около 25 % от общего их количества); эта методика была нами опубликована и применялась в других НИИ. Приятно вспомнить, что в разработку этих промышленных конденсаторов вложен и мой труд.

К началу 1977 года были изготовлены в механическом цехе физического отделения (начальник цеха Е. А. Сальников) практически все остальные узлы и системы установки ЛИУ-10 и начаты их монтаж и наладка в имеющемся здании. Заместитель главного инженера отделения Б. А. Ермаков уделял много внимания поставке оборудования для ускорителя строго по сетевому графику. В. Ф. Басманов с конструкторами курировал изготовление в цехе деталей узлов ускорителя, присутствовал при их монтаже и испытаниях, проводил коррекцию чертежей с оперативной доработкой деталей.

По завершении сборки и наладки других систем, технологического и вспомогательного оборудования начался ввод в действие всего ускорителя ЛИУ-10. Достаточно быстро были получены близкие к проектным характеристики ускорителя (14 МэВ, 40 кА, 20 нс), его официально приняли в опытную эксплуатацию в 1977 году, и он стал эффективно использоваться как моделирующая установка для лабораторных радиационных исследований материалов, элементов и аппаратуры радиоэлектроники, специальной техники, а также ряда физических исследований. Это был первый в мире дешевый и оригинальный ускоритель такого технического типа, описание которого мы опубликовали в ДАН СССР (1980 г., т. 250, № 5, с. 1118–1122). По сочетанию выходных характеристик пучка электронов и тормозного излучения ЛИУ-10 превосходил достижения зарубежных установок подобного назначения. В 1984 году ЛИУ-10 оснастили импульсным ядер-

ным реактором ГИР (аббревиатура из начальных букв слов «гамма-источник реакторный»), разработанным М. И. Кувшиновым и М. А. Воиновым по инициативе Павловского и Босамыкина. Таким образом, был впервые создан комплекс ЛИУ-10-ГИР, позволивший при синхронизированном временном интервале между пусками ускорителя и реактора моделировать воздействие на объекты короткоимпульсного гамма-излучения и длинноимпульсного гамма-нейтронного излучений ядерного взрыва. Организацию экспериментальных исследований радиационной стойкости образцов вооружения и военной техники проводила с 1978 года под руководством В. С. Босамыкина группа В. А. Савченко в составе: В. Д. Селемир, Л. Н. Робкин, А. С. Гончаров, В. П. Грицына, Д. Н. Милорадов, В. В. Иванов, А. Я. Андреев, Б. И. Модель и др., а эксплуатацию установки ЛИУ-10 и проведение опытов – группа К. А. Морунова в составе: Н. Н. Сулин, М. В. Загускин, А. Н. Петров, И. Б. Косолапов, И. Г. Горев, В. М. Рудюк, Ю. Н. Ботов и др. Эксплуатацию реактора обеспечивала группа во главе с М. А. Воиновым в составе: А. В. Архипов, А. П. Бегунов, С. Н. Лаврентьев, В. В. Воронин и др. Объем радиационных исследований количественно и качественно характеризуется проведением 5000 опытов, выполненных с 1978 по 1990 годы только на ЛИУ-10, выпуском около 300 научно-технических отчетов, участием 15 ведущих КБ, институтов и предприятий, стойкость изделий которых отрабатывалась и далее подтверждалась в подземных ядерных испытаниях. В 1992 году ЛИУ-10 демонтировали в связи с запроектированной сборкой на его месте более совершенного ускорителя ЛИУ-10М с индукторами на водоизолированных линиях со ступенчатым изменением волнового сопротивления. Что касается ГИН, то найденные их схемные решения, разработанные конструкции разрядников и резисторов до настоящего времени применяются в подобных генераторах.

Я, давно сдав все экзамены кандидатского минимума, начал исподволь выбирать время и готовить с начала 1971 года диссертацию к защите на степень кандидата физико-математических наук. Мне очень не хотелось представлять в ней закрытый материал, и, поговорив на эту тему с научным руководителем А. И. Павловским, я получил от него через Ю. Б. разрешение на подготовку открытой диссертации. Первый ее вариант был оформлен в конце 1972 года. На НТС тогда предзащита не проводилась, и оппонирующую организацию, как и оппонентов, утверждал по предложению соискателя или его непосредственных начальников руководитель диссертационной работы после обсуждения их с председателем диссертационного совета членом-корреспондентом АН СССР Ю. Н. Бабаевым. Я выбрал оппонирующей организацией ИТЭФ (г. Москва), поговорив сначала с начальником отдела, доктором технических наук профессором И. М. Капчинским и главным инженером ИТЭФ, кандидатом технических наук Н. В. Лазаревым, и получил их согласие на это. Г. Д. Кулешов предложил оппонента из КБ-1011 (тогда еще ВНИИП, ныне РФЯЦ-ВНИИТФ) начальника лаборатории, кандидата технических наук Ю. А. Бабейко, специалиста по ускорительной технике (я с Бабейко тоже был знаком). Оппонентом от ВНИИЭФ

Павловский попросил стать начальника отдела, доктора физико-математических наук В. К. Чернышова, крупного специалиста по электрофизике. Кроме того, А. И. договорился с заместителем научного руководителя ВНИИП, доктором физико-математических наук, профессором Ю. А. Зысиным, чтобы он написал отзыв на мою диссертацию. Всем указанным лицам разослали официально экземпляры диссертации, и к концу 1973 года секретарь диссертационного совета получила от них положительные отзывы. Но вдруг в начале 1974 года приходит во ВНИИЭФ решение Высшей аттестационной комиссии (ВАК) об отмене защиты у нас несекретных диссертаций. Допускался только гриф «Для служебного пользования». Пришлось изменять содержание материала, текст и иллюстрации и повторно высылать модернизированный вариант оппонентам и просить всех дать вторично отзывы с указанным грифом. К середине 1975 года опять все было готово к защите. Но тут следует новое указание ВАК, что у нас к защите могут приниматься диссертации с минимальным грифом «Секретно». Вот тут взбеленился уже я и сказал Павловскому, что переписывать диссертацию не хочу и защищать ее не буду. В третий раз перекомпоновывать текст было очень неприятно, тем более, что одновременно следовало руководить очень большой группой (ее состав достиг уже 40 человек) и контролировать ход дел по продолжению разработки и совершенствованию узлов ускорителя ЛИУ-30, выдавая эту информацию в письменной форме проектантам зданий для комплекса ПУЛЬСАР. Павловский спокойно и без возражения принял мои доводы к сведению, понимая мое состояние, но месяца через 3–4 начал уговаривать и настраивать меня на переделку диссертации. Правда, это нужно было и А. И., так как ему не хватало как научному руководителю защищенных диссертаций для получения научного звания профессора. Я, несколько отдохнув от прежних мытарств, снова взялся за переработку рукописи, в основном в вечерние часы. Имея уже большой опыт в этом деле, я оформил третий вариант злополучной диссертации. Пришлось с извинениями съездить в ИТЭФ, а А. И. звонить по телефону оппонентам и снова просить их составить отзывы на мою диссертацию; кроме того, А. И. обратился к Ю. А. Зысину и доктору технических наук О. П. Печерскому (бывшему нашему сотруднику, а тогда работающему в НИИЭФА, г. Ленинград) дать отзывы на автореферат диссертации. К этому времени Ю. А. Бабейко уже перевелся в Москву в п/я Р-6324 (организация «Астрофизика»), и потому экземпляр диссертации пришлось пересылать спецпочтой и туда. В начале 1977 года все переоформленные в третий раз отзывы получил наш диссертационный совет, в котором 11 октября 1977 года я и защитил свою квалификационную работу. Члены совета единогласно присудили мне ученую степень кандидата физико-математических наук.

Моя группа продолжала совершенствовать оборудование ускорителя ЛИУ-30 под общим научным руководством А. И. Павловского, причем основное внимание с конца 1976 года было уделено экспериментам и ресурсной отработке натурального макета модуля в составе двухсекционного ускорительного блока Б2 и варианта пятикаскадного ГИНа с возможностью замены в каждом каскаде двух

параллельно соединенных конденсаторов ИК 100-0,25 (100 кВ; 0,25 мкФ) на один ИК 100-0,4. Влияние пучка электронов имитировали предложенной мной мощной жидкостной регулируемой резистивной нагрузкой, встроенной в область ускорения блока Б2. Чертежи на блок разработали при нашем электрофизическом сопровождении В. Г. Зюкин, С. С. Павлов, А. П. Ужегова под руководством В. Ф. Бухарова. При этом инженеры из моей группы и группы В. А. Тананакина – Б. А. Афанасьев, В. П. Вересов, А. В. Гришин, Е. Г. Дубинов, С. Я. Слюсаренко, А. Д. Тарасов, А. С. Федоткин, В. П. Циберев – максимальное время занимались созданием и испытанием вариантов экранированных электропрочных надежных соленоидов (один на два каждого индуктора из проектного их количества 144), размещаемых в области ускорения блоков, которые должны формировать в ней достаточно однородное продольное импульсное (~1 мс) магнитное поле с индукцией около 0,5 тесла. Для синхронной запитки таких соленоидов током с амплитудой 25 кА разрабатывались и испытывались варианты конденсаторных модулей с запасаемой энергией до 125 кДж (подобных модулей в батарее ЛИУ-30 должно быть 50). В промежутке между экранами каждого двух смежных соленоидов при срабатывании индукторов ускорительных блоков импульсное ускоряющее напряжение, близкое по амплитуде к 1 МВ (без нагрузки). Вот этот промежуток и образовывал в области ускорения спад напряженности магнитного поля, силовые линии которого выпячивались наружу от продольной оси, создавая здесь неоднородность распределения. Кроме того, существенно влияли на ход силовых линий располагаемые вокруг соленоидов трубчатые и кольцевые элементы из нержавеющей стали, конструктивно неизбежные в индукторах, в их стыках между собой и в самом ускорительном вакуумном тракте. Физическая сущность этого явления заключается в том, что магнитное поле соленоидов пересекает площадь контура внутри полости каждой такой детали и согласно закону Фарадея индуцирует протекание в них токов, локально (напротив своей детали) уменьшающих напряженность поля. Чтобы подобное влияние было минимальным от самого экрана, в котором располагался соленоид, стенка его имела толщину много меньше глубины скин-слоя на частоте тока разрядки конденсаторного модуля; толщины других деталей для обеспечения механической прочности были много больше указанной глубины. Рассчитывать распределение магнитного поля в такой сложной системе электропроводящих элементов мы тогда не умели и потому измеряли характеристики полей, экспериментально подбирая конфигурации, положения и геометрические размеры элементов для минимизации искажения поля. Естественно, что для этих измерений понадобилось создавать соответствующие методики. Вся процедура измерений и подбора являлась достаточно трудоемкой. Поэтому начали применять для данных целей достаточно большую электролитическую ванну, разработанную в 1975 году мной совместно с В. П. Царевым, С. Т. Назаренко и А. Д. Тарасовым (о ней сделана в 1976 г. публикация в журнале «ПТЭ»). Этот комплекс исследований на блоке Б2 завершился только в середине 1978 года получением многих нужных

нам результатов. Полезным следует признать и то, что разработанный под руководством В. С. Горкунова и Г. М. Скрипки по нашему ТЗ пульт управления и контроля блока Б2 после небольшой модернизации стал пультом ускорителя и ЛИУ-10 (мне очень не хотелось его передавать, но А. И. в приказном порядке обязал сделать это).

Почти параллельно с началом работ на блоке Б2 мы приступили к разработке и экспериментальным изучением еще одного варианта блока для ускорителя ЛИУ-15, который понадобился НИИ приборов (г. Лыткарино). На данное направление исследований в группу дали инженеров Ю. Г. Катаева и С. Л. Топтунова. Этот ускоритель должен выдавать пучок электронов с меньшей в два раза энергией (15 МэВ), чем энергия электронов в ЛИУ-30, укороченной длительностью импульса и потому большей монохроматичностью энергии электронов. Чертежи такого блока с 24 тригatronами на 500 кВ в каждом индукторе и нового варианта ГИНа, а также модернизированных вариантов ряда вспомогательного и технологического оборудования для него оперативно создал при участии сотрудников моей группы (электрофизики) указанный выше коллектив конструкторов, дополненный инженерами Г. Г. Гужвой, Л. Ф. Буренко, А. П. Паховым. Цикл исследований и отработки ускорительного модуля продолжался почти до конца 1978 года, в процессе проведения которого мы получили значительный объем научной и инженерной информации, полезной для последующих применений. К сожалению, по субъективным обстоятельствам и финансовым сложностям НИИ приборов отказался от реализации этого проекта.

В начале 1977 года стали ясны практически все основные характеристики (электрические, конструктивные, компоновочные, массогабаритные и др.) главных, вспомогательных и технологических систем ускорителя ЛИУ-30 и комплекса ПУЛЬСАР в целом, которые окончательно переслали во ВНИПИЭТ. Этот разработчик проектов зданий потребовал от ВНИИЭФ в связи с отсутствием утвержденного полного комплекта рабочих чертежей на ЛИУ-30, реакторы БР-1 и БР-К, а также ударные стенды официально выделить ответственных сотрудников, уполномоченных консультировать специалистов ВНИПИЭТ и письменно под роспись предоставлять им дополнительные и недостающие сведения, необходимые для разработки рабочих строительных чертежей; чертежей на технологические системы ускорителя (вакуумная система, газонаполнение разрядников, водоподготовка, маслоочистка, высоковольтные выпрямители, конденсаторная батарея, специальные контуры заземлений, сеть повышенного давления воздуха и др.); на инженерно-технические системы (разводка электрических цепей, труб отопления, водоснабжения, высокого давления воздуха, каналов вентиляции и т. п.) с учетом электромагнитной совместимости; на радиационную защиту персонала; на электромагнитное высокочастотное экранирование отдельных помещений, дверных и оконных проемов и т. д. Представители ВНИИЭФ обязаны в течение как минимум года приезжать в конце каждого месяца на 3–5 дней к проектантам, а также отвечать по телефону на их вопросы (если эту информа-

цию допустимо обговорить подобным образом) и позже свои ответы присылать в виде подписанного документа. Озабоченный постановкой задачи Павловский взял меня с собой к заместителю директора ВНИИЭФ по капитальному строительству Н. И. Колесникову для обсуждения ситуации. Тот подтвердил, что только так можно оперативно создать рабочие чертежи зданий. Для этого надо выделить 5–7 инженеров, как это сделано сейчас при проектировании здания под лазерную установку «Искра», чтобы один из них досконально знал, например, где и какого типа будет установлено электрооборудование, какие к нему нужны электросети, куда и какую подвести мощность, где установить электрощиты на 220 или 380 вольт, где и сколько разместить электророзеток, как рассчитать и проложить шины заземления, какого типа нужны помехоподавляющие фильтры и многое другое. Второй должен знать способы и расчеты электромагнитного экранирования оборудования и помещений от низко- и высокочастотных полей, какое оборудование и какие сети станут рассеивать такие поля, как обустраивать защищенные от проникновения полей кабельные и другие каналы и т. д. Третий должен знать типы и характеристики проникающих излучений при работе оборудования, размещение этого оборудования, методы расчета защиты от таких излучений, используемые вещества защиты в зависимости от характера излучений и т. п. То же самое по всем технологическим и инженерно-техническим системам. Выслушав Н. И. Колесникова, Павловский заявил, что, выделив для этих целей пять или семь специалистов, он сильно ослабит фронт исследований и, в частности, сложно будет сделать комплекс ПУЛЬСАР особо надежным. А это очень важный фактор, так как испытываться на нем будет очень дорогостоящая спецтехника. Поэтому он (Павловский) пойдет к директору Е. А. Негину с просьбой просить его подобрать для указанных целей опытных работников из других подразделений, например, из УКСа. Н. И. рассмеялся и объяснил, что подобное уже было от разработчиков лазерной установки «Искра» и Негин посоветовал им самим найти в институте таких людей и уговорить их оказать им помощь, а вот все остальное он организует. Однако добавил, что лучше, чем создатели электрофизических установок, никто не знает, что надо для них. И конечно, лазерщики нужных себе помощников не выявили. С тем мы и удалились от Колесникова.

Через несколько дней А. И. пригласил меня в кабинет начальника физического отделения, где находился и его заместитель по новой технике Ю. И. Ильин, и сказал, что в результате обсуждений они решили назначить таким представителем только меня, ибо я лучше всех знаю ускоритель ЛИУ-30 и его системы, имею дополнительную специальность и опыт строителя, изучал отопление, водоснабжение, вентиляцию, канализацию, а в МИФИ – и электротехнику, знаком с защитой от радиации и т. д. А кроме того, он напомнил, что когда-то я же смог по совместительству успешно курировать сооружение здания для отдела с внесением в проект многих дополнительных нужных технических решений. Я согласился взяться за это очень времязатратное, но не престижное поручение при вы-

полнении следующих условий: во-первых, ответственным для решения вопросов по реакторным залам и смежным помещениям надо назначить А. С. Кошелева; во-вторых, решения с проектантами принимаю я лично, не теряя время на всякие письменные согласования со многими службами ВНИИЭФ (главный инженер, главный механик, главный энергетик, подразделения радиационной и техники безопасности и т. д.), и подписываю об этом в Ленинграде соответствующий документ; в-третьих, при необходимости направлять во внешние организации составленные мной письменные материалы их визирует только Павловский или Ильин, а подписывает Н. И. Колесников. С этими предложениями А. И. согласился, и вскоре был выпущен документ, в котором ответственными кураторами разработки проектов зданий и требующегося для них инженерного оснащения были назначены я (ускорительная часть) и А. С. Кошелев (реакторная часть).

Дело с разработкой проекта зданий энергично закрутилось. Во ВНИПИЭТ главным инженером (ГИП) нашего проекта назначили Анатолия Анатольевича Rogozina, а его заместителем – Бориса Александровича Коновалова, очень толковых и опытных специалистов. Конечно, пришлось много просмотреть справочной и иной научно-технической литературы, чтобы квалифицированно обсуждать с достаточно узкими специалистами-проектировщиками (строители, технологи разных направлений, монтажники металлоконструкций, электрики, сантехники систем отопления, водоразводки, вентиляции, подачи сжатого газа, канализации и др.) требующие решения ситуации. Как правило, я извещал ежемесячно ГИП или его зама о своем приезде (если только они раньше не вызывали меня или Кошелева) и просил собрать сразу всех специалистов, у которых есть к нам вопросы. Это позволяло обычно за день или два обсудить их все и дать необходимые разъяснения, а затем изложить ответы на бумаге с моей подписью. Очень помогал нам во всех этих делах один из ведущих технологов ВНИПИЭТ Владимир Александрович Иванов, работающий до недавнего времени в течение нескольких лет в нашем физическом отделении на электростатических ускорителях. Наряду с выездами во ВНИПИЭТ Кошелеву приходилось посещать и Красноярск-26 (Минсредмаш, ныне ЗАТО, г. Зеленогорск), где располагался филиал ВНИПИЭТ, проектирующий в реакторные и облучательный залы передвижные защитные шторы и двери, имеющие массу до 160 т, а также механизмы их перемещения и соответствующие электроприводы. Позже А. С. неоднократно бывал и на Старо-Краматорском машиностроительном заводе, где изготавливали эти шторы, двери и приводы.

По ряду вопросов проектантов о размещении и транспортировке в облучательном зале зданий подлежащей облучательным экспериментам специальной техники, а также для обеспечения ее инженерными коммуникациями для функционирования в процессе испытаний пришлось мне два раза в 1977 году выезжать в Московский институт теплотехники (НИИ-1, в настоящее время ФГУП «МИТ»), один из основных создателей подвижных ракетных комплексов с баллистическими ракетами на твердом топливе – носителями ядерных боепри-

пасов (ныне широко известен комплексами «Тополь» и «Тополь-М»). Эти сведения требовались для закладки их в проект зданий. МИТ организован в 1946 году, а его директором–главным конструктором с 1961 года являлся выдающийся конструктор-разработчик, специалист в области прикладной механики и машиностроения Александр Давидович Надирадзе (с 1981 г. академик АН СССР). Кто-то доложил ему о приезде к ним представителя Харитона, и, по-видимому, очень уважая нашего научного руководителя, А. Д. распорядился первым делом привести меня к нему в кабинет. Я о Надирадзе уже слышал лестные слова от Павловского как о крупном организаторе и талантливом руководителе большого научно-конструкторского коллектива. В сопровождении сотрудника МИТ В. В. Дорошина и работника режимной службы я вошел в просторный кабинет А. Д. Из-за стола поднялся и вышел навстречу высокий, статный, с правильными чертами почти славянского типа лица мужчина (с такой фамилией я заведомо представлял его типичным грузином с большим носом и усами) и с улыбкой поздоровался со мной за руку (я сразу обратил внимание на наличие на лацканах пиджака звезды Героя Социалистического Труда и медали лауреата Ленинской премии; в 1982 г. он стал дважды Героем Соцтруда). Я представился и кратко изложил цель моего приезда. Он предложил сесть в кресло и сказал, что, так как МИТ желает первым начать лабораторные исследования радиационной стойкости и отработку на заданные ее уровни своих систем на наших линейных генераторах тормозного излучения, то для начала я должен рассказать о проектных характеристиках ускорителя ЛИУ-30 и в каком состоянии находится его создание, какие установки войдут в состав комплекса ПУЛЬСАР и что будет представлять собой облучательный зал. Я все это изложил, а также и подобные сведения о меньшем образце ускорителя – ускорителе ЛИУ-10 и о гарантированном вводе его как моделирующей установки в опытную эксплуатацию до конца текущего – 1977 – года. Из взаимного обсуждения у меня создалось впечатление, что в МИТ знают много о наших нового типа ускорителях и заинтересованно следят за их воплощением в действие. После всего этого вопросы начал задавать уже я без какой-либо записи ответов на них (не положено!). В завершение аудиенции, длившейся около полутора часов с небольшим перерывом, когда мы все выпили по стакану чая с бутербродами, А. Д. поблагодарил меня за содержательную информацию и попросил передать добрые пожелания Ю. Б. Харитону. С тем я и отбыл транзитом в Ленинград для переадресовки полученных сведений проектантам.

Во второй приезд в МИТ я взаимодействовал уже только с В. А. Назаренко и Л. С. Соломоновым, будущим заместителем Генерального конструктора МИТ – своего брата Ю. С. Соломонова, академика РАН.

Любопытно отметить, что директор – главный конструктор ВНИИЭФ, генерал-лейтенант авиации Е. А. Негин (академик АН СССР с 1979 г.) два раза на совещаниях отстаивал создание комплекса ПУЛЬСАР вне зоны объекта – на территории Мордовской АССР в примыкающем к зоне Темниковском районе около

озера Светлое. Там же предлагал он построить и жилье для обслуживающего персонала, причем можно было и не включать его в огороженную промышленную зону. Он утверждал, что руководство республики заинтересовано в таких предприятиях и однозначно согласится на выделение для строительства нужной площади. Это повысит безопасность жителей города Сарова, упростит оформление и завоз спецтехники для испытаний, даст возможность для свободного посещения сотрудников родственниками, что полезно в случае решения в перспективе руководства СССР об открытии города. Но Павловский каждый раз возражал против создания комплекса вне зоны объекта, приводя в качестве примера большие неудобства в Снежинске из-за наличия физической площадки 21 вне зоны. В итоге таких дискуссий приняли окончательное решение строить здания в зоне объекта около площадки импульсных ядерных реакторов.

В 1978 году, не дожидаясь окончательного завершения разработки всех проектов зданий (строительного, технологического, электрического, сантехнических и т. д.), начали копать котлованы под сооружение фундаментов обоих зданий. Я периодически приезжал на стройку, так как в мои обязанности входило и ее курирование. Интересно, что в то время внутри зоны было много лосей. Часто их можно было увидеть прямо на улицах города и отдыхающими на асфальте (как-то прибежал домой внук Алеша и закричал: «Бабушка! Там во дворе много ослей!»). Из-за болотистости местности выкопанные котлованы сразу заполнялись грунтовой водой. И потому в каждый приезд мы заставляли в летнее время лежащих в воде лосей, спасавшихся от оводов и других насекомых, зато они совершенно не боялись грохота строительных механизмов и людей. Мы обычно шутили, что лоси решили, что ПУЛЬСАР создается специально для них.

А во ВНИПИЭТ ежемесячные поездки продолжались не только первые два года, но и еще в течение четырех лет, только несколько реже. Связано это было с тем, что мы постепенно уточняли некоторые электрические и геометрические характеристики оборудования и всех систем установок комплекса, которые предварительно заложили в проект с некоторым запасом. Теперь их требовалось скорректировать, как правило, в сторону удешевления строительно-монтажных работ. Правда, был ряд и новых дополнительных изменений.

Оглядываясь назад уже при действующем ускорителе, приятно отметить, что все мои, порой интуитивные, научно-технические и инженерные предварительные решения оказались правильными и востребованными. Конечно, для их выработки тратилось много личного времени и требовалась переработка огромного объема разнообразной информации. Абсолютному большинству участников наших электрофизических разработок все это было невидимо, так как они представляли проектантов знающими лучше нас, какие здания и помещения в них, а также инженерно-техническое обеспечение требуются для электрофизического оборудования, и потому проектанты почти автоматически создают нужные чертежи с однозначной и правильной привязкой к новым, впервые создаваемым в мире, установкам. И только Н. И. Колесников, А. И. Павловский,

Ю. И. Ильин и Л. И. Сельченков понимали и ценили тогда трудоемкость и огромную ответственность этой моей деятельности по совместительству.

В начале 1978 года в значительной мере были отработаны типовые узлы всех систем установки ЛИУ-30. Поэтому по аналогии с хорошо зарекомендовавшей себя организацией разработки ускорителя ЛИУ-10 мне представилось полезным назначить ответственных исполнителей по каждой системе для их оптимальной компоновки с увязкой со всеми другими основными, технологическими и вспомогательными системами с учетом обеспечения требований электромагнитной совместимости (минимального уровня рассеяния переменных и импульсных электромагнитных полей), удобства обслуживания систем, тиражирования их узлов и подготовки эксплуатационной документации по системам. Прикинув расстановку минимального количества персонала по направлениям, я увидел, что, несмотря на более десятикратное превышение штатного состава моей группы, имеется значительная его нехватка. Однако хотя бы по ряду направлений стоило официально закрепить ответственных лиц. Поэтому появилось подготовленное мною и Л. И. Сельченковым начальное распоряжение А. И., согласно которому я, кроме общего курирования всех работ по ЛИУ-30, был определен совместно с А. С. Федоткиным отвечать за создание комплекса из 72 ГИНов на 500 кВ и ряда помехоустойчивых датчиков импульсных сигналов; В. А. Тананакин – руководить разработкой триггеров на 500 кВ для индукторов и сложной системы их высоковольтной синхронизации (около 2500 разрядников) включения с наносекундной точностью; А. Д. Тарасов и его группа – принимать на заводе изготовленные ускорительные блоки, монтировать их и проводить испытания в составе модулей ускоряющей системы; я и В. П. Вересов – создавать модули конденсаторной батареи для формирования магнитного поля в области ускорения. К участию проекта сильноточного инжектора пучка электронов был привлечен и В. А. Савченко. Но на прочие системы исполнителей не хватало.

Поразмыслив, кого бы можно было из специалистов других отделов физического отделения привлечь к нашим работам, я поговорил с ними и назвал А. И. их фамилии, он с этим согласился. Конечно, здесь сыграло свою роль то, что по начавшимся радиационным исследованиям спецаппаратуры на ускорителе ЛИУ-10 и получаемым при этом новым эффективным результатам распространилась в среде ученых страны соответствующая резонансная информация; стало понятно, что скорейший ввод в действие более мощного ускорителя ЛИУ-30 однозначно повысит престиж ВНИИЭФ и непосредственного научного руководителя разработки А. И. Павловского. Так оказались в нашем коллективе квалифицированные опытные инженеры В. Я. Анфиногенов и М. В. Малышев, ставшие вместе с С. Я. Слюсаренко вести электротехническое и технологическое направление разработок; В. Я. Аверченков и С. А. Лазарев – разработку систем для измерения полей тормозного излучения и фотонейтронных импульсов (позже коллектив во главе с Аверченковым выделился в отдельную группу, а затем – в лабораторию); Г. М. Скрипка и В. С. Горкунов – создание автоматизированной системы

управления и контроля работой ускорителя. В группу конструкторов во главе с В. Ф. Басмановым добавили опытных специалистов – Р. М. Гарипова, А. П. Гридасова, С. Т. Назаренко и ряд молодых инженеров. Постепенно вводились в наш коллектив еще инженеры, техники и лаборанты. Для организации мастерской по механической обработке металлов, при заказе соответствующих станков, устройстве фундаментов под них, подводе электросетей нужных вольтажа и мощности, отборе станочников приняли в состав группы опытного инженера-механика А. Ф. Моисеева.

Ход всех работ по комплексу ПУЛЬСАР отслеживал А. И., который, несмотря на все возрастающую занятость административным и научным руководством отдела и физического отделения, численность которого достигла 1700 человек, еженедельно проводил совещания с отчетами по состоянию создания каждой из систем. Он обязал заместителя главного инженера физического отделения Б. А. Ермакова разработать совместно с нами подробный сетевой график (модное в то время правило организации ведения работ) по экспериментам полномасштабных макетов узлов, анализу измерения их характеристик и документальному оформлению по ним выводов, конструктивным доработкам узлов по результатам опытов, составлению рабочих чертежей и изготовлению узлов. Вот этот график и использовался как основной документ на совещаниях. Если обнаруживалась какая-либо задержка работ, то это являлось предметом самых серьезных решений касательно ответственных исполнителей по ним, не четко контролирующих свое направление и не поставивших своевременно в известность А. И. о причинах срыва сроков. Такое жесткое обсуждение хода дел сильно дисциплинировало исполнителей и инженеров их групп и повышало ответственность за выполнение планов.

Наконец, в 1980 году были выделены Госпланом СССР карусельные станки, нужные для изготовления на заводе ВНИИЭФ деталей из нержавеющей стали диаметром до 3,5 м для инжекторных и ускорительных блоков, станки были получены, и их установили в построенном цехе. Началось изготовление ускорительных блоков. В других цехах стали тиражировать ГИН, модули блоков конденсаторной батареи, блоки дистанционного распределения электроэнергии и постоянного зарядного напряжения до 100 кВ, другое оборудование. Узлы высоковольтной системы синхронизации готовили в механическом цехе физического отделения. Теперь следовало часто вместе с А. Д. Тарасовым принимать в цехах изготовленные крупногабаритные детали и сборки узлов из них. Нередко оказывалось, что отдельные детали сделаны с отступлением от чертежей из-за ошибки рабочих металлообработчиков или слесарей. Так как заготовки для подобных деталей являлись очень дефицитными, то совместно с конструкторами и технологами цехов приходилось думать, как деталь доработать и применить в сборке. И такие решения находились. Но узел с этой деталью являлся уже не типовым, а индивидуальным, что позже затрудняло эксплуатационное обслуживание. Теперь пришлось ежемесячно принимать участие вместе с Б. А. Ер-

маковым в обсуждении выполнения нашего заказа на заводе у начальника планово-производственного отдела ВНИИЭФ П. Ф. Шульженко в присутствии руководства завода, начальников и технологов некоторых цехов или у заместителя директора завода С. И. Потапова примерно в таком же составе.

Для более оперативного решения всех вопросов по комплексу ПУЛЬСАР была организована в 1982 году специальная лаборатория во главе со мной, и ее состав увеличился до 179 человек. Заместителем начальника лаборатории был назначен В. К. Сайгин, а после перехода его на другую работу – В. П. Бубнов.

Предложение и обоснование группы ученых ВНИИЭФ по созданию нового типа мощных линейных ускорителей сильноточных пучков заряженных частиц, а также их практическая реализация были оценены в 1982 году присуждением Ленинской премии в области науки и техники В. Ф. Басманову, В. С. Босамыкину, мне, А. П. Клементьеву, К. А. Моруну и В. А. Савченко.

В 1988 году ЛИУ-30 был принят в эксплуатацию, показав рекордную для установок такого типа энергию ускорения электронов 40 МэВ и максимальную дозу тормозного излучения 10 кР на 1 м от мишени при длительности импульса 20 нс. Эксплуатация и проведение опытов на ЛИУ-30 были поручены моей лаборатории, которая в 1986 году была включена в состав отдела В. С. Босамыкина, а в 1997 году преобразована в отдел во главе с А. В. Гришиным. В 2004 году начальником этого отдела был назначен С. А. Горностай-Польский, а А. В. Гришин стал руководителем отдела по созданию макета модуля мультитераваттной установки ГАММА.



*Мощный линейный ускоритель электронов
ЛИУ-30*

Организация исследований радиационной стойкости была поручена сектору В. А. Савченко. Регистрацию импульсных токов и напряжений в системах ЛИУ-30 обеспечивал В. П. Грицына с сотрудниками, интегральную дозиметрию – С. А. Горностай-Польский. На ЛИУ-30 сразу же начались исследования и отработка радиационной стойкости компонентов крупногабаритной ВТ внешних предприятий, а затем – и ВТ в целом. Кроме указанных, дополнительными характеристиками ЛИУ-30 были следующие: ток пучка электронов до 100 кА в импульсе длительностью 20 нс, пиковая мощность пучка ~4 ТВт, интегральный выход нейтронов



*У инжектора ЛИУ-30 я, В. В. Памиев (в центре)
и С. А. Горностай-Польский (сидит)*

$\sim 10^{14}$ из мишени ^{238}U . Габаритные размеры ускоряющей системы ускорителя: длина 25 м, ширина 9,5 м, высота 4 м, темп ускорения $\sim 1,7$ МэВ/м. Отработаны и применяются режимы ускорения с энергией электронов 4, 15, 25 и 40 МэВ. Особенности формирования сильноточного электронного пучка и его транспортировка в протяженном ускорительном тракте представляют уникальные возможности по варьированию характеристик импульса ТИ: длительности импульса от 5 до 24 нс, граничной энергии квантов от нескольких единиц до 40 МэВ. Реализована также возможность получения импульса ТИ с фронтом ~ 3 нс за счет перехода в режим транспортировки пучка с торможением на фронте под действием собственных электромагнитных полей пучка. Освоено ускорение сдвинутых во времени двух соосных трубчатых пучков разного диаметра в одном цикле включения ЛИУ и соответственно генерирование двух точно синхронизированных импульсов ТИ с суммой граничных энергий квантов не более 40 МэВ.

Минимальный интервал между запусками ЛИУ составил пять минут. С таким интервалом производилось до трех последовательных срабатываний ЛИУ в одной серии. В течение рабочей смены ЛИУ включался до шести раз при моделировании воздействия гамма-излучения ЯВ на спецаппаратуру.

Одновременно с работами на ЛИУ-30 проводились коллективом лаборатории А. С. Кошелева монтаж и наладка систем ядерного импульсного реактора с компактной металлической активной зоной БР-1, разработанного А. А. Малинкиным, В. Ф. Колесовым, А. С. Кошелевым и др. БР-1 при энерговыделении 11 МДж обеспечивает максимальный флюенс нейтронов на внешней поверхности $A3\ 3,2 \cdot 10^{14}$ нейтр./см² при длительности импульса $t_{0,5} \approx 60$ мкс и дозе гамма-излучения 45 кР. На комплексе ЛИУ-30-БР-1 достигнуто устойчивое функционирование двух сложных физических установок как в режиме совместного синхронного срабатывания, так и при работе БР как бустера-размножителя нейтронов. Это значительно расширило возможности ВНИИЭФ по проведению комплексных испытаний на радиационную стойкость объектов при воздействии коротко- и длинноимпульсных гамма- и нейтронного излучения на различные объекты.

В период с 1996 по 2002 годы этот комплекс был дооснащен импульсным ускорителем электронов СТРАУС-2, двумя генераторами мощных импульсов рентгеновского излучения ИЛТИ-1 и малогабаритным ускорителем электронов АРСА. Отработаны режимы включения указанных установок совместно с ускорителем ЛИУ-30 по требуемой временной программе. Это открыло дополнительные возможности испытаний различной аппаратуры на радиационную стойкость.

В процессе работы на ускорителях ЛИУ-10 и ЛИУ-30 выявилась возможность по предложению В. С. Гордеева замены водоизолированных радиальных линий в индукторах линиями со ступенчатым изменением волнового сопротивления – ступенчатыми формирующими линиями (СФЛ). Разработано несколько десятков различных схем генераторов с емкостным, индуктивным и индуктивно-емкостным накоплением энергии. Такие устройства в идеальном случае обладают 100 %-ным кпд и в результате волновых процессов обеспечивают значительное, до 5–10 раз, повышение напряжения по сравнению с напряжением зарядки этих линий и увеличение тока или электрической мощности. В дополнение, это позволяет снизить количество коммутирующих разрядников. Направление СФЛ было поддержано В. С. Босамыкиным и стало активно развиваться. Были последовательно разработаны, изготовлены и исследованы, а также нашли соответствующие применения с такими СФЛ ускорители И-3000, СТРАУС и СТРАУС-2, подтвердившие их преимущества по сравнению с возможным использованием в них радиальных линий. Наиболее мощным из этих ускорителей был СТРАУС-2 (1989 г.), обеспечивающий получение пучка электронов с энергией 3 МэВ и током 50 кА длительностью 40 нс на полувысоте. Он нашел применение как автономная облучательная установка с дозой тормозного излучения около 20 Р на площади диаметром 0,8 м на расстоянии 1 м от мишени. Таким ускорителем затем были дооснащены комплексы ПУЛЬСАР (1999 г.) и ЛИУ-10М-ГИР2 (2000 г.) для расширения их облучательных возможностей; аналог его служит инжектором пучка электронов в ускорителе ЛИУ-10М (см. ниже). Большой вклад в обеспечение

работоспособности этих ускорителей сделали В. С. Гордеев, А. П. Клементьев, А. В. Будаков, Г. А. Мысков, Л. А. Малов, В. О. Филиппов. Конструкторскую документацию на установки разрабатывали В. Ф. Басманов, Р. М. Гарипов, С. Т. Назаренко, А. П. Гридасов, А. Г. Царегородцев и др.

После поддержания Россией в 1990 году моратория на запрещение ядерных испытаний во всех средах (договор ДВЗЯИ подписан в 1996 г.) проблема создания более совершенных и эффективных моделирующих установок стала особенно актуальной. Поэтому было решено разработать взамен ЛИУ-10 новый ускоритель на базе СФЛ. Такой ускоритель ЛИУ-10М был введен в действие в 1994 году (инжектор и 16 индукторов). Ускоритель создавался под научным руководством А. И. Павловского, а после его кончины (1993 г.) – под руководством В. С. Босамыкина. Коллектив лаборатории во главе с В. С. Гордеевым (с 2000 г. является заместителем директора ИЯРФ и возглавляет отделение в составе шести отделов, куда входят все описанные в данном разделе ускорители за исключением бетатронов, доктор физико-математических наук), несмотря на большие материально-технические трудности, работал над созданием ускорителя с энтузиазмом. Основными ответственными исполнителями работ по этой установке были: В. Ф. Басманов, А. П. Гридасов – разработка конструкторской документации; О. Н. Сютин, А. В. Будаков, Г. А. Мысков, А. В. Косачев, А. Н. Петров, М. В. Загускин, Н. Н. Сулин, В. С. Никольский, В. О. Филиппов, А. С. Федоткин – разработка, экспериментальные исследования и наладка основных и технологических систем ускорителя. В настоящее время ЛИУ-10М является наиболее мощной установкой на ступенчатых линиях. Габаритные размеры ускорителя – $12 \times 9,35 \times 2,4$ (h) м. Максимальный темп ускорения – 2,8 МэВ/м. Установка обеспечивает получение электронного пучка с энергией ускорения до 20 МэВ и током до 50 кА. Максимальная доза ТИ на расстоянии 1 м от мишени ~750 Р, а в обычном режиме эксплуатации – 300–400 Р при длительности импульса излучения $t_{0,5} \approx 15$ нс. В состав ЛИУ-10М был введен новый импульсный ядерный реактор ГИР-2, образовав таким образом модернизированный облучательный комплекс ЛИУ-10М-ГИР2. В комплекс также вошли ускоритель СТРАУС-2 и малогабаритный ускоритель электронов АРСА. Реактор ГИР-2 при энерговыделении 7 МДж обеспечивает максимальный флюенс нейтронов на внешней поверхности $A3$ $1 \cdot 10^{14}$ нейтр./см² при длительности импульса на полувывоте 300 мкс и дозе гамма-излучения 60 кР.

После запрещения подземных ядерных испытаний и сокращения ядерного потенциала РФ в начале 1990-х годов стала актуальной проблема создания мощных импульсных установок для рентгенографических комплексов с целью исследований процессов в ЯЗ и мультитераваттных установок для моделирования воздействия мягкого и жесткого короткоимпульсного рентгеновского излучения ЯВ на образцы ВВТ. Поэтому семейство рентгенографических установок пополнилось в 2004 году их новым представителем – импульсным рентгенографическим электронным ускорителем СТРАУС-Р, предназначенным для генерации

однократных импульсов ТИ в режиме фокусировки пучка диаметром не более 4 мм на мишени. Он разработан с использованием опыта создания указанного выше ускорителя СТРАУС-2 под руководством В. С. Гордеева и Г. А. Мыскова. Ускоритель введен в эксплуатацию на полигонной площадке ВНИИЭФ и будет использоваться при взрывных экспериментах с размером облучательного поля не менее 10 м² на расстоянии 5 м от мишени при энергии ускорения электронов 3 МэВ, длительности излучения 50 нс и фокусе пучка около 5 мм. Ускоритель обеспечивает получение максимальной дозы ТИ 27 Р на расстоянии 1 м от выходного фланца. Граничная энергия электронов составляет 3,0–3,5 МэВ, ток пучка 60 кА, длительность импульса ТИ 50 нс.

В отделе Г. А. Мыскова ведутся также работы по созданию более мощного рентгенографического ускорителя электронов ЛИУ-Р с индукторами на основе СФЛ и энергией ускорения до 30 МэВ. Концептуальный проект был разработан В. С. Гордеевым, Г. А. Мысковым, Е. С. Михайловым и др. В настоящее время завершается создание макета ЛИУ-Р с энергией ускорения 10 МэВ. Основными разработчиками конструкторской документации по рентгенографическим ускорителям были: В. Ф. Басманов, С. Т. Назаренко, В. С. Павлов, С. А. Путевской, В. А. Деманов, Н. Н. Кузнецова. Большой вклад в монтаж и экспериментальную отработку внесли: Н. Н. Сулин, В. С. Никольский, Г. Н. Акатов, Л. А. Малов, В. Е. Скородумов, Н. Н. Утюмов, В. И. Потапин, В. В. Кульгавчук и др. Основные разработчики системы управления и контроля: И. А. Иванин, И. Б. Дунаев, Б. В. Брюков, В. В. Хвостов, М. В. Волков, В. В. Травкин. Отработкой технологии и изготовлением узлов руководили В. Ф. Басманов, Ю. И. Никоноров, В. Н. Яновский, И. С. Селин.

С использованием СФЛ в соответствии с концептуальным проектом (В. С. Гордеев, Г. А. Мысков, Е. С. Михайлов и др.) в отделе А. В. Гришина разрабатывается мультитераваттная многомодульная установки ГАММА. В 2005 году завершены изготовление и монтаж модуля, предназначенного для генерации импульса ТИ длительностью $t_{0,5} \sim 40$ нс при формировании пучка с энергией электронов до 2 МэВ и амплитудой тока ~ 1 МА. В конце 2005 года успешно проведен физический пуск этого модуля при работе на резистивную нагрузку. Основные разработчики конструкторской документации: В. Ф. Басманов, С. Т. Назаренко, В. С. Павлов, С. А. Путевской, В. А. Деманов, Н. Н. Кузнецова. Основные разработчики системы управления и контроля: И. А. Иванин, В. В. Травкин, И. Б. Дунаев и А. В. Козачёк. Большой вклад в экспериментальную отработку отдельных узлов и модуля в целом внесли: В. А. Балакин, Г. В. Карпов, С. А. Глушков, Ю. К. Зимаков и А. Е. Калинычев. Руководство работами по производству узлов модуля осуществляли: В. Ф. Басманов, Ю. А. Коршунов и Ю. И. Никоноров.

С начала разработки ускорителей типа ЛИУ на технические решения их узлов получено более 90 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Незабываемой, конечно, остается совместная работа с А. И. Павловским, с которым меня познакомил в 1954 году Ю. А. Зысин и с которым я проработал

совместно и под его руководством почти 38 лет, пройдя путь от лаборанта (тогда – препаратора) до начальника крупнейшей во ВНИИЭФ лаборатории, занимающейся исследованиями, разработкой и созданием базовой установки комплекса ПУЛЬСАР – линейного импульсного ускорителя электронов ЛИУ-30 с рекордной до настоящего времени энергией ускорения для такого типа установок. Несмотря на ряд неприятных разговоров, в основном по идеологическим и приоритетным вопросам проводимых разработок, в целом я благодарен судьбе, позволившей мне трудиться рядом с Александром Ивановичем, с которым сложились достаточно откровенные личные отношения, построенные на доверии в обмене



Академик А. И. Павловский

информацией не только в вопросах проведения различных исследований, но и жизненных и семейных обстоятельств. Этому, по-видимому, способствовало то, что я пришел в группу Павловского, уже имея трудовой стаж 3,5 года на строительстве МГУ и «объекте» со сложным контингентом заключенных и более двух лет в отделе в группе Г. П. Антропова, руководил коллективами, имел опыт планирования и организации работ, умел договариваться с людьми. Очевидно, немалую роль сыграли мое умение «руководничать» и успешная учеба на последних курсах вечернего отделения МИФИ. Позже почему-то именно меня А. И. попросил стать его доверенным лицом при выборах в депутаты горсовета, и я четыре сезона успешно выполнял эту сложную функцию (он избирался депутатом на четыре срока). У населения, особенно пенсионеров, при агитации голосовать за А. И. возникало достаточно много конкретных вопросов о кандидате, часто очень личного и семейно-бытового характера, а также: какую работу он делает, за что получил те или иные награды и поощрения и т. д. Отмахнуться от большинства вопросов ссылками на закрытость многих тем было нельзя, и потому приходилось как-то корректно фантазировать и обязательно отвечать. После таких встреч с избирателями я пересказывал А. И. вопросы и просил ответить на них. У меня была целая тетрадь с этими вопросами и записанными на них ответами А. И., которую я никогда никому не показывал. По рекомендации А. И. дважды научный руководитель ВНИИЭФ Ю. Б. Харитон направлял меня в Кремль на заседания Военно-промышленной комиссии СМ СССР для защиты интересов ВНИИЭФ по созданию мощного ускорителя заряженных частиц и финансированию этой разработки. Был я и у министра финансов СССР В. Ф. Гарбузова, «выбив» 25 кг дефицитнейшего тогда иридия для наших разработок.

Памятными для меня остались и первые годы работы в группе А. И. Его пионерское предложение разработать для импульсной рентгенографии оригинальный сильноточный «безжелезный» циклический ускоритель электро-

нов – бетатрон – вызвало большой интерес у Ю. Б., так как он постоянно уделял огромное внимание проблеме повышения толщины просвечиваемых металлов и соответственно увеличения точности измерений при исследованиях методом рентгенографии быстропротекающих процессов с регистрацией в них положения и состояния перемещаемых взрывом объектов в определенные моменты времени. Связано это было с потребностью перевода газодинамических опытов с малых моделей атомных зарядов из низкоплотных веществ на макеты больших и даже натуральных размеров с плотными материалами. Поэтому Харитон достаточно часто появлялся в группе А. И., присутствовал при включении оборудования и участвовал в обсуждении полученных результатов. В конце 1956 года было достигнуто на первой бетатронной установке БИМ-2 устойчивое ускорение электронов. Фокальное пятно пучка ТИ составляло 3–5 мм, длительность импульса ТИ регулировалась от единиц до десятых долей микросекунд, что удовлетворяло требованиям импульсной рентгенографии. Завершенный этап исследований был подробно обсужден у Ю. Б. Его особенно беспокоила правильность определения граничной энергии ускоренных электронов, так как от нее зависели характеристики просвечиваемых материалов в предстоящих опытах. Ю. Б. считал недостаточно доказательными в то время только два используемых метода контроля этой энергии: 1 – измерение магнитного поля на орбите в момент сброса электронов на мишень и вычисление по ней известным способом энергии электронов; здесь, по мнению Ю. Б., могли оказывать влияние на форму и амплитуду сигнала с датчиков электромагнитные наводки от срабатывания всех узлов установки с высокоточными контурами; 2 – определение энергии по толщине просвечиваемых фильтров (метод «серого клина»), где тоже могли возникать ошибки при обработке результатов. Требовался третий независимый способ измерения энергии ускорения. «Когда я работал в Англии у Э. Резерфорда в 1926–1928 годах, там широко использовался классический помехоустойчивый метод измерения энергии электронов с помощью камеры Вильсона. Нельзя ли сделать и применить такую камеру здесь для третьего метода измерения? При совпадении результатов сомнений больше не будет», – предложил Ю. Б. И хотя я занимался уже высоковольтной инжекцией, Ю. А. и А. И. поручили мне в первую очередь изучить литературу по камерам Вильсона и приступить срочно к разработке необходимой камеры и всего требующегося для ее функционирования оборудования. Зысин попросил В. Н. Полынова оказывать мне необходимые консультации при расчетах, конструировании и наладке такой аппаратуры. Достаточно оперативно была создана и прокалибрована вся установка и применена для указанных измерений. Пучок тормозного излучения из бетатрона направлялся на тонкий конвертор из тантала, размещенный в камере. Электроны отдачи (эффект Комптона) и электронно-позитронные пары образовывали в чувствительном объеме камеры с равномерным магнитным полем видимые треки с определенным радиусом кривизны. Фотографируя картину треков при каждом срабатывании бетатрона в разных режимах его работы, были найдены по ним

граничные энергии квантов излучения, оценены спектры излучения. Результаты измерения граничной энергии тремя способами хорошо совпали. Был оперативно оформлен соответствующий отчет. Ю. Б. ознакомился с ним, несколько раз сам вычислил по фотографиям энергию электронов, проконтролировав при этом характеристики магнитного поля, создаваемого в камере катушками Гельмгольца. Этот метод для Ю. Б. оказался наиболее убедительным, он был полностью удовлетворен измерениями, попросил для себя ряд фотографий и в дальнейшем начал оказывать еще большую помощь в быстрейшем внедрении бетатронных установок в практику исследований. На этом начальном для меня этапе работ поучительным был пример Ю. Б., насколько тщательно и критично необходимо подходить к экспериментально получаемым результатам. Подробнее об интересе Ю. Б. к бетатронной тематике изложено мною в статье «Безжелезные бетатроны – уникальные инструменты для исследований быстропротекающих процессов» (см. сборник «Человек столетия Юлий Борисович Харитон» / Под ред. В. Н. Михайлова. М.: ИЗДАТ, 1999).

В дополнение к вышеизложенному хочу отметить, что А. И., по-видимому, от природы имел соревновательный характер. Он обязательно во всех исследованиях должен был быть впереди, а результаты – выше и лучше всех известных. Примером этому являются присуждение за работы под его руководством трех Ленинских премий, нескольких Государственных и премий Правительства России.

Он очень ответственно относился к своим словам и не любил нарушений кем-либо тех или иных договоренностей. И если это случалось, то наказание было достаточно суровым. Так, выехав в командировку в Москву, В. С. Босамыкин рассказал там в ряде институтов о некоторых исследованиях по разработке и применению ускорителей типа ЛИУ, о планах развития этого направления и т. д., хотя заведомо было оговорено эти сведения пока открыто не разглашать. Реакция А. И. была немедленной – В. С. был почти на четыре года отстранен от какого-либо участия в разработках ускорителя ЛИУ-30 и обсуждения их результатов, он совершенно не привлекался к решению вопросов по этой установке, никакие его инициативы не принимались. Можно понять переживания В. С. с его-то самолюбием. Подобным образом поступал А. И. и в других случаях.

Часто в разговорах он повторял поговорку «Лучшее – враг хорошего». И этот принцип постоянно использовал. Если достигались приличные результаты, то тут же ставился вопрос о внедрении их в конкретные электрофизические установки и практическом применении: «Давайте сначала сделаем хорошо, а потом будем улучшать». Он явно тяготился административными обязанностями начальника отделения, так как сам любил «покрутить ручки приборов», т. е. лично поучаствовать в проведении экспериментов. Однако при этом он понимал, что без административного чина трудно реализовывать свои идеи и тем более воплотить их в установки, разработки, приборы и далее внедрить в практику проведения экспериментов и исследований. По возможности он просил своих заместителей ответственно решать административные вопросы, не перекладывая их на него.

Я никогда не слышал от А. И. каких-либо грубых ругательств, он и обычными словами мог здорово отхлестать виноватого.

Как и все, он не любил критику в свой адрес. Правда, оснований для этого было немного, так как все действия и решения глубоко им продумывались. Я тоже не раз делал критические замечания в адрес А. И., будучи с ним наедине, и они им принимались. Однажды я возвратился из Томска, где сняли с поста директора одного института, так как за последние годы он стал соавтором нескольких сотен публикаций своих сотрудников. У нас тоже при подготовке публикаций все старались вписать в соавторы А. И., потому что при его соавторстве можно было далее успешнее «пробивать» эту работу. Мне показалось, что надо предостеречь его от этого, и я пришел к А. И. с рядом публикаций, где можно было бы, по моему мнению, обойтись без его соавторства. Сначала он возмутился и стал приводить доказательства его творческого вклада в эти работы, а потом сказал: «Вообще-то, ты прав. Впредь без согласования со мной никуда меня не вписывай». Затем попросил заместителя начальника отдела Л. И. Сельченкова объявить такое его решение всем «пишущим» сотрудникам отдела.

И еще несколько штрихов об Александре Ивановиче. Удивительно, какая должна быть внутренняя убежденность в практической реализации своей идеи о возможности разработки безжелезного сильноточного бетатрона для повышения импульсного рентгенографического просвечивания материалов при проведении газодинамических отработок ядерных зарядов. И это всего через три года после окончания университета. Ведь требовалось создать новый технический тип ускорителя с повышением в нем циркулирующего тока в десятки и сотни раз по сравнению с токами в традиционных бетатронах. Надо было посягнуть на мнение крупнейших ученых мира и СССР, утверждавших, что такую установку создать нельзя. Аналогичной позиции придерживался и доктор технических наук В. А. Цукерман, имевший большой авторитет и неоднократно высказывавший это научному руководителю ВНИИЭФ Ю. Б. Харитону со ссылками на отрицательное мнение главы «ускорительщиков» СССР – академика В. И. Векслера. Но А. И. находил все большие доказательства реальности создания нового бетатрона и доводил это с Ю. А. Зысиным до Юлия Борисовича. Первый такой бетатрон БИМ-ЗГ уже в 1959 году начал применяться в газодинамических исследованиях, показал высокую эффективность и позволил сразу получить ряд новых важных сведений. Затем был создан еще ряд более мощных гаммаграфических установок, которые до настоящего времени являются основным инструментом в исследованиях образцов ядерного оружия. Приоритет ВНИИЭФ в создании сильноточных бетатронов признан во всем мире.

Похожая ситуация возникла и десять лет спустя, когда коллектив сотрудников под руководством А. И. предложил разработку безжелезного сильноточного линейного импульсного ускорителя (ЛИУ), предназначенного в первую очередь для радиационных исследований и моделирования в лабораторных условиях воздействия гамма-излучения ядерного взрыва. Для этого требовалось решить

одновременно две главные проблемы: обеспечить включение с точностью 10^{-9} с несколько сотен или тысяч разрядников с напряжением 500000 В и осуществить эффективную транспортировку пучка электронов с током около 100000 А на расстояние в десятки метров. Нигде в мире даже по отдельности близкие к таким задачи не были решены. Опять авторитеты стали говорить о невозможности достижения поставленных целей. И здесь снова А. И. всю ответственность взял на себя, заявив: «Мы это сделаем». И когда в 1975 году появилась первая публикация в Докладах АН СССР о практическом получении таких результатов в сочетании с конструктивными особенностями ускорителя, многие ученые, особенно в США, были удивлены и озадачены. Последовательное создание во ВНИИЭФ нескольких разновидностей уникальных ускорителей (ЛИУ-2, ЛИУ-10, ЛИУ-30, ЛИУ-10М и др.) и комплексов в сочетании с быстрыми импульсными ядерными реакторами, а также с другими электрофизическими установками позволили опередить США в развитии таких ускорителей и комплексов, а их применение для моделирования воздействия поражающих факторов ядерных взрывов сэкономило огромные материальные средства для страны.

Можно было бы привести еще примеры новых исследований и разработок, выполненных под руководством А. И. и опережающих по результатам аналогичные работы за рубежом. Это был его стиль, его характер. Однажды, предваряя возможный разговор с избирателями (см. выше), я задал А. И. вопрос из моей тетради: «Как возникают у Вас научно-технические идеи и убежденность в их практической реализации с ниспровержением авторитетов по той или иной проблеме? Ведь случись, например, провал с разработкой бетатрона – очень сильно пострадала бы репутация и, возможно, карьера?». Он глубоко задумался и затем сказал: «Все это я изложу в своих мемуарах». Но, увы... Мемуарам не суждено было состояться, о чем приходится глубоко сожалеть, так как помнил он и знал очень много и рассказчик был отменный. Свидетельством тому являются, например, опубликованные его статьи «Магнитная кумуляция» в журнале «Природа» (1990 г., № 8), «Воспоминания разных лет» в журнале УФН (1991 г. Т. 161, № 5) и «Ядерно-физические исследования первого термоядерного заряда РДС-6С» в сборнике материалов конференции по истории разработок первых образцов атомного оружия «Хочешь мира – будь сильным» (Арзамас-16: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1995).

Чем больше проходит времени со дня внезапной смерти Александра Ивановича на дорожке около дома в 1993 году, тем все значительнее видится он теми, кто знал его как Администратора, Научного руководителя, Коллегу и просто как Человека. Он обладал масштабным мышлением, огромной интуицией и, по-видимому, возможностями предвидения, имел широкие научно-технические знания, постоянно пополнял их и требовал этого от своих сотрудников. А. И. был трудоголиком, сильным и талантливым организатором, волевым и решительным. Он смело брал на себя ответственность за развитие новых сложнейших направлений разработок, у него были большие планы и задумки на предстоящие годы по линии научных исследований, расширения международных связей

и проведения с зарубежными коллегами совместных работ. А. И. внес огромный вклад в разработки нашего института, в мировую науку. И еще он любил юмор, принимал его в свой адрес и часто подтрунивал сам.

Я собрал и записал ряд юмористических ситуаций, связанных с Александром Ивановичем, и ниже привожу некоторые из них.

1. Имея состоятельных родителей, А. И., приехав на «объект», приходил на работу всегда в элегантном светлом костюме, который обычно не снимал (пиджонил) даже во время экспериментальных работ. Как-то он присоединил к электросети 220 В электромотор вакуумного насоса в обратную сторону вращения и включил его, что привело к резкому выбросу вакуумного масла в воздух и на одежду. Пиджак и брюки оказались испорченными навсегда. Опешив на некоторое мгновение, А. И. быстро отключил мотор от сети и бросился к выходу из здания и с территории завода, чтобы как можно меньше людей видели его в таком одеянии. С тех пор при проведении экспериментов А. И. стал всегда надевать халат, как это и требовалось по нормам и правилам.

2. Разработанный в 1953 году по идеям А. И. и при его ведущем участии новый генератор нейтронов с выходом $5 \cdot 10^{10}$ нейтр./с (для усиления эффекта от интенсивности выхода нередко писали $0,5 \cdot 10^{11}$ нейтр./с) требовал иногда коррекции фокусировки пучка дейтонов и точного вывода его на середину циркониевой мишени. Для этого мишень заменялась временно стальным диском. По достижении нужной юстировки пучка поверхность диска разогревалась докрасна. Обычно при этом А. И. на правах «хозяина» подходил к генератору и небрежно прикуривал папиросу от диска, несмотря на сильное ионизирующее излучение.

3. В конце 1950-х годов налаживали один из первых, с еще несовершенными узлами, безжелезный бетатрон, который в связи с этим выдавал от импульса к импульсу нестабильное тормозное излучение. Один из наладчиков произнес: «Что за установка, словно капризная девочка, то да, то нет!» Присутствующий здесь А. И., услышав это, громко произнес: «Да, правильно, все хорошие установки, как и красивые девочки, сначала очень капризны».

4. Узнав, что в НИИ-9 (Москва) имеются сильные постоянные магниты из кобальт-самариевого сплава, я попросил А. И., собирающегося туда в командировку, одолжить у них на время или купить несколько магнитов кольцевой формы для апробирования на их основе устройств для фокусировки пучка электронов в ряде установок. Вернувшись, А. И. тут же вызвал заказчика и с ходу в присутствии нескольких сотрудников начал строго выговаривать: «Неужели нельзя было предупредить меня об осторожности. Больше никто ничего не просите, я привозить ничего не буду». А оказалось следующее. А. И. положил магниты в карманы пиджака. При выходе с территории института он остановился перед часовыми в пропускном портале, и тут же полы его пиджака с магнитами «прилипли» к стальным стенкам портала, а А. И. подумал, что его кто-то сзади схватил за одежду, и развернулся, чтобы ответить обидчику. Но тут подскочил часовой, поставил А. И. лицом к стене и вызвал караул. Был составлен протокол,

и дело рассматривалось у директора НИИ-9, академика А. А. Бочвара, который затем сам и проводил А. И. с магнитами с территории института.

5. Отмечалось в отделе 50-летие Александра Ивановича. В качестве подарка сотрудники одной из лабораторий вручили ему ледоруб и кусок веревки. Поблагодарив за подарок, юбиляр произнес: «Ледоруб мне очень нужен, так как я стараюсь горы не обходить. Что же касается веревки, то она мне пригодится еще больше, так как иногда я не могу выбрать способ «поощрения» некоторых нерадивых сотрудников. Теперь же мне долго раздумывать не придется, веревкой я смогу кое-кого быстро и с надеждой на большую пользу отхлестать по одному месту!».

6. Сотрудники ВНИИЭФ во главе с А. И. участвовали в международной конференции в Ташкенте. Е. К. Бонюшкин несколько раз заказывал телефонный разговор в США, где учился его сын. После одного из таких переговоров А. И. сказал: «Бонюшкин, помнишь ли ты размер наших командировочных? Еще один-два разговора, и придется тебе обратно возвращаться на ишаке!»

7. В 1960-х годах проходило в отделе собрание молодых специалистов. Один из них, только что окончивший Ленинградский политехнический институт и много уже слышавший о высокой науке на «объекте», обратился к А. И. с просьбой предоставить ему как можно быстрее тему для кандидатской диссертации. На это А. И. ответил: «Мы делаем здесь в первую очередь нужные приборы и установки. А от них до диссертации очень большая дистанция».

8. После банкета по случаю защиты одним из коллег диссертации на степень кандидата наук несколько сотрудников отдела 0403 прихватили на следующее утро на работу спиртное. Включив пульт установки, они под свет мигающих огоньков на панелях пульта начали разливать содержимое бутылки по стаканам. Внезапно вошел А. И. Один из сидевших у пульта не растерялся, тут же встал и со стаканом в руке обратился к А. И.: «Столько работы навалилось, что даже пообедать некогда». – «Да, дел много, понимаю, и первое в обед есть надо, – произнес А. И. – Но что-то суп у тебя в стакане с большими градусами!». Однако каких-либо административных отрицательных воздействий со стороны А. И. к участникам «утреннего обеда» затем не последовало.

9. Будучи начальником физического отделения, А. И. имел большое влияние на распределение бесплатного жилья нуждающимся сотрудникам отделения, в связи с чем к нему было много письменных обращений. А. А. Лбов, защитив докторскую диссертацию, написал Александру Ивановичу заявление с просьбой выделить ему трехкомнатную квартиру, обосновывая это тем, что ему нужен для творческой работы отдельный кабинет и «...возможно, будут дети». Но так как и тогда были трудности с предоставлением жилплощади, то А. И. написал на заявлении: «Возможно, дадим, если будут возможные дети».

10. Однажды небольшая делегация от ВНИИЭФ (А. И., Е. К. Бонюшкин и др.) уезжала на научно-техническую конференцию через Горький. Договорились, что двое из участников сядут в автомобиль к А. И. в четко определенное время в назначенном месте и через пять минут будут у дома, где жил Е. К., ко-

торый будет их там ждать. Подъезжают, а Е. К. разгуливает по улице с собакой. Увидев автомобиль, Е. К. закричал: «А я и не готов. Через 5 минут соберусь!». Фактически же вышел к машине через 15 минут. А. И. ему и говорит: «Так как ты нарушил договоренность, то я запрещаю тебе курить в машине до Горького. Давай сюда твои сигареты». Пришлось вынуть их и отдать (а Е. К. был заядлый курильщик). Сам же А. И. тут же закурил, угостил попутчиков, кроме Е. К., и делал это неоднократно по пути до Горького. Добрались в городе до вокзала, вышли на площади, Е. К. и говорит: «Вот теперь я понял, что договоренность действительно надо соблюдать!».

11. В брежневские времена на одном из банкетов С. Б. Кормер и А. И. прилюдно поспорили на бутылку коньяка, кто быстрее надует резиновый шарик до того момента, как он лопнет. Состязание началось при большом числе болельщиков. У Кормера шарик раздувался быстрее. Однако кто-то из присутствующих ткнул этот шарик чем-то острым, и он лопнул. И хотя С. Б. протыкающего не видел, но тут же произнес: «Я проиграл, ставлю бутылку, но должен при всех сказать, что даже на банкете ты окружаешь себя подхалимами».

12. Проводился физический пуск самого мощного в мире ядерного реактора БИГР. Установка ядерно-опасная, эксперимент первый, приехали с других предприятий члены приемной комиссии. Все участники пуска, будучи тщательно отобранными и записанными в наряд на особо опасные работы, находятся в напряжении в пультовой реактора. Один из основных разработчиков реактора М. И. Кувшинов стоит у пульта и руководит регулировкой повышения мощности реактора. Вдруг появляется А. И., которого нет в наряде. М. И., увидев его, тут же громко произносит: «Вас нет в наряде, прошу уйти отсюда». Все ждут реакции начальника отделения. Он медленно подходит к Кувшинову и спокойно говорит: «Миша, у меня очень легкая рука. Поэтому, если я тут, то никаких неприятностей не будет. Осторожно пускай». И действительно физпуск БИГРа прошел нормально.

13. Как-то сотрудники ВНИИЭФ приехали на конференцию в Алма-Ату и решили там зайти в магазин. Впереди всех широким шагом двигался Е. К. Бонюшкин, за ним А. И. и остальные. Подойдя к двери магазина и увидев выходящую из него женщину, Евгений Кузьмич галантно сделал шаг назад, распахнул одну половину двери и с поклоном пригласил даму проходить. Но женщина с громким воплем бросилась внутрь магазина. «Бонюшкин, что ты делаешь? – закричал А. И. – Зачем пугаешь женщин? Это же не Европа, это – Азия!»

16. НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Проведение научных исследований предполагает периодическое изложение их результатов в научно-технических отчетах, в виде статей в журналах, заявок на изобретения, а также докладов на соответствующего профиля конфе-