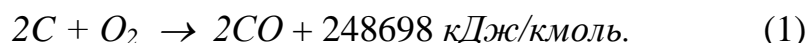


*Л. В. Зысин, Л. П. Стешенков*

## **Феномен XX века – к 75-летию отечественной атомной промышленности**

Относительно недавно, в 2005 г., у нас в стране появился ещё один профессиональный праздник «День работника атомной промышленности», отмечаемый 28 сентября. Датированное этим числом в 1942 г. вышло распоряжение Государственного комитета обороны СССР «Об организации работ по урану», предписывающее *возобновить* работы в данной области. Ранее, правда, у нас появление атомной промышленности в обычно связывали с пуском 25 декабря 1946 г. первого ядерного реактора. Но в любом случае семидесятилетний или семидесятипятилетний юбилей служат поводом обратиться к некоторым примечательным фактам появления и становления этой уникальной отрасли; по темпам развития она сопоставима разве что с вычислительной техникой.

Много тысячелетий человечество эмпирически училось полезно использовать энергию огня – тепловую энергию. Путём проб и ошибок были найдены приёмы получения огня и созданы в меру эффективные топочные устройства, освоены способы сжигания разных видов природного *органосодержащего* топлива (угля, древесины, нефти, газа, сланцев, торфа и др.). И только пару столетий назад, было установлено, что в основе всех процессов сжигания лежит одна и та же химическая реакция окисления кислородом воздуха углерода, содержащегося в органическом топливе; реакция, в ходе которой при перестройке молекул *высвобождается теплота химических связей*



Далее стала развиваться теория горения, которую и в наше время нельзя считать полностью завершённой. Так же и создание тепловых двигателей, благодаря которым смогла появиться современная цивилизация, первую сотню лет осуществлялось эмпирически, пока не появилась их научная основа - термодинамика.

И вот в начале XX века возникла обратная ситуация. Сначала теоретически было показано, что энергия экзотермических ядерных реакций, выделяющаяся при перестройке атомного ядра, превосходит химическую энергию на шесть порядков (примерно в  $10^6$  раз), а уже через несколько десятилетий удалось разработать процессы и оборудование для получения и использования данного нового вида горючего.

Освоение нового вида горючего стало возможным, благодаря прогрессу ядерной физики – науки, возникшей и получившей развитие в первой половине прошлого столетия. Только потом применение ядерной энергии в военных и энергетике вызвало создание атомной промышленности влияние которой быстро распространилось на самые разные области хозяйства: горную промышленность и машиностроение, химическую промышленность и металлургию, энергетика и судостроение, медицину, транспорт и многие другие. Породила одновременно неожиданные проблемы: политические, экономические, морально-этические, экологические [1].

К концу XIX столетия сложилось представление, что в физике установлены все общие законы поведения веществ - законы общие и универсальные. Важное место тут принадлежало фундаментальному представлению об атоме, как монаде – неделимой единице, понятие о которой восходило к древнегреческим философам. В результате многие физики уже посчитали, что физика как наука практически закончена. Правда некоторая неясность, которую старались не замечать, оставалась. В 1859 г. немецкие физики **Г. Кирхгоф** и **Р. Бунзен** открыли линейчатые спектры газов, которые не могли быть объяснены из волновой теории света. Почему атомы – эти элементарные кирпичики вселенной – обладают разными физическими и химическими свойствами? Периодический закон **Д. Менделеева** (1869 г.), казалось бы, установил определённый порядок среди атомов, но одновременно он подталкивал к мысли, что атомы являются отнюдь не кирпичиками вселенной, а сложными телами, состоящими из каких-то других элементарных частиц, которыми управляют какие-то иные, пока непознанные законы. Однако, не существовало экспериментальных возможностей и теоретических идей для их изучения.

Проникновение в то, что сегодня мы называем микромиром, началось в значительной степени со случайности. В 1896 г. французский физик **А. Беккерель** открыл излучение ураном неких проникающих лучей, оказалось, что указанные выше неделимые «кирпичи» мироздания что-то излучают (!) - позже это явление назовут радиоактивностью. Год спустя французские физики **П. Кюри** и **М. Склодовская** выделили полоний, излучавший  $\alpha$ -частицы и позже открыли радий, который тоже оказался радиоактивным. Собственно, *уже тогда был обнаружен факт наличия ядерной энергии.*

Далее начался каскад открытий – выяснилось, что электричество атомистично, что отрицательное электричество состоит из электронов, имеющих электрический заряд и массу, которая в 1800 раз меньше массы атома водорода, что механика электронов в корне отлична от обычных законов движения и масса электрона не постоянна, она увеличивается с увеличением скорости и в пределе, при достижении скорости света, становится бесконечной и т. д. Перечисленные открытия вызвали смятение в умах большинства учёных. Казалось, что рушатся и

опровергаются с таким трудом познанные законы природы, возрождаются антинаучные идеи алхимиков и изобретателей вечного двигателя.

В дальнейшем оказалось, что явления эти разыгрываются в ничтожных по размерам положительных ядрах атома. Значит, и ядро атома не является кирпичом мироздания, оно само имеет сложную природу. При испускании  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы меняется заряд ядра в результате один элемент переходит в другой.

Страсти несколько улеглись, когда **А. Эйнштейном** был сформулирован принцип относительности, который, в частности, приводит к следствию, что в отдельности принципы сохранения энергии и сохранения вещества неправильны. В микромире действует единый закон сохранения материи, объединяющий в единое целое и энергию, и вещество. Этот закон – *закон эквивалентности массы вещества и энергии* – имел грандиозное значение, т.к. привел, в конечном счете, к открытию *атомной энергии*.

В 1911 г. английский физик **Э. Резерфорд** предложил планетарную модель атома, а в 1913 г. - датчанин **Н. Бор** создал теорию строения атомного ядра. К этому времени ядерная физика уже оформилась как самостоятельная наука. Общим положением этой наук стал факт, что энергия изотермических ядерных реакций, выделяющаяся при перестройке атомного ядра, превосходит химическую энергию на много порядков, причём подобные ядерные реакции могут происходить, в принципе, на элементах, запасы которых не ограничены. *Ныне трудно представить, что далее на протяжении нескольких десятилетий физики даже не пытались наметить пути практического использования упомянутой энергии. Достижения ядерной физики быстро нашли применение в медицине (например: радиология), но только не в области энергетики. Почему?*

Дело в том, что долгое время ядерная физика занималась элементарными процессами, развивающимися на лабораторных ускорителях с весьма ограниченным числом ядер. В экзотермических ядерных процессах, реализуемых в таких условиях, подавляющая часть ускоренных заряженных частиц *бесполезно растрачивали свою энергию на ионизацию*, и никто не видел возможности преодоления этого. Проведение известных ядерных процессов в макроскопических (промышленных) масштабах представлялось не реальным, поскольку возможность какого-либо ускорения медленных процессов *естественной радиоактивности представлялась невозможным*. Даже сам создатель ядерной физики **Э. Резерфорд**, вплоть до своей смерти в 1937 г. высказывался категорически отрицательно о возможности практического использования ядерной энергии в макроскопических масштабах. Даже открытие в его лаборатории в 1932 г. **Д. Чэдвигом** нейтрона – нейтральной частицы, способной эффективно, без непроизводительных затрат энергии на ионизацию, взаимодействовать с ядрами, не переубедило великого физика. **Э. Резерфорд** указывал на то, что само

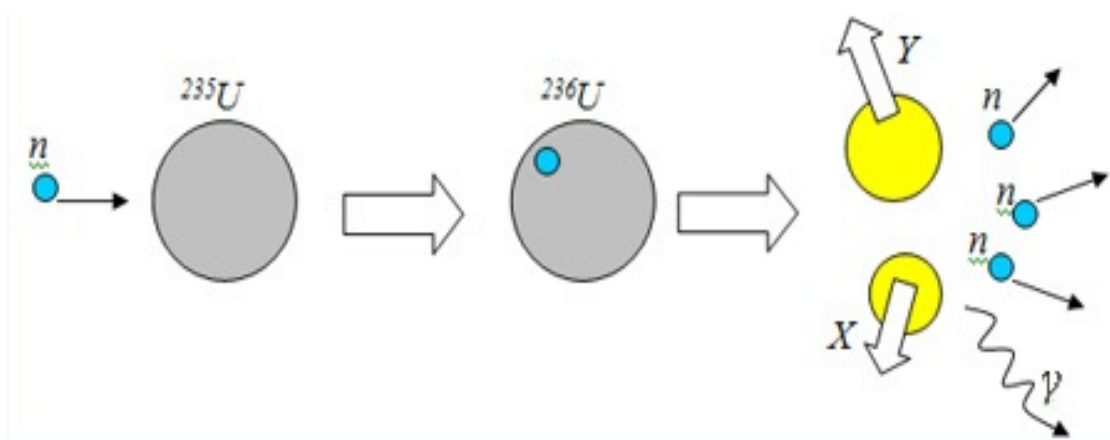
получение нейтронов, осуществлялось в ядерных реакциях, где основная часть энергии растрачивалась на побочные процессы ионизации и возбуждения атомов веществ.

В этом отношении, Э. Резерфорд оказался не таким прозорливым, как его не менее гениальный предшественник и соотечественник М. Фарадей, заложивший основы учения об электромагнитных полях и о возможности взаимных преобразований электрической и механической энергий. Глубоко веря в великое будущее своих открытий, М. Фарадей на вопрос об их пользе для человечества, ответил вопросом: «...а какая польза может быть от новорожденного?».

Чуть более года после смерти Резерфорда, в начале 1939 г., **Ф. Жолио, О. Ган, Ф. Штрассман** и ряд других исследователей экспериментально обнаружили новое явление — возможность при попадании медленного нейтрона в ядра тяжёлых элементов (урана или тория) их *деления* на два ядра приблизительно равной массы с образованием новых свободных нейтронов. Эти опыты легли в основу *теории деления*, разработанной независимо друг от друга в СССР - **Я. Френкелем**, а в США - **Н. Бором** и **К. Уиллером**. Уже в 1939 году расчёты, выполненные на основе этой теории, показали возможность осуществления цепной реакции деления урана-235. Публиковались все эти результаты в открытой печати, даже научно-популярной [2].

На рис 1 дана принципиальная схема реакции деления ядра атома изотопа урана-235 ( $^{235}\text{U}$ ). В случае попадания в него нейтрона  $n$  атом сначала захватывает нейтрон, превращаясь в неустойчивый изотоп уран-236 ( $^{236}\text{U}$ ), который тут же делится на два осколка  $X$  и  $Y$ , обладающих колоссальной кинетической энергией, которую можно использовать.

Одновременно выделяется несколько новых нейтронов  $n$ , способных поддержать реакцию, а также ионизирующее излучение  $\gamma$ , которое следует рассматривать как неизбежное зло, хотя и его энергию при определённых



**Рис. 1. Схема реакции деления атомного ядра урана-235 [5]:**  
 $^{235}\text{U}$  и  $^{236}\text{U}$ , соответственно ядра изотопов урана;  $n$  – нейтроны;  $X$  и  $Y$  – осколки деления;  $\gamma$  - излучение

условиях можно тоже использовать. Оставалось только экспериментально подтвердить справедливости теоретических решений. Это было сделано в декабре 1942 г., когда в США заработал первый ядерный реактор, созданный под руководством **Э. Ферми**.

В нашей стране практическое освоение атомной энергии началось в 1944 г., когда в лесу на окраине Москвы было образовано специализированное учреждение. Наиболее известны его кодовые названия - ЛИПАН (Лаборатория измерительных приборов АН СССР) или лаборатория №2 («двойка»). Работы возглавил **Игорь Васильевич**



**Памятник И. В. Курчатову в  
Снежинске работы скульптора  
А.С. Гилёва**

**КУРЧАТОВ**. Крупный отечественный физик и выдающийся учёный организатор науки. Собрав вокруг себя группу молодых физиков, в меру амбициозных и уже сумевших заявить о себе в науке, он взялся за дело, от которого по тем или иным причинам постарался уклониться ряд наших выдающихся учёных старшего поколения. Жесткий, требовательный непримиримый, он мог и увлечь, и вдохновить, и создать уникальные условия для работы. Пройдут годы, ЛИПАН превратится в один из крупнейших европейских научных комплексов – Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова (ИАЭ), а стиль работы, заложенный Курчатовым, ещё долгие годы будет прослеживаться в деятельности учёных-руководителей институтов и предприятий атомной отрасли. Основные составляющие этого стиля: самостоятельность в принятии решений и умении брать на себя ответственность, требования выполнить

поручение любой ценой и в срок, а ещё – неукоснительное соблюдение установленных норм и правил. Заметим, что особая роль инструкций в атомной технике связана с тем, что иной раз время для размышления отсутствует.

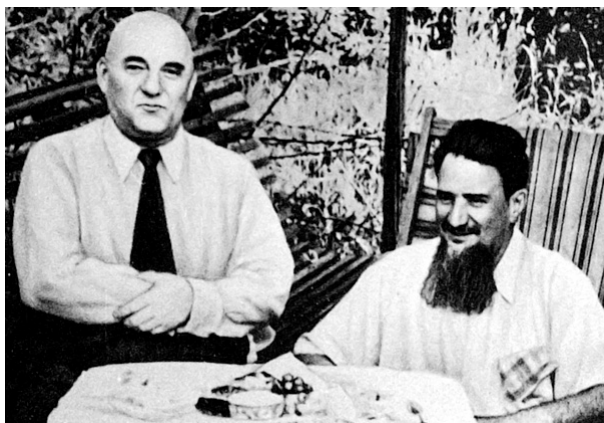
Когда Курчатов стал во главе проблемы, первой задачей было создание атомного реактора для подтверждения возможности осуществления управляемой реакции деления в промышленных масштабах. Пуск такого реактора - физического реактора Ф-1 - (первого на Евразийском континенте) состоялся **25 декабря 1946 г.** и подтвердил возможность реализации управляемой реакции деления. Тем были подтверждены принципиальные теоретические положения, связанные с

использованием ядерной энергии. Остальное стало делом техники – ядерной техники и атомной промышленности, которых не существовало, пришло время их начать создавать.

Занятную историю, сопутствующую пуску реактора Ф-1, рассказывал **И.Н. Головин** – с 1944 г. сотрудник, а в 1950-1958 гг. первого заместитель **И.В. Курчатова**. Поскольку воспроизводится она по памяти, то не исключены отдельные неточности:

Куратором Атомного проекта был **Л.П. Берия**, ему и позвонил с докладом после успешного пуска **И.В. Курчатова**. **Л.П. Берия** сказал, что придет на днях посмотреть - чтоб ждали. В ту пору о вреде радиации знали мало. Потому, скорее интуитивно, реактор поместили в изолированном помещении. Для дистанционного привода управляющими стержнями приспособили велосипедную цепь со звёздочками и педалями. Визуальные наблюдения за реактором осуществляли с помощью перископа взятого с подводной лодки. Памятуя о «визит-эффекте» - при начальстве, что-то обязательно ломается, - **И.В. Курчатова** поручил своему помощнику **И.С. Панасюку**, когда придет **Берия** пройти на реактор: «Если привод стержней заест, ногой его пнёшь, яйца свои может поджаришь, но для дела надо.

Когда **Берия** приехал, всё сработало исправно. Пинать управляющие стержни ногой не пришлось. Они поднялись, пошёл поток нейтронов и стрелка гальванометра на пульте отклонилась, фиксирую поток нейтронов. Стержни опустились, и стрелка вернулась на нуль. И это всё? - спросил **Берия** и очень нехорошо посмотрел на **Курчатова**. Энтузиазм у того сразу пропал, и он невесело ответил: «Да, теперь будем нейтронами облучать уран-238 и нарабатывать плутоний-239». **Берия** повернулся и молча ушёл. Около недели прошло в нервном ожидании. Ждали чего угодно. А потом **Курчатову** неожиданно позвонил **И.В. Сталин**. - **Игорь Васильевич**, а Вы знакомы с **Нильсом Бором**?» - Да, **Иосиф Виссарионович**. – Вот и напишите ему о своих результатах и о планах на будущее. Попросите совета. – От неожиданности **Курчатов** опешил и сказал невпопад - Мне



**Б.Л. Ванников и И.В. Курчатова**  
(1949 г.)

запрещено переписываться с иностранцами, **Иосиф Виссарионович**. - А Вы попробуйте, напишите и отдайте **Лаврентию Павловичу**. Через месяц от **Бора** пришёл ответ. Он отозвался одобрительно как о результатах, так и планах **Курчатова**, пожелал ему дальнейших успехов. С этого момента поддержка работ **Курчатова** стала безграничной. Был открыт прямой путь



освоения атомной энергии, как в военных, так и мирных целях.

Очень удачно, по мнению упомянутого выше И.Н. Головина, в начальный период становления отрасли дополнял Курчатова безусловно выдающийся организатор производства **Б.Л. Ванников**, занимавший в 1945—1953 гг. пост начальника Первого главного управления, которое занималось строительством и управлением создающейся отрасли, и ряд других важных постов.

От только одного перечисление того, что требовалось создавать практически с нуля захватывает дух. Параллельно в нескольких регионах страны форсированными темпами шло крупномасштабное строительство многих предприятий и производств, призванных обеспечить работы по созданию атомного оружия. Сюда относились: комплексы по добыче и переработки урана; предприятия по обогащению урановой руды и по производству ядерного топлива; строительная база со своей индустрией и проектными организациями; специализированные предприятия ядерного и энергетического машиностроения; службы ядерной безопасности, дозиметрии и ядерной медицины; комплексы по хранению и переработке радиоактивных отходов и многое другое. Шло создание новых центров атомной науки и техники, таких как: Физико-энергетический институт (ФЭИ) в г. Обнинске (Калужская обл.), Институт атомных реакторов в г. Димитровграде (Ульяновская обл.), и собственных высших учебных заведений (МИФИ).

Ещё одна яркая фигура в атомной промышленности **Е.П. Славский**. Он начал работу в отрасли в 1946 г., как заместитель Б.Л. Ванникова, а закончил 1986 г., причём с 1957 г. (с небольшим перерывом) до выхода на пенсию был министром среднего машиностроения, куда входили все предприятия отрасли. Важна его роль в создании «атомных городов», которые росли вместе с комбинатами, рудоуправлениями и другими предприятиями. Среди них: Актау (Шевченко) на Каспии, Озёрск (в Челябинской области), Навои (в Узбекистане), Железногорск (в Красноярском крае.) и др. Большинство «атомных городов проектировались в Ленинградском институте комплексного проектирования, потому они трогательно похожи друг на друга [3]. Кроме одинаковых архитектурных решений их объединяла повышенная комфортабельность и ощутимо более высокий уровень жизни в сравнение с общим положением в стране той эпохи. Правда выехать за границы охранной зоны этого «государства в государстве» далеко не все имели право, иных и «на похороны близких родственников» не всегда пускали.



**Е.П. Славский (1898-1991)**

Важнейшим в ряду первых таких предприятий и первым в этом ряду стала организация с кодовым названием **КБ-11**, филиал ЛИПАНа, разместившееся на границе Горьковской области и Мордовии. Там формировался научно-технический и производственный центр, где сосредоточилось разработка и производство атомной бомбы. Сугубо засекреченный город сменил ряд кодовых названий, наиболее известное из них «Арзамас-16», а теперь Саров в память о великомученике **Серафиме Саровском, который принял там муки**. И.В. Курчатов привлёк к работам по созданию ядерного оружия ряд лучших отечественных физиков, учёных мирового уровня. Среди них, прежде всего, надо вспомнить **Ю.Б. Харитона** (главного конструктора и научного руководителя по созданию бомбы), **Я.Б. Зельдовича, И.К. Кикоина, А.Д. Сахарова**. Что до режима секретности, покрывавшего тогдашние работы, то рассказывают такую байку: будто бы, когда вышло сообщение об испытании у нас в стране первой атомной бомбы, один из рабочих завода, где её изготовили и снарядили, сказал – вот люди где-то делом занимаются, а тут не пойми-что делаешь. (Нынешнее название учреждения, находящегося в Сарове, носит название Российского федерального ядерного центра - Всероссийском научно-исследовательском институте экспериментальной физики (*РФЯЦ-ВНИИЭФ*)).

В 1949 г. прошли успешные испытания первой нашей атомной бомбы. Кстати, бытует крайне неточное утверждение, что она скопирована с американской. Дело в том, что, когда наша бомба была уже готова, по агентурным каналам поступили чертежи из США, и «партийное руководство» потребовало, чтоб «первая» была копией американская (мало ли что), наши туда только один датчик свой незаметно подсунули. Ну, а вторая – та была уж точно своя. Поскольку принцип действия и совокупность ядерных процессов в бомбе были известны [2], то вопросы конструкции были вторичны.

Далее на повестку дня стал вопрос создания атомных силовых установок для надводных и подводных кораблей, также атомных электростанций. Научное руководство и координация всех работ по созданию как транспортной, так и стационарной энергетики, осуществлял **А.П. Александров**.



С реакторами для силовых установок далеко не всё было в теоретическом плане очевидно. Многих смущало, что ядерные процессы развиваются спонтанно и молниеносно, поэтому управлять ими в реальном масштабе времени, вряд ли удастся. Добрую службу сыграли тут образующимися в ходе ядерной реакции деления запаздывающие нейтроны. Среднее время их жизни примерно 13 сек., и благодаря им, реакция оказалась управляемой.

Уже **1958 г.** вышла на ходовые испытания первая отечественная подводная лодка К-3 («Ленинский комсомол»), годом позже первый атомный ледокол «Ленин», снабжённый ядерной энергетической установкой мощностью 30 МВт. Положительное решение вопроса создания судовых атомных установок автоматически открывала путь к созданию атомных электростанций. Только их реактор должен быть более безопасен и надёжен в эксплуатации, а вырабатываемая с его помощью энергия, должна быть хотя бы соизмерима по стоимости с энергией тепловых электростанций.

На этом пути произошло одно событие, мало связанное с техникой, но попавшее в разряд исторических. В **1954 г.** в Женеве состоялась первая конференция по мирному использованию атомной энергии. В то время в Физико-энергетическом институте (ФЭИ) шли исследования работы реакторов для подводных лодок. Образующееся в процессе их работы тепло как ненужное, рассеивалось в атмосферу. Вот и зародилась идея некоего политического решения: снабдить один из экспериментальных атомных реакторов системой утилизации теплоты, энергию которой передать турбине для привода электрогенератора. Подобная схема была реализована, что позволило нашей стране выступить в Женеве с докладом о создании в СССР **первой в мире атомной электростанции**. Мощность использованного реактора была 30 МВт, а мощность паровой турбины 5 МВт, к.п.д. выработки энергии не превышал 15%, почти как у лучших паровозов начала XX века. Наши зарубежные коллеги обиделись – мы давно могли бы создать подобные станции, но кому нужна энергия с подобным к.п.д. Однако формально приоритет всё-таки за нами - первая в мире АЭС была создана в нашей стране.

Подлинное возникновение атомной энергетики в нашей стране следует отнести к **1964 г.** Тогда на Нововоронежской АЭС был введён в промышленную эксплуатацию первый энергоблок типа *ВВЭР* мощностью 210 МВт, снабжённый корпусным водо-водяным реактором с водой под



**А.П. Александров (1903-1994)**



Н.А. Доллежалъ (1899-2000)

давлением. Этот блок работал уже достаточно эффективно и себестоимость электроэнергии оказалась приемлемой. Примерно в те же сроки пущен несколько иной по конструкции энергоблок мощностью 285 МВт на Белоярской АЭС, но его эффективность оказалась несколько ниже. К тому же времени похожие блоки были введены в США. Точные даты тут не имеют принципиального значения – практически это состоялось одновременно. С

этого момента в мире начинается масштабное строительство атомных электростанций (АЭС), темпы которого постоянно нарастают, а качество и совершенство оборудования увеличиваются, а реакторы типа ВВЭР становятся базовой конструкцией для развития отечественной атомной энергетики. Комплексные теплофизические исследования, выполненные ФЭИ, имели большое значение для обеспечения безаварийной работы судовых, а позже и энергетических реакторов в нашей стране. Среди вдохновителей и организаторов этих работ по теплофизике реакторов хочется вспомнить **В.И. Субботина, П.Л. Кириллова, С.С. Кутателадзе, В.Е. Дорощука.**

Вспоминая тех, кому принадлежит главная роль в проектировании первых отечественных атомных энергетических установок, начать хочется с **Н.А. Доллежала.** В 1946 г. НИИ химического машиностроения, которое он возглавлял, привлекли к атомному проекту. Он проектировал первые промышленные ядерные реакторы для производства оружейного плутония, после успешных испытаний атомной бомбы с лета 1949 г. начал разработку энергетических реакторов для корабельных установок, в 1954 г. под его руководством создана первая реакторная установка для подводных лодок. В 1952 году Н.А. Доллежалъ возглавил «Специальный институт», он же НИИ-8 (или «восьмёрка»), нынешний Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники (**НИКИЭТ**), ныне *НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала*, которым он руководил 34 года. Институт Доллежала проектировал первые промышленные ядерные реакторы для производства оружейного плутония, после успешных испытаний атомной бомбы с лета 1949 г. начал разработку энергетических реакторов для корабельных установок, в 1954 г. под его руководством создана первая реакторная установка для подводных лодок. Совместно с ИАЭ были созданы энергетические уран-графитовые реакторы типа РБМК, к ним нам придётся вернуться чуть позже.

Другой выдающийся организатор работ по созданию ядерных реакторов и оборудования для атомной промышленности, гражданского и военно-морского флота, имя которого долгие годы не упоминалось **И.И. Африкантов**. С 1951 по 1969 гг. он руководил нижегородским (горьковским) Опытного конструкторского бюро машиностроения **ОКБМ** (ныне *ОКБМ Африкантов*). Среди его разработок диффузионные заводы по производству высокообогащённого урана, промышленные и транспортные водо-водяные, уран-графитовых и тяжеловодных реакторы, энергетические реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем БН-350 и БН-600 [4].

Ядерные энергетические установки первого поколения были двухконтурными и имели корпусной реактор заводского изготовления, что ограничивало его мощность транспортными габаритами. В этой связи весьма перспективным представлялся реактор канального типа (*РБМК*), разработанный. Подобные реакторы можно было сооружать непосредственно на объекте, в результате их мощность практически не ограничивалась [4]. Ввод первого такого реактора в **1973 г.** на Ленинградской АЭС, рассматривался как важный этап в развитии атомной энергетики, рассматривались в ту пору как основа дальнейшего развития отечественно атомной энергетики. Однако А.П. Александров тогда предупреждал, что *реакторы типа РБМК предъявляют крайне высокие требования к квалификации и дисциплине персонала, и что Минэнерго к их эксплуатации не готово* [5]. Но к мнению А.П. Александрова тогда не прислушались, а он по каким-то соображениям не стал настаивать, о чём позже, после черновыльской аварии, глубоко сожалел.

Но это было потом, а пока 70-е годы стали победным шествием атомной промышленности:



**И.И. Африкантов**  
(1916-1969)

- Быстро наращивались мощности в атомной энергетике, вслед за Ленинградской АЭС, пошли станции с реакторами РБМК: Курская, Чернобыльская, Игналинская – последняя с реактором небывалой мощности 1500 МВт.

- На Чукотке вошла в строй уникальная Билибинская АЭС с тремя реакторами мощностью по 12 МВт, которую рассматривали как прототип при освоении Севера.

- Впервые надводный корабль (атомный ледокол «Арктика») достиг Северного полюса.

- Для атомных технологий ищут и находят новые области применения: ведутся многочисленные (в основном

удачные) атомные взрывы в мирных целях: для создания подземных ёмкостей по хранилища запасов полезных ископаемых, для ликвидации аварийные газовых факелов, для интенсификации добычи нефти и газа, проводилось сейсмическое зондирование земной коры для выявления полезных ископаемых и мн. др.

Среди специалистов-атомщиков господствует мнение, что АЭС несравненно чище в экологическом отношении традиционных тепловых (это действительно так, пока нет серьёзной авария), и впереди уже маячило скорое энергетическое изобилие, как база для будущего коммунистического общества.

Ситуация у нас в стране и в мире резко изменилась в **1986** г., после *авария на Чернобыльской АЭС*, случившейся с реактором РБМК. Пока на действующей АЭС это единственная авария подобного масштаба. Она имела глобальные последствия, и, хотя произошла из-за грубейших ошибок персонала, в ходе её анализа вскрылся также ряд серьёзных конструктивных дефектов реактора.

После Чернобыля интерес к атомной энергетике во всём мире пропал на долгие годы - новые АЭС не проектировались, а начатые строительством – консервировались. Ряд стран, например, Швеция, поставили задачу в кратчайший срок полностью ликвидировать АЭС на своей территории.

Аварии в атомной промышленности, том числе на АЭС, неизбежное зло развития техники. На грани серьёзных аварий на АЭС человечество оказывалось и раньше Чернобыля. Так в 1975 г. на атомном реакторе АЭС Браунс-Ферри (штат Алабама) рабочий, искавший течь в линии подачи воздуха в необслуживаемом помещении под пультом управления (!), забыл потушенную свечку (имеется такой старинный и надёжный способ искать слабые течи газа по отклонению пламени). В результате начался пожар, который сначала пытались потушить собственными силами. Только через 15 минут стали вызывать пожарных, но телефон перепутали, в результате пожарные приехали через 1 час. Далее 6 часов обсуждали, чем тушить пожар, наконец, приняли волевое решение тушить водой - и угадали, пожар был потушен. Последующий анализ ситуации показал, что оставалось примерно 30 минут, после чего город Хантсвилл в штате Алабама практически перестал бы существовать; поражению подверглось бы более 15 млн. чел., в том числе в таких городах как Бирмингем, Атланта, Нешвил. Через год сенатская комиссия США сделала вывод, что при современном (1976 г.) уровне безопасности избежать подобных аварий нельзя.

Крупнейшей в истории атомной энергетики США является (пока) авария на АЭС Три-Майл-Айленд в в 16 км к от Гаррисберга, столицы штата Пенсильвания (США), случившуюся в 1979 г. на её 2-м энергоблоке всего через полгода после его пуска. Тогда. в результате сочетания технических неисправностей, ошибок при ремонте и неправильных

действий персонала была серьёзно повреждена активная зона реактора. Как позже выяснилось 45 % компонентов активной зоны — 62 тонны — расплавилось. Однако ни расплавления реактора, ни катастрофического выброса радиоактивных веществ в окружающую среду не произошло, их предотвратила локализирующая система безопасности и прочная герметичная защитная оболочка, внутри которого находился реактор и оборудование 1-го контура.

После чернобыльской аварии в мире был проведен значительный объём исследовательских и проектных работ, направленных на повышение эксплуатационной безопасности АЭС, разработаны новые меры предотвращения последствий аварий, ужесточились нормы безопасности. Следующий этап развития атомной энергетики базировался уже на новой, по сравнению с прошлым, технологической базе; изменился и подход к проблеме безопасности, появились принципиально новые - революционные, можно сказать, решения активной и пассивной безопасности реактора. Хочется отметить в этой связи работы **НИТИ** (Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова, г. Сосновый Бор), где исследования по моделированию аварий в атомной промышленности были инициированы ещё в начале 70-х гг. **С.Д. Малкиным** и **В.Б. Хабенским**. С 1988 г. масштаб, интенсивность и практическая направленность этих работ существенно возросли. В частности совместными усилиями прежде всего *НИТИ, Института химии силикатов РАН, при участии "Атомэнергопроект"* и в кооперации с рядом других организаций были разработаны ловушки и системы расхолаживания, обеспечивающие локализацию в пределах корпуса реактора типа ВВЭР, последствий самых тяжёлых аварий, связанные с расплавлению активной зоны [6]. Новейшие АЭС уже оснащаются такими системами.

На этом фоне за прошли годы страсти поулеглись, и постепенно идея "атомного ренессанса" снова завладела миром. Новые страны стремятся развивать у себя атомную энергетику. Страны, имеющие АЭС, обновляют и расширяют свои реакторные парки. О Чернобыле не забыли, развитие атомной энергетики диктуется требованиями ускоренного наращивания энергетических мощностей, а в некоторых странах (например, Франции) ещё и отсутствием собственных ископаемых энергоресурсов снижения экологического прессинга энергетики на окружающую среду. Так получается быстрее и дешевле.

На этом фоне весьма удручающе смотрится авария, случившаяся в 2011 г. в Японии на АЭС Фукусима. Экологические последствия её невелики, жертвы минимально, но дело в том, что в наши дни аварии на Фукусима-1 вообще не должно было быть! Станция построена давно, её первый блок введён в эксплуатацию в 1971 г., когда её строили, многое решения, связанные с безопасностью, не применялись. В частности, реакторы не снабжались системами для дожигания гремучей смеси. Позже необходимость таких систем осознали, их установка стала обязательной.

Почему это не было сделано на Фукусима-1 при очередном ремонте? Как случилось, что за год до аварии контролирующие органы Японии продлили на следующие 10 лет разрешение на эксплуатацию первого реакторного блока (с которого началась авария). Далее: при проектировании АЭС есть понятие «максимальных проектных аварий». На них ориентируются при разработке средств защиты. Один из вариантов самой тяжёлой аварии: полное обесточивание – потеря энергоснабжения. Поэтому в проекте АЭС предусматривается аварийный источник электроснабжения - дизельная электростанция, которая при обесточивании автоматически запускается и уже через несколько секунд (!) обеспечивает работу насосов системы расхолаживания реактора. По требованиям безопасности на АЭС необходимо тройное резервирование средств защиты, и на Фукусиме-1 были три независимые аварийные электростанции. Поскольку станция на берегу океана, поэтому для защиты всех трёх дизельных электростанций сооружена дамба, на случай цунами.

Но вот в 2010 г. на Филиппины обрушивается цунами небывалой силы, высота волны оказывается выше защитной дамбы на Фукусиме-1. Казалось бы, надо срочно наращивать дамбу или найти иное решение для защиты аварийных электростанций от цунами, что не так трудно сделать. Главное, время пока есть - до аварии остаётся год. Однако, можно и ничего не делать – ведь столь высокой волны больше может не быть. Всё-таки экономия.

Экологические последствия этой аварии не очень велики - могло быть хуже, а вот материальные потери превышают 100 млрд. что, скорее всего, в сотни раз превышает стоимость мер по предупреждению аварии, которые обязаны были принять хозяева АЭС.

Число малых и средних аварий, с ущербом менее \$20 млн. после аварии в Чернобыле резко уменьшилось и далее продолжает уменьшаться. Тем не менее, частота таких аварий, как Чернобыль и Фукусима, не следует этой закономерности, такие аварии становятся результатом стечения ряда непредвиденных обстоятельств. Число их невелико, и нам представляется, что было бы значительно продуктивней, если бы человечество вместо патетических филиппик о вреде атомной энергетики, констатируя неизбежность аварий, перешло бы к планомерной подготовке к действиям на случай аварии. Что уже само по себе способствовало к уменьшению их частоты.

Однако атомная энергетика породила одну серьёзную проблему где остро переплетаются вопросы безопасности и экономики.

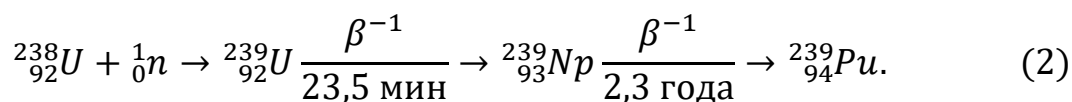
Топливом для подавляющего большинства современных энергетических реакторов служит изотоп урана-235. Его в естественной смеси изотопов природном уране не более 0,71% , основную массу, около 99,3% составляет уран—238. Поэтому топливо искусственно обогащают, поднимая содержание изотопа уран-235 до нескольких процентов, процесс это очень дорогой, поэтому дальнейшее обогащение невыгодно. Мировые



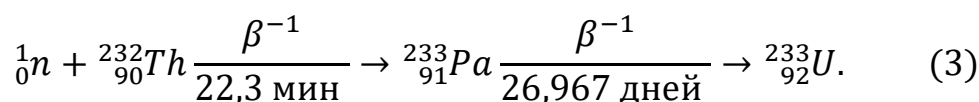
запасы урана-235 невелики и сравнимы с запасами органическим топливом, их хватит примерно на сто лет. Дальнейшим этапом будет *бридерная энергетика*, способная обеспечить человечество энергией на многие тысячелетия.

**Бридеры** (иначе: **реакторы размножители**) в процессе своей работы кроме тепловой энергии вырабатывают ещё ядерное горючее, причём в количестве большем, чем то топливо, что сгорает в реакторе. Последнее объясняется тем, что из 2,3 (в среднем) свободных нейтронов, выделяющихся при делении урана-235 (см. рис. 1) для продолжения реакции нужен только один (!). Остальные нейтроны можно использовать, чтоб превратить в ядерное горючее такие весьма распространённые изотопы как уран-238 или торий-232. Причём запасы тория в 5 раз больше, чем урана. Здесь возможны два основных бридерных цикла:

а). *Урановый цикл*, в котором бридерный реактор работает на *быстрых нейтронах*. Ядерная реакция идет следующим образом. Уран-238 поглощает нейтрон, превращаясь уран 239, который, испуская протон в превращается в нептуний-239 ( $^{239}\text{Np}$ ), последний с периодом полураспада 23 дня переходит в плутоний-239, который уже стабилен (период полураспада  $2,4 \cdot 10^4$  года). Он является атомным горючим, делится при захвате нейтрона, с образованием новых нейтронов, только их примерно в два раза больше, чем при делении урана-235, и процесс «бриденга» может быть продолжен. Схема реакции показана ниже:



б). *Ториевый цикл* осуществляется в реакторе, работающем на *медленных нейтронах*, исходный материал размещены в реакторе торий-232, который переходит в протактиний ( $^{233}\text{Pa}$ ), реакция заканчивается получением урана-233, который по своим свойствам деления подобен урану-235 и плутонию-239.



Главное значение бридеров – резкое увеличение ресурсов ядерного топлива, снижение его стоимости и практически неограниченные возможности наращивать энергетические мощности. Недостаток в том, что плутоний оружейный материал [5].

Именно бридерная энергетика открывает путь к широкому использованию дешёвой электроэнергии на новой экономической и технологической основе. Этот переход потребует времени и ряда нововведений в технологию промышленности, сельского хозяйства и

транспорта. Нововведения включают в себя крупномасштабные многоцелевые *энерготехнологические комбинаты*, электрификацию строительства и транспорта, электрификацию металлургической и химической промышленности, более эффективные способы переработки отходов. Так атомная промышленность окончательно поглотит не только все сферы производств и другие формы человеческой деятельности.

О более отдалённой перспективе сейчас говорить пока ещё рано, однако, уже сейчас понятно, что использование *термоядерной энергии*, которая обладает практически безграничным источником, которого хватит на миллиарды лет. Темпы неуклонное продвижение вперёд в данной области позволяют предположить, что термоядерная энергетика (ТЯЭ) возможно начнёт конкурировать с бридерной, а может и заменит её, много раньше, чем будут исчерпаны все запасы урана и тория.

На этом фоне появляются и новые подчас экстравагантные и экзотические идеи. Сюда, наверное, следует отнести *взрывную дейтериевую энергетiku (ВДЭ)*, где предполагается котёл с множеством термоядерных зарядов [7].

Сейчас много пишут, что вот-вот на смену атомной энергетике придёт нетрадиционная энергетика. Мало вероятно, если это и будет, то не так скоро. Пока альтернативы атомной энергетике нет, потому стоит заглядывать в её будущее. Здесь есть несколько вариантов развития. На путь (или пути), которые окажутся предпочтительней, будут влиять много факторов, в тих числе: талант исполнителей, случайность и просто везения. Изложенный путь нам представляется естественным, но совершенно не обязательно человечество сразу двинется по нему. История знает много случаев общественных заблуждений не только в жизни, но и науке и технике, которым было суждено надолго замедлить прогресс, а то и на какое-то время пустить его вспять.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петросьянц А.М.** Атомная энергетика. – М.: «Наука», 1976. - 319с.
2. **Зысин Ю.А.** Проблема высвобождения внутриядерной энергии. - Природа, №2, 1945. С.8-13.
3. **Бешер-Белинский Л.Б.** Взгляд изнутри. Книга 2. – Published in Canada by Altaspera Publishing & Literary Agetncy Inc., 2013. - 685с.; то же, книга 3, 2014. - 685с.
4. **Нигматулин И.Н., Нигматулин Б.И.** Ядерные энергетические установки. – М.: Энергоатомиздат, 1986. -168с.
5. **Зысин Л.В., Калютик А.А.** Основы ядерной энергетики. - СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. - 162с.

**6. Бешта С.В., Грановский В.С., Хабенский В.Б. и др.** Взаимодействие оксидного жертвенного материала устройства локализации с расплавом кориума при тяжелой аварии на АЭС с ВВЭР. Части. 1-3. - Труды РНКТ-5. Том 1. Общие проблемные доклады. М.: 2010.

**7. Иванов Г. А., Волошин Н. П., Ганеев А. С. и др.** Взрывная дейтериевая энергетика.- Снежинск: РФЯЦ, 1997. - 138 с.