

БОЛЬШОЕ, – ВИДИТСЯ НА РАССТОЯНИИ

К 115-тилетию со дня рождения А.И. Лейпунского

Д.А. Клинов, Л.А. Кочетков, Г.И. Тошинский

АО «ГНЦ РФ=ФЭИ»

(Доклад на конференции Ядерного Общества России 17 декабря 2018 года)

В декабре 2018 года исполнилось 115 лет со дня рождения академика АН УССР Александра Ильича Лейпунского (07.12.1903 - 14.08.1972), – выдающегося ученого и замечательного человека, одного из основателей ФЭИ, его научного руководителя с 1959 г.

Чем дальше мы отходим от того времени, в котором жил и работал А.И. Лейпунский, тем отчетливее осознаем значимость для будущей ядерной энергетики (ЯЭ) тех идей, выдвинутых им, которые при его жизни прошли только первые этапы промышленной реализации.

Прежде всего, это, конечно, связано с направлением работ по реакторам на быстрых нейтронах, начавшее развиваться в Советском Союзе (и продолжающееся в России) по инициативе А.И. Лейпунского с 1950 года.

Идея быстрых реакторов (БР) родилась в США в 1944 году у Энрико Ферми, который ранее собрал и «оживил» в 1942 г. под трибунами Чикагского стадиона первый реактор на тепловых нейтронах. Он провёл расчёты коэффициента воспроизводства БР и показал, что он может быть больше единицы.

Александр Ильич независимо от Энрико Ферми пришел к такому же выводу и предсказал, что такие реакторы могут работать в замкнутом топливном цикле в режиме расширенного воспроизводства, потребляя как топливо уран-238, содержание которого в природном уране в 140 раз выше, чем урана-235, являющегося ядерным горючим в реакторах на тепловых нейтронах, используемых в настоящее время в ЯЭ.

Однако вначале необходимо, хотя бы кратко, рассказать о предвоенных годах жизни А.И. Лейпунского, чтобы лучше понять творческий потенциал и масштаб его личности.

Начав свою работу после окончания в 1926 году физико-механического факультета Петроградского политехнического института в лаборатории А.Ф. Иоффе в ЛФТИ, вскоре он направляется в Украинский физико-технический институт (г. Харьков) и уже в 1933 году (ему было тогда 30 лет) назначается его директором. С момента переезда в Харьков вся его жизнь посвящена новому направлению физики – физике атомного ядра.

В 1932 году в УФТИ под руководством А.И. Лейпунского впервые на Евразийском континенте проведено расщепление ускоренными протонами атомного ядра лития.

В мае 1934 года Александр Ильич избирается академиком Украинской Академии наук (в 31 год – это уникальный случай).

В 1934 году он командирован в Англию в лабораторию Э. Резерфорда в Кембриджском университете, где впервые в мире ставит классические опыты по определению массы нейтрино, принесшие ему мировую известность.

После возвращения из Англии научные интересы А.И. Лейпунского сосредоточиваются на нейтронной физике, ставшей впоследствии основой расчета ядерных реакторов.

В сентябре 1937 года А.И. Лейпунский совместно с Л.И. Русиновым выступают с большим докладом на 2-ой Всесоюзной конференции по атомному ядру в Москве о результатах исследований поглощения нейтронов в серебре, кадмии и боре при различных температурах.

Однако развернутые им исследования были прерваны начавшимися в стране массовыми репрессиями, которые не обошли и Александра Ильича. Сначала он был исключен из партии и снят с должности директора УФТИ за потерю политической бдительности. Он не разглядел в работавшем в УФТИ Л.Д. Ландау «чуждого элемента».

В 1938 году последовал арест. Поводом для него послужило приглашение А.И. Лейпунским в УФТИ по поручению Орджоникидзе нескольких ученых-физиков из Германии, оказавшихся «шпионами». Пребывание в тюрьме оказалось, к счастью, недолгим. Освобождение и прекращение уголовного дела совпало по времени со сменой руководства НКВД, когда вместо арестованного Ежова, наркомом был назначен Берия. Однако только в 1946 году он был полностью реабилитирован и восстановлен в партии без перерыва стажа.



В 1940 и 1941 годах А.И. Лейпунский публикует работы «Деление ядер» и «Деление урана». В последней работе были даны первые в отечественной литературе оценки критических параметров цепной реакции деления.

В декабре 1946 года И.В. Курчатов и Н.Н. Семенов по инициативе А.И. Лейпунского направили председателю НТС при Первом Главном Управлении (ПГУ) при СМ СССР Ванникову Б.Л. письмо, в котором предлагали начать развитие работ по быстрым реакторам. В 1949 году А.И. Лейпунский подготовил докладную записку с изложением основных физических идей и предложений по первоочередным задачам по созданию быстрых реакторов.

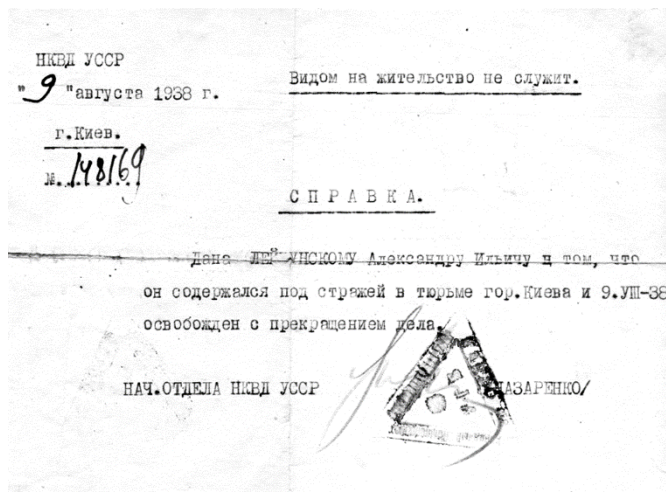
Постановлением Правительства в 1950 году эти предложения были одобрены и начались научно-исследовательские работы в данном направлении.

С 1949 года Александр Ильич начинает работать в Лаборатории «В» МВД СССР (теперь Государственный научный центр РФ «Физико-энергетический институт», носящий его имя), где через несколько лет под его руководством развернулись работы по энергетическим реакторам на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Александр Ильич сформулировал основные задачи начального периода: ядерные константы, методы расчётов физических характеристик быстрого реактора, выбор оптимального топлива и теплоносителя, расчёты и измерения коэффициента воспроизводства. В ФЭИ были разработаны теоретические основы и методы расчета быстрых реакторов, проведены основополагающие физические эксперименты и инженерные разработки, развиты основы реакторной технологии.

Пущенный в ФЭИ в 1955г. реактор нулевой мощности БР-1 позволил экспериментально подтвердить возможность расширенного воспроизводства плутония. Затем последовало создание в 1956 г. исследовательского реактора БР-2 мощностью 100 кВт с ртутным теплоносителем, а в 1959 г. – исследовательского реактора БР-5 мощностью 5 МВт с натриевым теплоносителем в первом контуре и натрий-калиевым теплоносителем во втором контуре. Реактор БР-5 дал возможность получить первые принципиальные данные по физике, технологии радиоактивного натрия, работоспособности твэлов и др., необходимые для разработки быстрых энергетических реакторов с натриевым охлаждением. В 1973 г. мощность реактора была поднята до 8 МВт, натрий-калиевый теплоноситель заменен на натриевый, и реактор получил название БР-10. Опыт работы этого реактора, критических стенов БФС и других установок ФЭИ был положен в основу проектов более мощного экспериментального реактора БОР-60 (г. Димитровград, 1969г.) и энергетических реакторов БН-350 (г. Актау, 1972г.), БН-600 (г. Заречный, 1980г.) и БН-800 (г. Заречный, 2015г.). Разработка и освоение всех этих реакторов выполнены под научным руководством ФЭИ.

Использование урана-238 на тысячелетия снимает проблему топливного обеспечения ЯЭ любого мыслимого масштаба. Благодаря его идеям Россия сейчас является мировым лидером в области реакторов на быстрых нейтронах, где на Белоярской АЭС (единственная в мире работающая АЭС такого типа) работают быстрые реакторы с натриевым теплоносителем БН-600 и БН-800, разрабатывается проект коммерческого быстрого реактора БН-1200 применительно к двухкомпонентной структуре будущей крупномасштабной ЯЭ на базе тепловых и быстрых реакторов. За работы по быстрым реакторам в 1960 году группа ученых А.И. Лейпунский, О.Д. Казачковский, И.И. Бондаренко и Л.Н. Усачев были удостоены Ленинской премии.

Еще при жизни А.И. Лейпунского по реакторам на быстрых нейтронах было организовано многостороннее международное сотрудничество с участием США, Франции, Англии, Германии, Японии, в научных кругах которых он пользовался признанным авторитетом. Это сотрудничество продолжается и в настоящее время, прежде всего, с Китайской Народной Республикой, где с помощью России построен быстрый реактор CEFR.



Вспоминает Л.А. Кочетков.

«В первые годы работы в ФЭИ мне пришлось работать по тематике реакторов на тепловых нейтронах: реактор Первой в мире АЭС – «АМ»; первые два блока Белоярской АЭС «АМБ-1» и «АМБ-2»; реактор транспортабельной АЭС «ТЭС-3», реакторы Билибинской АЭС «ЭГП-6» и поэтому мне довелось мало общаться с Александром Ильичём. Однажды после выполненных мною расчётов запаса до критической нагрузки с учётом погрешностей расчётов и погрешностей в исходных данных в топливных каналах реактора АМБ-1 я понял, что безопасным уровнем мощности являются 70 процентов от проектного номинала. Ни мне, ни моему руководителю М.Е. Минашину обращения к главному конструктору – Алещенкову П.И. и Н.А. Доллежалю не помогли. Вот тогда я обратился с этой проблемой к А.И. Лейпунскому. Он попросил дать ему для прочтения наш отчёт. Я принёс ему отчёт, а на следующий день был звонок по телефону от Александра Ильича: отчёт прочитал, согласен с вашими выводами по мощности, завтра поедете со мной к Н.А.Доллежалю и там расскажите о результатах ваших расчётов».

После моего сообщения в кабинете Н.А. Доллежала Александр Ильич ему говорит: «давайте напишем письмо Е.П. Славскому о том, что на основе дополнительных исследований в качестве безопасной номинальной мощности блока следует принять уровень мощности 70 процентов от проектного номинального уровня мощности и оба подпишем такое письмо. Николай Антонович в присутствии своих участников – руководителей проекта П.И. Алещенкова и Л.И. Луниной пообещал внимательно ознакомиться с отчётом и позвонить Александру Ильичу. Не сделал. Более того через год после начала эксплуатации реактора предложил начальнику станции поднять мощность блока с 70 до 100 процентов. Его послушались, вышли на 100 проектных процентов и на следующий день в 7 топливных каналах появилась разгерметизация оболочек твэлов.

Не захотел Николай Антонович покаяться перед Е.П. Славским. Александр Ильич, наоборот, всегда был откровенен с министром и со всеми и отношения у Александра Ильича со Славским всегда были самые доверительные. Когда я обратился к нему с ещё с одной просьбой, он пригласил меня в выходной день к нему домой. Небольшая комната, деревянная кровать, большой стол заваленный журналами большей частью иностранными и множество книг. А в конце 1969 г. я был приглашён к нему, где Александр Ильич предложил мне перейти на работу по быстрым реакторам, на место уходящего Д.С. Пинхасика. После нескольких разговоров, в том числе в парткоме института я согласился с этим предложением и попросил передать в инженерный отдел кроме лабораторий Ю.Е. Багдасарова и А.В. Карпова, ещё здание исследовательского быстрого реактора БР-5 вместе с его коллективом. Отдел был переведен в отделение В.В. Орлова. Очень скоро я влюбился не только в Александра Ильича, но и в быстрые реакторы.

Я пришёл в отделение В.В. Орлова, когда заканчивался монтаж оборудования на АЭС БН-350, шла разработка реактора и АЭС БН-600, и началась работа по реактору БН-800. Мне довелось «окунуться» в новую для меня научно-организационную форму научного руководства проектом.

Александр Ильич организовывал еженедельные совещания, на которых обсуждались результаты выполненных работ, а также очередные новые задачи; каждый месяц, а иногда и чаще мы встречались с руководством и сотрудниками ОКБМ, главным конструктором этих реакторов. Александр Ильич просматривал все наши отчёты (правда, однажды я услышал, как он сказал М.Ф. Троянову: «Ну, Ваш отчёт можно не читать»), ездил с нами в командировки в ОКБМ и на БН-350. У него были, конечно, не только заботы по быстрым реакторам. Как-то я захожу к нему, в середине кабинета рядом стоят Б.Ф. Громов и А.И. Лейпунский. Я стал пятиться к двери, а Александр Ильич указал мне рукой на стул. Накануне он был вызван из отпуска из дома отдыха на юге страны. Раскрасневшийся, взволнованный Борис Фёдорович ему говорит: «Александр Ильич, Вы же знает, я отвечаю только за физические расчёты». «Хорошо, хорошо Борис Фёдорович, я поеду сам», – ответил ему Александр Ильич. И несмотря на перенесённые им два инфаркта, на север к морякам он отправился сам...

Александр Ильич не дожил до физпуска БН-350 несколько месяцев. На замену ему в должности директора института вернулся из НИИАР О.Д. Казачковский.»

Далее приводятся фрагменты воспоминаний об А.И. Лейпунском из книги /1/.

Вспоминает Я.Б. Зельдович.

«Его научный стиль характеризуется четкой и ясной постановкой задачи и особенно — непреклонным доведением работы, доведением решения задачи до полной и окончательной ясности или до практического результата. Это достижение ясности особенно важно в переломные годы возникновения новых физических теорий, новых физических технологий.

На меня огромное впечатление производит самоотверженность, последовательность, с которой па протяжении многих лет Лейпунский добивался практической реализации поставленной им цели. Жизнь, научный и технический подвиг Александра Ильича Лейпунского — достойный пример вступающим в жизнь молодым физикам.»

Вспоминает О.И. Лейпунский.

«Практика показывает, что новые крупные проекты осуществляются вовремя и как следует, если во главе крупных разделов коллективной работы стоят люди, интеллектуально родившие или воспринявшие новизну дела, охваченные страстью к осуществлению этой новизны и обладающие интеллектуальными, волевыми и душевными качествами, естественно делающими их руководителями крупных коллективов. Про таких людей обычно говорят: «Он сделал» или «Они сделали.»

В 40—50-х годах у него даже был некий неофициальный титул. В среде ученых-ядерщиков его называли главным нейтронщиком страны.»

Вспоминает О.Д. Казачковский.

«Никаких нейтронных справочников тогда еще не существовало. У Александра Ильича, как правило, всегда был нужный ответ. Он посмотрит словно куда-то вдаль, прищурит один глаз и скажет: Сечение захвата должно быть примерно столько-то барнов (или миллибарнов) для данного нейтронного спектра. И если ошибался, то совсем ненамного. Мы, его ученики и коллеги, удивлялись и восхищались, считая это чуть ли не колдовством. В ответ он только смеялся и делал все, чтобы поскорее и нас этому научить. Это еще одна его отличительная черта. Он умел и всегда стремился, как говорится, в лучшем виде передать свои знания и опыт другим.»

«Думаю, не ошибусь, если скажу, что этим работам в нашей стране повезло тем, что именно Александр Ильич оказался во главе проблемы, а Ефим Павлович оказывал ей твердую поддержку. В результате, пусть это и покажется нескромным, но я скажу, что очень скоро, к 60-м годам, мы вышли на передовой рубеж в этом направлении, обогнав США. В США начали работать по этой проблеме раньше нас. Это подтвердил, в частности, известный американский ученый Зинн, с которым мне впоследствии довелось разговаривать. Именно в процессе выполнения работ по этой программе американцы создали экспериментальные реакторы на быстрых нейтронах: в 1946 г.— с ртутным охлаждением «Клементину» и в 1951 г.— с натрий-калиевым охлаждением EBR-1. Старт был хороший, но затем все у них затормозилось. И они очень сильно отстали. На мой взгляд, потому, что не было сильного, единого, постоянного руководства по проблеме. Наши успехи — это прежде всего заслуга Александра Ильича, бесменного научного, а, по существу, и научно-технического руководителя проблемы.»

«Надо сказать, что сфера деятельности Александра Ильича далеко не ограничивалась реакторами на быстрых нейтронах. Он был разносторонним ученым и, как правило, добивался крупных успехов и в других областях. К примеру, в конце 40-х — начале 50-х годов Александр Ильич внес значительный вклад в развитие кольцевых ускорителей — об этом не все знают даже у нас в институте.»

«Выбор натрия для БР был очень смелым решением. Были серьезные возражения. Натрий химически активен, легко загорается на воздухе. При аварийной протечке может возникнуть серьезный пожар. В первых опытах у нас, когда струя натрия с температурой около 500° С под давлением выходила в воздух, были продемонстрированы очень впечатляющие пиротехнические эффекты. Струя мгновенно воспламенялась, и образовывался огромный факел. Кое-кто заколебался. Но Александр Ильич сказал, что не видит ничего страшного, если нужно, можно будет снабдить натриевые тракты страховочными кожухами.»

Интенсивное взаимодействие натрия с водой, знакомое почти всем по школьным опытам. А ведь натрий должен передавать свое тепло воде и пару, идущему на турбину. Что будет, если произойдет авария в парогенераторе? Взяли большой кусок натрия, бросили его в нашу речку Протву, укрывшись за выступом берега. Раздался страшнейший взрыв. Александр Ильич сказал: «Ну и что? На воздухе образовалась гремучка. В парогенераторе газовая подушка без кислорода, гремучка не образуется, взрыва не будет.»

«Сомнений было много, но Александр Ильич был тверд. Я тогда, помню, пытался доказывать, что неплохо было бы прорабатывать еще и гелиевый теплоноситель. Дескать, нет тех трудностей, которые свойственны натрию. Можно, применяя газовую турбину, иметь простую одноконтурную схему. Технология газовых теплоносителей уже существует. Такой реактор можно сделать быстрее. Александр Ильич ответил: «Быстрее? Не знаю. А вот опаснее — это безусловно». Дело в том, что гелий нужно было держать при высоком давлении ~ 200 атм. И это вызывало большие опасения за возможные аварийные последствия. Для натрия же давление практически не требовалось.»

«Его авторитет у всех, с кем ему доводилось работать, был огромный. Все его «подсказки со стороны», как правило, воспринимались с благодарностью опытными, знающими свое дело специалистами. Он действительно умел руководить одновременно многими, в том числе и весьма различающимися, направлениями работ. Это далеко не каждому дано.»

«Александр Ильичу не довелось увидеть торжества своих идей. Здоровье его все быстрее ухудшалось. А масштаб своей деятельности он все увеличивал. Может быть, торопился успеть выполнить все то, что задумал. Да тут еще навалилось много дополнительных огорчений, незаслуженных обид. Неоднократно над его головой сгустились тучи. В очередной раз так было и тогда, в 1972 г. В июне 1972 г. я последний раз с ним встретился.»

Вспоминает Н.М. Синев.

«Когда подошло время решать (это был 1967 г.) — строить БН-600 или подождать, снова возник административно-командный барьер. Опять коллегия рассматривала возражения авторитетных руководителей. Здесь следует отметить важную роль в положительном решении А.П. Александрова, при участии которого было определено и место строительства БН-600 — на Белоярской АЭС. Минэнерго СССР (К.Д. Лавренко и Г.В. Ермаков) также поддержало это решение. Большое сопротивление оказывал академик Н.А. Доллежал. Он считал, что на БАЭС в качестве третьего блока должен быть прямоточный водо-графитовый реактор типа АМБ на сверхкритических параметрах пара. Помню, что борьба за дальнейшее развитие Белоярской АЭС, носящей имя И.В. Курчатова, как первой АЭС СССР с типовыми промышленными реакторами-бридерами, была ожесточенной. Александр Ильич признавался, что в ту пору он не верил в реальность положительного решения.»

Вспоминает В.В. Орлов.

«Его научная и техническая смелость проявлялись и ранее, например, при выборе натрия в качестве теплоносителя БР. Но едва ли верным было бы сказать, что смелость является главной чертой в стиле работы А.И. Лейпунского. В еще большем числе случаев он проявлял осторожность, даже консерватизм, решая обычно в пользу большей надежности. Часто предпочитая опробованные решения новым, пусть даже и обещающим те или иные частные выгоды. Наиболее важным примером был выбор для БР оксидного топлива, несмотря на значительные бридерные преимущества металлического урана... Так что не в смелости, или даже, наоборот, в осторожности состояла главная черта научного руководства А.И. Лейпунского, а в умении, в большинстве случаев, найти разумную меру того и другого, сделать выбор между многими обычно существующими возможностями.»

Вспоминает Б.Ф. Громов

«Несомненным является его большое влияние на формирование научного коллектива в институте. Многие годы не было практически ни одной более или менее крупной научной работы в институте, которая была бы вне поля зрения А. И. Лейпунского. Каждая работа обсуждалась им с авторами, по каждой работе высказывались ценные замечания или доброжелательная критика, авторы постоянно ощущали его поддержку и внимание. Широта его научных интересов, эрудиция в самых различных областях атомной науки и техники, прекрасное знание отечественной и зарубежной литературы по широкому кругу проблем (в чем ему помогало хорошее знание английского языка), глубина понимания их, умение отделить главное от второстепенного, правильно сформулировать суть проблемы, высказать самому или оценить и поддержать новые перспективные идеи сотрудников были поразительны. Обсуждение с ним научных и технических проблем всегда было плодотворным, доставляло участникам большое моральное удовлетворение. Александр Ильич щедро делился своими идеями, знаниями и опытом с каждым, кто приходил к нему за советом.»

«Примером могут служить его принципиальность и последовательность в технической реализации ряда идей атомной науки и техники. Естественно, что внедрение в жизнь сложнейшей новой техники никогда не идет гладко, всегда бывают ошибки и недоработки, успех приходит через преодоление трудностей. А. И. Лейпунский умел в трудные минуты проявить спокойствие и выдержку, правильно оценить причины той или иной неудачи, наметить реальные пути ее преодоления, мобилизовать на это участников работы, вселить в них уверенность в правильности выбранного направления в достижении конечной цели. Он никогда не стремился переложить ответственность за неудачи на других участников работы, принимая ее на себя по праву руководителя.»

Вспоминает Э.А. Стумбур

«...У нас с Вами разное понимание «техники» и пока наши интересы не совпадают, я не буду Вам препятствовать. Возможно, со временем Вы согласитесь с моим взглядом на технику, но не исключаю и того, что я когда-нибудь приму Вашу точку зрения». Как ни парадоксально, но с годами наши «точки зрения» слились воедино. Я наловчился составлять многочисленные ТЗ, а А.И. Лейпунскому пришлось досконально заниматься «железками» при проектировании и сооружении БН-350.

Вообще же Александр Ильич очень терпимо относился к желаниям сотрудников сменить место работы как при переходе из одного подразделения в другое, так и при уходе из ФЭИ вообще, если он убеждался, что желание сотрудника твердо, что у него действительно есть другие научные интересы (либо лично-семейные причины). Он никого не принуждал. Если его аргументация не убеждала сотрудника, то он вполне доброжелательно желал ему успехов на новом поприще, новом месте работы. Правда, в заключение разговора он мне сказал: «Знаете, мне все же очень хотелось, чтобы Вы сначала защитили кандидатскую, а уж потом пошли искать разные свои пути-дороги. А то без этого Вы будете беззащитны перед своеволием любого начальника, и это может для Вас плохо кончиться».

Вспоминает В.Я. Пупко.

«Александр Ильич умел убеждать начальство в том, что было выгодным для дела. Нам как-то пришлось исправлять ошибку, сделанную ранее. Испытательная база для отработки ядерной термоэмиссионной установки «ТОПАЗ» должна была сооружаться не в ФЭИ. Конечно, нельзя было упускать из института такое новое и прогрессивное дело. Александр Ильич сумел убедить в этом приехавшего заместителя министра, мы подготовили техническое задание, которое было утверждено руководителем. В дальнейшем здание для энергетических испытаний установки «ТОПАЗ» было в нашем институте сооружено, а проведенные там в 1970 году исследования первой в мире ядерной установки нового типа вывели далеко вперед нашу страну в перспективной области ядерной техники.»

Вспоминает П.Л. Кириллов

«Д.И. Блохинцев в книге «Рождение мирного атома» пишет: «...Была создана Лаборатория в Обнинске (1947), ныне Физико-энергетический институт. Вначале за работой лаборатории наблюдал А.И. Лейпунский, который привлек к участию в ней и автора этих строк... Однажды мы ехали в машине в Обнинск и А.И. Лейпунский сказал мне: «Кажется, становится ясным, почему могут быть полезными реакторы на быстрых нейтронах». Идея о возможности создания ядерного реактора, который бы производил ядерного топлива больше, чем сжигал, реактора-размножителя на быстрых нейтронах, впервые была сформулирована Александром Ильичом в 1948 г. Возможности таких реакторов-размножителей обсуждались им с И.В. Курчатовым и другими советскими физиками уже на ранних стадиях работы.»

«Прежде, чем приступить к расчетам реактора я охлаждением жидким металлом, необходимо было проанализировать физические и теплофизические свойства всех возможных жидкометаллических теплоносителей. Эта задача была поручена Александром Ильичом группе теплофизиков, прибывших в ФЭИ в 1950 году (В.А. Кузнецов, В.Я. Пупко, П.Л. Кириллов). Нужно было выбрать теплоноситель при довольно ограниченных сведениях о нем, практически при полном отсутствии отечественного опыта использования жидких металлов (кроме ртути).»

«Умение Александра Ильича видеть главные задачи в любой проблеме, на которых надо сосредоточить усилия, поразительно. Например, для теплофизиков он ещё в 1951 году поставил задачу изучения теплообмена в пучках стержней... Или взять проблему очистки жидкометаллического теплоносителя от примесей и контроля за их содержанием... Поэтому Александра Ильича с полным правом можно назвать инициатором использования жидких металлов в ядерной энергетике СССР.»

Работы направлению быстрых натриевых реакторов, развивавшихся под научным руководством А.И. Лейпунского, широко известны в мире.

Менее известно, по понятным причинам, другое направление работ, которое предложил и которым руководил Александр Ильич. Это разработка и создание реакторов на промежуточных нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ) свинец-висмут для ядерных энергетических установок (ЯЭУ) атомных подводных лодок (АПЛ).

Вспоминает Г.И. Тошинский

«Выбор эвтектического сплава свинец-висмут как возможного теплоносителя для ядерных реакторов был сделан А.И. Лейпунским еще до начала развертывания работ в СССР по атомным подводным лодкам.

Не могу сказать точно, когда это произошло, но летом 1950 года, когда в Лабораторию «В» была направлена на преддипломную практику группа студентов Физико-энергетического факультета МЭИ (Архангельский Ю.В., Тошинский Г.И. и Ушаков П.А.), Александр Ильич (далее АИЛ, так между собой его звали сотрудники) поручил нам провести расчет теплогидравлических характеристик быстрого реактора-бридера, со свинцово-висмутовым теплоносителем (СВТ), нейтронно-физические параметры которого были уже оценены Л.Н. Усачёвым.

Эта работа еще продолжалась некоторое время, пока не стало ясно, что из-за низкой энергонапряженности активной зоны быстрого реактора (БР) с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) получить короткое время удвоения плутония невозможно и работы по такому реактору были прекращены. Для быстрых реакторов-бридеров АИЛ вполне обосновано предложил использовать натриевый теплоноситель, обладающий несравненно более высокими теплопередающими свойствами, и позволяющий получить время удвоения плутония менее десяти лет. В условиях высоких темпов развития ЯЭ и ограниченности экономически доступных ресурсов природного урана это был единственно правильный выбор.

По-видимому, первой работой, в которой, достаточно всесторонне, были оценены характеристики ЯЭУ с СВТ для атомных подводных лодок, был дипломный проект выпускника МЭИ Б.Ф. Громова, выполненный под руководством АИЛа, защищенный летом 1951 года.»

В плановом порядке работы по созданию АПЛ развернулись с сентября 1952 г. после выхода соответствующего Постановления Правительства.

К этому времени было уже известно, что в США ведутся работы по ЯЭУ двух типов: реакторы с водой под давлением на тепловых нейтронах и реакторы на промежуточных нейтронах с натриевым теплоносителем.

В условиях политического и военного противостояния Советскому Союзу нужно было быстро догнать США. Несмотря на тяжелое экономическое положение страны, еще не залечившей раны войны, огромные средства, выделяемые на создание ядерного оружия, работы по созданию АПЛ также были развернуты в двух направлениях: водо-водяные реакторы и реакторы с жидкотеплоносителем.

Однако в отличие от США, АИЛ предложил и обосновал в качестве ЖМТ эвтектический сплав свинец-висмут, несмотря на его худшие теплофизические свойства в сравнении с натрием. Последующий опыт развития этих конкурирующих направлений подтвердил правильность выбора, сделанного АИЛом. После нескольких аварий на наземном стенде-прототипе и опытной АПЛ «Sea wolf» работы в США по этому направлению были прекращены.

В нашей стране после преодоления трудностей и неудач начального периода, когда не один раз возникал вопрос о закрытии направления, реакторная свинцово-висмутовая технология была освоена. Всего было построено два наземных стенда-прототипа и 8 АПЛ, эксплуатировалось 15 реакторов, общая наработка которых составила около 80 реакторо-лет.

Работы по развитию данного направления были высоко оценены государством: присуждены две Ленинские и одна Государственная премия, а А.И. Лейпунский к своему 60-летию был удостоен звания Героя Социалистического труда.

В сохранении и развитии этого направления решающая роль принадлежит А.И. Лейпунскому, имевшему очень высокий авторитет в самых различных кругах. Он сумел простыми и ясными словами донести до сознания лиц, принимающих решения, потенциал, присущий реакторам данного типа.

Радиационная опасность полония-210, образующегося при захвате нейтронов висмутом дала о себе знать в период проведения ремонтно-восстановительных работ на наземном стенде 27/ВТ, когда велись сварочные работы на трубопроводе с остатками СВТ на внутренней поверхности. Аэрозольная радиоактивность воздуха в центральном зале повысилась кратковременно на четыре порядка в сравнении с допустимой концентрацией. Это стало предметом специального разбирательства.

Помню высказывание одного руководящего работника института, что это «последний гвоздь в крышку гроба данного направления» (впоследствии он был удостоен Ленинской премии за эти работы). АИЛ, конечно, все это тяжело переживал. Однако, поскольку значительного превышения допустимого содержания полония-210 в биологических пробах персонала обнаружено не было, и были отработаны исчерпывающие организационно-технические мероприятия по исключению выбросов полония-210 в воздух при различных видах работ и меры индивидуальной и коллективной защиты персонала от попадания полония-210 внутрь организма, было принято решение о продолжении работ.

Последующий мониторинг облучаемости персонала (как экипажей АПЛ, так и гражданских специалистов, принимавших участие в ремонтно-восстановительных работах, в том числе и в работах по удалению вытекшего теплоносителя) по этому радионуклиду показал, что ни у кого из обследованных содержание полония-210 в организме не превышало допустимых пределов. Все это позволило сделать вывод о том, что проблема обеспечения радиационной безопасности эксплуатационного персонала РУ с СВТ была успешно решена.

Особое место в, полной драматизма, эпопее освоения реакторов с СВТ для АПЛ заняла проблема технологии теплоносителя. Под этим словосочетанием понимается контроль и поддержание требуемого качества теплоносителя в ходе эксплуатации РУ. Важнейшая роль в решении этой проблемы принадлежит Ю.И. Орлову и В.И. Субботину.

Важность этой проблемы была понята после аварии реактора на первой опытной АПЛ проекта 645 (1968 г.). Соответствующие методы и устройства были разработаны еще позднее, когда завершалось строительство запланированной серии АПЛ проектов 705 и 705К. Поэтому разместить необходимые устройства как штатные в составе РУ не удалось. Часть устройств была скомпонована в базовой установке, требовавшей один раз в год подключения к РУ. Эти мероприятия обеспечили решение проблемы, но, конечно, усложняли базовое обслуживание АПЛ. Это обстоятельство вызывало недовольство ВМФ, и было в числе одной из причин, приведших к решению о прекращении эксплуатации АПЛ.

Следует отметить, что при разработке РУ следующего поколения этот опыт был полностью учтен. Все устройства контроля и поддержания качества теплоносителя (необходимо управлять лишь одним параметром, – содержанием растворенного в СВТ кислорода) размещены в составе РУ как штатные, действуют автоматически и не требуют какой-либо специальной базовой инфраструктуры. Однако это было уже после Александра Ильича.

Вспоминая события истории освоения свинцово-висмутовых реакторов и жизни АИЛа с чередующимися светлыми и темными периодами можно только поражаться его самообладанию и мужеству, глубокой вере в правильность выбранного пути, несмотря на все возникающие проблемы.

Одна из первых проблем возникла в самом начале работ при обосновании нейтронно-физических характеристик реактора с промежуточным спектром нейтронов, который

формировался в активной зоне из-за большой утечки нейтронов, обусловленной малыми размерами реактора и использованием бериллиевого замедлителя.

Если для реакторов с тепловым и быстрым спектрами нейтронов уже существовали какой-то минимум ядерных констант и расчетно-методическая база, созданные для промышленных уран-графитовых реакторов и ядерного оружия, то для расчета реакторов с промежуточным спектром нейтронов почти ничего не было.

АИЛ поставил перед физиками-экспериментаторами задачу создать критическую сборку с промежуточным спектром нейтронов, на которой можно было бы проверить методы и константы для расчета промежуточного реактора.

Поскольку тогда не было в наличии необходимого количества бериллия, последний моделировался по значению возраста нейтронов графитом, пропитанным парафином.

Однако первый же эксперимент показал, что реактор, который по расчету должен быть критическим на деле оказался глубоко подкритическим.

Позднее из экспериментов, выполненных в ЛИПАНе (теперь «Курчатовский институт»), стало ясно, что основная причина этого связана со значительным (в 2–3 раза) увеличением отношения сечения радиационного захвата к сечению деления для урана-235 в промежуточной области энергий нейтронов.

Это потребовало увеличения размеров активной зоны и объемной доли бериллиевого замедлителя.

По уточненным расчетам была создана новая критсборка (1954 г.) с промежуточным спектром нейтронов с парафиновым замедлителем. Во время набора критмассы (эксперимент проводился ночью) произошел разгон реактора на мгновенных нейтронах. АИЛ, присутствующий на эксперименте, вместе с группой физиков-экспериментаторов были срочно госпитализированы в Москве. Наиболее серьезно пострадал А.В. Малышев, которому ампутировали кисть.

На разбирательстве, проводимом Е.П. Славским, АИЛ принял всю ответственность на себя. Хотя организационных выводов и не последовало, несомненно, этот разгон оставил свою зарубку на сердце АИЛа. В 1955 году он слег с тяжелым инфарктом.

Работа продолжалась, в здании 75 ФЭИ пущен наземный стенд-прототип 27/ВТ (1958 г.). АИЛ принимает поздравления «с легким паром». Вскоре после этого, реакторная установка демонстрирует успешную работу на уровне мощности 60% от номинальной непрерывно в течение двух месяцев. Подтверждена возможность эксплуатации РУ при постоянной течи ПГ до 10 кг/час (первые модификации ПГ не отличались высокой надежностью). Министр судостроительной промышленности Б.Е. Бутома и Главнокомандующий ВМФ адмирал С.Г. Горшков поздравляют АИЛа с успешной работой стенда. Принимается решение о строительстве большой серии АПЛ.

Однако радостное настроение, вызванное этими событиями, продержалось недолго. Обнаружились течи теплоносителя по вспомогательным трубопроводам первого контура. Причина была связана со сквозным коррозионным повреждением труб, выполненных из нержавеющей стали, но не с внутренней стороны, где сталь контактировала с теплоносителем, а с наружной, где трубы, покрытые теплоизоляцией, контактировали с воздухом.

Дело оказалось в том, что из-за некачественно выполненной сварки мелких трубопроводов системы парового обогрева поступающий пар конденсировался на холодных поверхностях, капли образовавшегося конденсата падали на теплоизоляцию вспомогательных трубопроводов, вызывая ее намокание с насыщением влаги содержащимися в составе теплоизоляции хлоридами, что и привело к коррозионному растрескиванию стали.

Потребовался длительный ремонт с заменой всех вспомогательных трубопроводов с предшествующей этому удалению вытекшего и затвердевшего сплава свинец-висмут и дезактивацией поверхностей.

Тем временем, в Северодвинске, где АИЛ стал частым гостем, продолжалось строительство первой опытной АПЛ проекта 645 К-27 с двумя реакторами, охлаждаемыми СВТ. В 1963 году АПЛ успешно прошла государственные испытания и сдана ВМФ. АИЛ принимает поздравления от председателя Правительственной комиссии вице-адмирала Г.Н. Холостякова.

В декабре 1963 года торжественно в Доме культуры ФЭИ отмечается 60-летие Александра Ильича. Присутствуют академики А.П. Александров, Ю.Б. Харитон, большое количество адмиралов. АИЛу вручается Золотая звезда Героя Социалистического труда. Один из выступавших, тогдашний директор ХФТИ, академик Украинской Академии наук, М.В. Пасечник, назвал Александра Ильича очень емким словом «фундатор». И действительно, АИЛ не был «продолжателем» он был основателем.

Вскоре после этого АПЛ проекта 645 совершила рекордный для того времени автономный поход, проведя под водой без всплытия около двух месяцев, скрытно прошла в Средиземное море и только там позволила обнаружить себя американцам. Командиру АПЛ И.И. Гуляеву присваивается звание Героя Советского Союза. Он дает высокую оценку ядерной установке. На двух судостроительных заводах в Ленинграде и Северодвинске развертывается строительство большой серии АПЛ проекта 705 (705К), которые уже тогда называли кораблями XXI века:

малое водоизмещение, высокие скорость и маневренность (качества подводного истребителя), ядерная установка с ЖМТ, титановый корпус, комплексная автоматизация (малочисленный экипаж), уникальные блочная турбоустановка и электроэнергетическая система с частотой тока 400 герц и многое другое.

Однако в жизни и АИЛ и направления ЖМТ снова наступала темная полоса. 24 мая 1968 года на реакторе левого борта АПЛ проекта 645 произошла тяжелая авария с плавлением части активной зоны.

Если причина аварии была связана с неизученностью технологии СВТ, отсутствием научно обоснованных требований к качеству теплоносителя, методов и средств контроля и поддержания требуемого качества теплоносителя в процессе эксплуатации, что было обусловлено недостаточным опытом и крайне сжатыми директивными сроками строительства АПЛ, продиктованными политической обстановкой (гонка вооружений была в разгаре), то гибель девяти членов экипажа от переоблучения совершенно не была неизбежной. Ведь второй реактор был в строю, и лодка имела ход.

Гибель людей была связана с грубыми ошибками, прежде всего, командира АПЛ (это уже был не И.И. Гуляев). Об этом пишет в своих воспоминаниях один из последующих командиров этой АПЛ Г.А. Фытов. Командир не объявил сигнал радиационной опасности, чего требовала инструкция, и не развел людей в носовые и кормовые отсеки АПЛ, подальше от локализованного в реакторном отсеке высокоинтенсивного источника гамма-излучения.

Строительство всей серии АПЛ проектов 705 (705К) было приостановлено до разработки технических мероприятий, исключающих такие аварии на строящихся АПЛ. Решение этой задачи было взято под контроль Военно-промышленной комиссией при Совете Министров СССР.

После реализации первоочередных мероприятий строительство АПЛ было продолжено и первая, опытная АПЛ этого проекта (заказ 900) постройки Ленинградского Ново-адмиралтейского завода в 1970 г. была предъявлена к испытаниям. Нужно напомнить, что это был год столетия со дня рождения В.И. Ленина и год окончания очередной пятилетки. Никакие силы не могли препятствовать стремлению вовремя отрапортовать о достигнутых успехах. Поэтому строительство этой АПЛ шло в большой спешке с огромным количеством отступлений от требований технической документации, что и дало о себе знать в период испытаний и опытной эксплуатации этой АПЛ, акт о приемке которой в состав ВМФ был подписан вечером 31 декабря 1971 года председателем Правительственной комиссии адмиралом флота Г.М. Егоровым.



Опытная АПЛ К-64 проекта 705

Однако еще при жизни Александра Ильича, весной 1972 года, было принято решение о прекращении опытной эксплуатации и выводе этой АПЛ из состава ВМФ для проведения ревизии реакторной установки ОК-550 с целью определения причин выхода ее из строя (потеря герметичности вспомогательных трубопроводов первого контура на двух петлях теплообмена из трех при невозможности ремонта из-за сильной затесненности отсека) и сокращении запланированной большой серии АПЛ этих проектов до шести кораблей, стоящих на заводских стапелях. Для АИЛ это был, конечно, тяжелый удар.

В результате ревизии выяснилось, что причины потери герметичности вспомогательных трубопроводов аналогичны тем, которые были установлены ранее на стенде 27/ВТ, за исключением того, что влага в объем герметичной выгородки поступала, в основном, из-за дефектной прокладки уплотнения крышки ПГ. По выработанным рекомендациям были разработаны и внедрены на серийных АПЛ исчерпывающие мероприятия, полностью исключившие, как показал опыт их эксплуатации, повторение подобных отказов. В заключении комиссии, проводившей ревизию, специально отмечено, что причины выхода из строя реакторной установки не связаны с использованием жидкометаллического теплоносителя.

Однако чаша горестей еще не была выпита до дна. Еще до начала испытаний АПЛ заказа 900 по результатам испытаний парогенератора установки ОК-550 на стенде 27/ВТ-5 в Обнинске стало ясно, что парогенератор по условиям вибростойкости трубного пучка неработоспособен, хотя виброиспытания уменьшенной модели ПГ на циркуляционном стенде показывали на отсутствие виброизноса трубок.

Виброизнос трубок натурального ПГ на стенде 27-ВТ/5 оказался настолько сильным, что в местах расположения дистанционирующих пластин толщина стенки трубки практически уменьшилась до нуля и трубка легко разрывалась в этих местах внутренним давлением воды.

Стало ясно, что узлы дистанционирования трубок ПГ нужно существенно модернизировать. К этому времени все ПГ для серии строящихся АПЛ были уже изготовлены, а на головной АПЛ уже и смонтированы.

Необходимо было принимать очень тяжелое, но неизбежное решение о приостановке строительства серийных АПЛ, демонтаже смонтированных ПГ, разработке и изготовлении модернизированных ПГ.

В связи с невозможностью корректного учета масштабного фактора было решено провести виброиспытания штатного модернизированного ПГ, разработанного ОКБ «Гидропресс», на циркуляционном стенде ОКБМ при номинальном расходе теплоносителя.

Конструкция модернизированных ПГ оказалась очень удачной, никаких проблем с вибрацией трубного пучка в дальнейшем не возникало.

Александр Ильичу уже не суждено было об этом узнать, как и о том, что запланированная серия АПЛ была достроена, и она успешно эксплуатировалась в течение 15–20 лет, и что АПЛ этого проекта за свои скоростные и маневренные качества были занесены в Книгу рекордов Гиннеса (они могла уходить от американских торпед).

Многие командиры этих АПЛ, в своих воспоминаниях дают очень высокую оценку подводной лодке, в том числе и ее ядерно-энергетической установке, сильно опередившей свое время.

Судьбу А.И. Лейпунского точно охарактеризовал академик Ю.Б. Харитон словами, сказанными на прощальном митинге: «Многие, сажают цветы, а Александр Ильич сажал деревья».

Говоря о последних годах жизни АИЛа, нельзя умолчать о тех трудностях и проблемах, которые ему создавали.

Эти годы пришлись на период обострения идеологической борьбы, которую вела партия. В институте были вскрыты проявления антипартийных высказываний и действий. А.И. Лейпунский получил партийное взыскание. В числе других ему ставили в вину то, что он не осудил поведение А.Д. Сахарова.

Вскоре после назначения нового директора ФЭИ А.И. Лейпунский был освобожден от должности научного руководителя института и назначен первым заместителем директора по научной работе с сокращением некоторых полномочий.

К этим проблемам следует добавить упорное нежелание Академии наук СССР избрать его своим действительным членом, несмотря на его очевидные достоинства в сравнении с другими кандидатурами. Он не хотел и не умел «работать локтями». Это ему претило. В числе возможных причин неизбрания в Академию Наук называют возвращение П.Л. Капицы из лаборатории Резерфорда в СССР, откуда его уже не выпустили. В необходимости вернуться в Советский Союз Капицу по поручению Орджоникидзе убедил Лейпунский.

Все эти жизненные трудности АИЛ стойко переносил, не показывая вида, отдавая всего себя тем делам, которые он считал главными в своей жизни и которые оказались очень важными для будущего. Однако общий груз проблем неумолимо подрывал его здоровье.

Сегодня можно считать общепризнанным, что под руководством Александра Ильича Лейпунского наряду с направлением быстрых натриевых реакторов, создано новое направление ядерной энергетики, в промышленном масштабе в условиях АПЛ продемонстрирована уникальная свинцово-висмутовая реакторная технология.

В настоящее время сложились условия для использования этой технологии в гражданской ЯЭ. Исследования последних лет, выполненные во многих странах и, прежде всего, в России показали, что быстрые реакторы с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем позволяют одновременно, без внутренних противоречий, повысить безопасность АЭС и улучшить их экономические показатели, решая также проблемы топливного самообеспечения, нераспространения и управления долгоживущими радиоактивными отходами. Именно поэтому они рассматриваются как перспективные для будущей ядерной энергетики крупного масштаба.

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», начиная с 1998 года, провел пять международных конференций «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях». То, с чего начинал АИЛ в 1950 году сегодня начинает интенсивно развиваться. Сегодня более чем в десяти странах мира ведутся НИОКР и разрабатываются проекты реакторов со свинцово-висмутовым и свинцовым теплоносителями. В России – это СВБР-100 и БРЕСТ-ОД-300.»

Конечно, в своей работе по натриевым и свинцово-висмутовым реакторам АИЛ опирался на многих специалистов института. По реакторам БН – это О. Д. Казачковский, Л.Н. Усачев, И.И. Бондаренко, М.Ф. Троянов, Л.А. Кочетков, В.В. Орлов (до его ухода из ФЭИ) и многие другие. По реакторам для АПЛ – это Б.Ф. Громов, К.И. Карих, В.А. Малых, Г.И. Марчук, А.И. Могильнер, Д.М. Овечкин, В.Н. Степанов, Г.И. Тошинский и многие другие. По жидким металлам – В.И. Субботин, П.Л. Кириллов, Ю.И. Орлов и многие другие. По химии – А.Г. Карабаш. По материалам – В.С. Ляшенко.



А.И. Лейпунский с учениками «первого призыва»
Сидят: В.Я. Пупко, Б.Ф. Громов, А.И. Лейпунский, В.А. Кузнецов, Л.Н. Усачев.
Стоят: А.И. Могильнер, Г.И. Тошинский, Л.А. Чернов, Ю.А. Прохоров, В.В. Чекунов.

При написании данной статьи были использованы следующие источники:

/1/ Книга. **Лейпунский А.И. Избранные труды. Воспоминания.** Киев, Наукова думка, 1990.

/2/ **Ю.Н.Ранюк. А.И. Лейпунский и ядерная физика на Украине.** Юбилейный выпуск журнала Ядерная энергетика, ISSN0204-3327, Известия высших учебных заведений. К 100-летию А.И.Лейпунского, № 4, 2003, г. Обнинск.

/3/ **В.Е. Колесов. А.И. Лейпунский (7.12.1903–14.08.1972).** Биографическая справка. Там же.

/4/ **М.Ф. Троянов. Незабываемые годы общения.** Там же.

/5/ **Г.И. Тошинский. ЖИЗНЬ АКАДЕМИКА А.И. ЛЕЙПУНСКОГО: МАЛОИЗВЕСТНЫЕ СТРАНИЦЫ.** Статья в журнале ПИР-ЦЕНТРА ЯДЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ, № 3 (73), том 10, 2004, стр. 147-154.

/6/ **Г.И. Тошинский. Атомная энергетическая установка с жидкометаллическим теплоносителем для подводных лодок.** Статья в книге «РОЛЬ РОССИЙСКОЙ НАУКИ В СОЗДАНИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПОДВОДНОГО ФЛОТА под общей редакцией академика А.А. Саркисова. МОСКВА НАУКА 2008, стр. 600-613.

/7/ **Громов Б.Ф., Тошинский Г.И., Степанов В.С., Никитин Л.Б. и др. Анализ опыта эксплуатации реакторных установок с теплоносителем свинец-висмут и имевших место аварий.** Сборник докладов конференции «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях» ТЖМТ-98, том 1, г. Обнинск.

/8/ **Г.А. Фытов ...Глазами подчиненного.** Санкт-Петербург, 2002.