### *Особая папка*

### *Русская рулетка*

«Ру́сская руле́тка – экстремальная

 [азартная игра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B8%D0%B3%D1%80%D0%B0) с летальным исходом»

###  (Википедия)

### Русская рулетка – механическое устройство для розыгрыша случайного блуждания нейтрона

### (Музей истории науки и техники ОИЯИ)

***Пролог***

Однажды я прочитал об одной уникальной операции по захвату американской подводной лодки. Это было где-то в первой половине 60-х. В США изготовили подводную лодку новой конструкции. По нелегальным каналам были получены чертежи лодки, но по каким-то соображениям наши чекисты решили, что лодку необходимо…угнать! И начали приводить в исполнение совершенно невероятный план такой операции. Были отобраны исполнители – примерно два десятка подходящих молодых людей. Их готовили долго – что-то около года, и научили делать все, в том числе, разговаривать на хорошем немецком языке, причем, на баварском диалекте. О предстоящей операции им ничего не сообщали, только предупредили, что они должны о ней молчать до конца своей жизни. По окончанию обучения их разослали по всему миру под видом мелких торговцев, журналистов и т.п. Через некоторое время всем был передан приказ съехаться в определенном месте, где их наконец ознакомили с планом операции. А план был коварный: группа должна была ночью подплыть с аквалангами к лодке, которая стояла на причале одного мирного южноамериканского порта, проникнуть тихо в лодку, быстро нейтрализовать всю команду, не причиняя телесного вреда (их этому также обучили), и увести лодку в заранее приготовленное тайное место, где специалисты должны были выяснить все необходимое. После этого лодку можно было покинуть. План был реализован точно и полностью. Самое пикантное в этой истории то, что захватчики говорили между собой на баварском наречии, и команда лодки была уверена, что их захватили немцы. Коварство этого замысла заключалось в том, что в данный момент была напряженка в отношениях между США и ФРГ, и весь гнев американской администрации был направлен туда. После возвращения в СССР все участники операции получили звание Героев, им дали хорошие квартиры в разных городах страны и пожизненную большую пенсию.

Эту историю опубликовал через тридцать лет один из участников группы захвата лодки. Он признался, что его всю жизнь тяготила необходимость хранить в себе эту тайну, и он не выдержал….

Точные сроки хранения секретов обосновать трудно. В вопросах военной техники это определяется скоростью научно-технического прогресса, в вопросах политики секреты живут либо годами, либо часами. А вот тайну рождения иногда приходится скрывать столетиями. Что, если странствующему рыцарю попадутся на глаза пожелтевшие листы где-то надежно спрятанной родословной книги с записями рождений всех его знатных прапраотцов, скажем, князя Люксембургского, а в это время на княжеском престоле восседают лжепотомки этого рода, убившие когда-то одного из прямых наследников? Небрежно хранимые секреты могут вызвать волнения, войны и гибель сотен людей. Или подумайте: легко ли матерям всю жизнь скрывать от сына или дочери имя их истинного отца? А ведь таких семейный тайн по статистике от 1-го до 3-х процентов.

Случай, о котором вы прочтете в этой главе, также входит в орбиту ситуаций, где срок секретности едва ли может быть точно определён. Тот читатель, кто неплохо знаком с проблемами Лаборатории Нейтронной Физики, понимает, что снятие табу зависит от сиюминутной ситуации и может быть варьируемым. Признаюсь – и мне не удалось его определить, и пишу потому, что далее некому будет это сделать.

***Вступление***

Дубна была пионером в деле создания импульсных реакторов периодического действия и в течение более 60лет остается единственным местом на Земле, где работают на науку эти уникальные установки – ИБР`ы. Но эта благополучная история могла бы однажды внезапно оборваться. Что-то вроде “микроЧернобыля” могло произойти в Дубне, раз и навсегда обрезав хрупкую, единственную веточку на генеалогическом дереве ядерных установок, помеченную абревиатурой ИБР. И только из-за чистой случайности этого не произошло 11 июня 1972 года. Рулетка – *русская* *рулетка*! – остановилась на сравнительно благополучном номере – разгерметизации одного твэла и незначительном выбросе плутония в вентиляционную систему. В качестве «рулетки» послужил механизм движения вольфрамового стержня – одного из модуляторов реактивности в реакторе ИБР-30.

*Почти все участники истории, о которой далее пойдет рассказ, ушли из жизни с тех пор, как она была написана. Я скорблю о них, я вспоминаю их с чувством невосполнимой утраты, даже если кто-то оказался невольным виновником описанных ниже событий…*

Что же произошло тогда, 11 июня 1972 года? Прежде чем рассказать об этом, придется ознакомить читателя с состоянием реакторных дел в ЛНФ в то время. Как известно, 23 июня 1960 года был произведен успешный пуск первого ИБР`а. Его начальная мощность была 1 кВт. Естественно, первые же исследования физиков с этим реактором возбудили их аппетит. Параллельно с разработками значительно более мощного реактора на несколько мегаватт средней мощности (в итоге приведшими к пуску ИБР-2 в 1984 году), началось проектирование усовершенствованного ИБР`а под руководством *Василия Тимофеевича Руденко.* Ив 1969 году ИБР-30 заменил первый ИБР. Существенным отличием от предшественника были твэлы меньшего диаметра, что обеспечивало мощность 20-25 кВт.

Обычный режим импульсного реактора – от 5 до 50 импульсов в секунду. Но для некоторых экспериментов, прежде всего, с ультрахолодными нейтронами, более эффективной являлась бы работа на очень низкой частоте пульсаций мощности. В самом последнем сеансе работы ИБРа в августе 1968 (точнее, в дополнительное время сеанса на обычной частоте импульсов 5 Гц ) группа молодых физиков А. Стрелков, Ю. Покотиловский и В. Лущиков под руководством Ф.Л.Шапиро впервые в мире наблюдала эти самые УХН, в существование которых не все верили. Это было первое в ЛНФ научное открытие (как показало дальнейшее – самое яркое за всю 60-летнюю историю ЛНФ). И Федор Львович поставил задачу обеспечить на реакторе ИБР-30 *режим редких импульсов –* один раз в несколько секунд, от 2-х до 13-ти. Он хотел попытаться в этом режиме реализовать идею накопления ультрахолодных нейтронов до плотности, соответствующей их плотности во время импульса мощности за счет отсечения полости хранения от источника на все время, кроме самого импульса. Идея казалась заманчивой – пиковая мощность в “режиме редких импульсов” (РРИ) равна 1000 мегаватт (!); в идеальном варианте плотность УХН могла бы быть в 10 раз больше, чем в самом мощном исследовательском реакторе постоянного действия (например, СМ-2 в Дмитровграде, тогда Мелекессе, куда приходилось ездить на эксперименты УХН-группе наших физиков). Впоследствии оказалось, что технически эта идея невыполнима на реакторе с коротким импульсом (в режиме редких импульсов продолжительность нейтронной вспышки была около 40 микросекунд), но в то время это еще трудно было предугадать. Так, на реакторе ИБР-2 в режиме 5 Гц группа, возглавляемая В. Голиковым, безрезультатно пыталась воплотить идею накопления УХН. РРИ мог быть использован также для изучения эффектов импульсного воздействия нейтронов на материалы, что было актуально тогда в связи с проектом мощного реактора ИБР-2.

Проектирование ИБР-2 началось раньше, чем был задуман ИБР-30. Цифра “2” указывала не на мощность, а на то, что это был второй импульсный ИБР. Однако действительность распорядилась иначе – реактор стал работать именно на мощности 2 МВт вместо проектных 4 МВт, и все стало на свои места. В 1972 году было мало известно, как воздействуют на свойства материалов многократные импульсы мощности. Так, при 5 импульсах в секунду за 30 лет работы реактора твэлы переживут колебания температур в диапазоне десятков градусов более миллиарда раз. Ранее такие испытания не проводились. Автор совместно с А.Д. Роговым пытался зарегистрировать влияние мощного нейтронного импульса на модуль упругости стали. Для этого был сделан вибратор, возбуждаемый воздухом, как в паровозе, (свисток с частотой на грани слышимости) и помещен в активную зону ИБР-30 на время сеанса (где-то около 10 дней). Однако изменение частоты звука свистка замечено не было (частота измерялась методом биения частот с контрольным свистком). Планировалось так же поместить в зону ИБР-30 уменьшенный твэл ИБР-2 и измерить эффект теплового удара – подскок таблеток двуокиси плутония и деформацию оболочки во время импульса. Однако этому помешало как раз печальное событие, которому посвящены эти заметки. И автор с Роговым переместились в Лыткарино, где и провели успешно изучение теплового удара на импульсном реакторе самогасящего действия БАРС в 1976 году. В связи с экспериментами в Лыткарине хочется сделать ещё одно небольшое отступление от темы. На установку экспериментального твэла с плутонием около реактора БАРС сотрудники реактора смотрели с опаской. Дело в том, что двуокись плутония является источником нейтронов за счет реакции (α, n) на кислороде, а наличие источника нейтронов в импульсном реакторе самогасящего действия способствует преждевременному поджигу цепной реакции, и импульс мощности может либо не развиться, либо получится так называемый «пшик». А это для института в Лыткарино – ЧП: такие реакторы дают только один импульс в сутки, значимость и стоимость экспериментов на реакторе (которые в основном военного характера) высока, и потеря импульса чревата крупными административными неприятностями. Да к тому же экспериментальный твэл был в толстой медной «подкове», что увеличивало поток (α, n) нейтронов в сторону реактора. Поэтому нас попросили сделать оценку вероятности «пшика». Она получилась достаточно большой – за три эксперимента, которые нам были нужны, вероятность пропадания хотя бы одного импульса мощности оказалась близкой к 1/3. И тогда, чтобы спасти крайне необходимый для обоснования безопасности ИБР-2 эксперимент, я пошел на риск (а также и на обман), заявив, что вероятность отсутствия импульса ничтожно мала. Не подумайте, что автор такой уж оголтелый – никогда не проводил эксперименты, если имевшаяся у него информация не исключала хотя бы малейшей вероятности серьезных неприятностей. «Неугомонный» - это не синоним слова «бесшабашный».

Мне поверили из-за популярности среди реакторщиков Лыткарина только что вышедшей тогда моей книги об импульсных реакторах. Это была вторая (и удачная) попытка игры в «русскую рулетку»– все импульсы оказались нормальной амплитуды! А первый раз рулетку крутанули 11 июня 1972 года. Но совсем не так успешно...

 Итак, возвращаюсь, наконец, к основной теме. В обычном режиме ИБР были нужны два модулятора реактивности, два вращающихся диска с запрессованными в них урановыми вкладышами. Один, ОПЗ, вращался быстро, 25 об/мин, и обеспечивал за счет большой линейной скорости уранового вкладыша короткую длительность нейтронного импульса ~ 40 мксек. Второй, ДПЗ, вращающийся медленнее, 5 раз в секунду, определял частоту вспышек мощности: только при одновременном проходе ОПЗ и ВПЗ в активной зоне реактора развивается импульс мощности.

В.Т. Руденко, начальник отдела реактора, возглавил работу по переводу реактора в РРИ. Конструкцию разрабатывало КБ ЛНФ. Мне поручили (Ф.Л.Шапиро и С.К.Николаев) сделать нейтронно-физические расчеты. В действительности, я провел такие расчеты еще до того, как конструировался ИБР-30 - в архиве ЛНФ сохранился мой отчет, датированный 1962 годом. В отчете было показано, что разрушающих импульсов не может быть. Однако при выводе было сделано допущение о мгновенном, безынерционном характере температурного эффекта. При нагреве ядерного топлива во время импульса твэлы удлиняются, что должно приводить к снижению реактивности и подавлению слишком больших импульсов. Эта оптимистическая модель была бы вполне реальна, если бы не одно «но». Оружейный плутоний, который использовался в ИБР`е, имеет аномальный ход коэффициента температурного расширения, и в определенном интервале температур он сжимается с ростом температуры, а не расширяется, как обычно. Этот эффект крайне вреден для безопасности импульсных реакторов; во время аварий он снижает способность реактора к саморегулированию. По причине секретности нам были недоступны тогда детальные сведения о свойствах плутония, и я, естественно, не учитывал этой аномалии в расчетах. Правда, справедливости ради надо сказать, не все восприняли мою эйфорию по поводу безопасности РРИ, и были приняты некоторые дополнительные меры в проекте РРИ для предотвращения возможных аварий, помимо защиты по амплитуде основного импульса. К сожалению, они были необходимы, но недостаточны – реактор, как и математика, любит точность и строгость…

Схема 2-х роторного модулятора, которая использовалась для 5-герцового режима, не годилась для РРИ. Был нужен третий модулятор реактивности, который бы имел цикл пульсаций реактивности в соответствии с необходимой частотой вспышек мощности реактора. Просто понизить скорость вращения ВПЗ до одного оборота за 2 или 13 секундбыло нельзя – тогда бы вместо одного редкого импульса была бы пачка импульсов с частотой 25 Герц (такой режим также рассматривался по предложению Ф.Л.Шапиро В.Пластининым и мной; он был даже испробован, признан изобретением, но реализован не был).

Было решено использовать для третьего модулятора один из регулирующих стержней из вольфрама. Он должен был двигаться поступательно, “туда-сюда”, вверх-вниз. Приводом служил тот же двигатель, что и для ОПЗ и ВПЗ, с обеспечением синхронности движения – все три модулятора должны были находиться в положении максимальной реактивности одновременно один раз в 2-13 секунды. Поступательное движение стержня обеспечивал кулачковый механизм. Большой и редкий основной импульс должен был развиваться в момент максимального ввода вольфрамового стержня в зону.

Эйфория по поводу достаточности защиты реактора по амплитуде главного импульса, царившая тогда, заразила и конструкторов. Механизм возвратно-поступательного движения стержня был спроектирован так, что не предусматривалось контроля его состояния в процессе работы реактора. Мне же не очень верилось в надежность такого механизма (под влиянием Дмитрия Ивановича, который был апологетом вращательного движения, концепция которого многократно подтверждалась в опыте ИБРов). И по моей инициативе была введена система аварийной защиты по побочным импульсам, т. е. постоянный контроль амплитуды малых импульсов, которые генерировались в промежутке между основными редкими импульсами. Такая защита задолго до большого импульса предсказывает опасное увеличение реактивности. Но! Любая система работает тогда, когда человек умеет работать с этой системой… Так вот, именно поломка этого возвратно-поступательного механизма вкупе с отключенной системой контроля побочных импульсов и стала главной причиной (из 3 или 4-х) драматического инцидента, случившегося 11 июня 1972 года.

***Хроника событий по Шабалину***

(Почему «по Шабалину»? Это станет ясно в дальнейшем. Пока помолчим).

10 июня 1972 года. Прошло ровно три года со дня пуска реактора ИБР-30. Вечерняя смена - с 16 до 24 часов; с 0 часов будет дежурить последняя смена перед летней остановкой реактора. Реактор работает в режиме редких импульсов на частоте 0.5 Гц, т.е. один импульс за две секунды. Начальник смены – Вадим Дмитриевич Денисов (тогда Вадик), инженер по управлению – Харьюзова Надежда Викторовна. Вадик, дружелюбный Вадик, всегда в делах – общественно-спортивных, семейных и дружеских. Скоро традиционный блиц-турнир между “реакторщиками” и “физиками”, у “них” неполный состав. Где найти “девушку-шахматистку”? И ещё домашние хлопоты… Но реактор прежде всего, и Вадик внимательно слушает доклад Нади: «Б*лок побочных импульсов* *плохо работает; на него не идут запускающие сигналы –«нули»*. Может быть, «нули» пропали? «Нули» долго были проблемой на ИБР`ах; они идут от дисков ОПЗ и ВПЗ и дают старт на запуск всей аппаратуры, как реакторной, так и аппаратуры физиков перед или после импульса мощности. С этими “нулями” творились чудеса: то они пропадали, то их было слишком много, то вместо них появлялось что-то несусветное. К *Борису Николаевичу Бунину*, ответственному за электронную аппаратуру реактора и систему СУЗ до того момента, как он окончательно ушел на ИБР-2, звонили без конца – “где нули?”, “Боря, давай нули”; “что ты с «нулями» сделал?”. На этом же фронте трудился и другой Боря – *Борис Соловьев*. На вечерах отдыха “нули” были одной из любимых тем для шуток (наряду с уникальными заданиями Сергея Константиновича Николаева).

А стало это ясно уже поздно вечером. Вадим Денисов (с его слов), как положено, звонит домой Василию Тимофеевичу Руденко (нач. отдела). “Так и так, Василий Тимофеевич, защита по побочным импульсам у нас не работает”. Василий Тимофеевич, недовольный, что его разбудили, отвечает: “Ничего, осталась одна смена, до утра продержитесь”. За что они будут держаться – об этом русский (и украинец тоже) не думает. А может быть и думает, да в ус не дует.

Короче, “*добро” на отключение аварийной защиты по каналу побочных импульсов было получено*. Это – *первая предпосылка будущей* аварии. То, что без этой защиты любые нарушения синхронности движения вольфрамового стержня с ОПЗ и ВПЗ приведут к ядерной аварии, никто не подумал. Может быть, и подумали, но – “авось, небось, да как-нибудь” - три кита, на которых всегда держался русский мужик. Мужик, может и продержался бы, а вот импульсный реактор?

В 12 ночи Вадима и Надежду сменили *Лев Константинович Кулькин* (тогда Лева) и *Анатолий Павлович Белослудцев*. Они должны были отработать последнюю ночную смену, и выключить реактор на все лето. *Лев Кулькин* был человек весьма заметный, если не сказать, легендарный в масштабе Дубны и даже за ее пределами. Наиболее успешный в городе режиссер любительских спектаклей, поэт, пишущий легко, как Пушкин (в шутку или всерьез, но он говорил, что за поэтов он считает только Пушкина и Кулькина), человек с феноменальной памятью, наконец – любимец женщин и покоритель их сердец. Еще будучи студентом, дипломником и в первые годы своей работы в Куйбышеве, Лев всерьез относился к науке и физике. Он хорошо знал и инженерные дисциплины, поработав в авиационном КБ. Посвяти он себя научной карьере, Львом Кулькиным, как ученым, гордилась бы Дубна. Но в какой-то момент наука ушла на задний план. Хорошо это или плохо – это мог бы знать только он сам.

Не знаю, что читал или что писал Лев в ту злополучную ночь; не знаю также, что делал его бывший сослуживец Куйбышевского Конструкторского Бюро С.П.Королева А.П.Белослудцев, но к 5 часам утра оба, мне кажется, были недостаточно внимательными. К этому времени действительно трудно оставаться в состоянии полного бодрствования – это знает каждый, кто дежурил в ночных сменах. Может быть, только сторожа не засыпают, если ходят. Говорят, солдаты “на часах” стоя спят. На мой взгляд, поэтому нельзя строго винить их в том, что они просмотрели драматическую ситуацию, когда линия самописца, показывающего мощность реактора, медленно уходила вниз и почти достигла нуля за 20 секунд до аварии. Падение мощности началось в 5 часов утра плюс-минус 5 минут. А через 15 минут после начала снижения мощности раздались громкие звонки – упали стержни аварийной защиты.

Когда операторы стали разбираться, что же произошло, то, прежде всего, бросился в глаза сигнал “α-аэрозоли в зоне реактора”. Это означало – “плутоний”. Разгерметизация твэла. Сначала ни Лев, ни Толя не обратили внимания на записи мощности реактора и температуры твэла – на самописце, измеряющем температуру, стояло 4000 С, но прибор «зашкалил», значит «не исправен” –успокаивающая мысль. А α-аэрозоли тоже не раз ложный сигнал давали. В действительности, самописцы и α-датчики сработали исправно, и в совокупности дали потом достаточную информацию для восстановления картины аварии.

Хотя операторы и не усмотрели в случившемся трагедии, но по инструкции, как положено, доложили, подняв во второй раз В.Т. Руденко с постели. Два Володи – *Владимир Максимович Назаров,* отвечавший тогда за дозиметрию в ЛНФ, и *Владимир Анатольевич Архипов,* его помощник, немедленно прибыв из дома, начали обследование радиационной обстановки. В результате выяснилось, что плутоний действительно находится на фильтрах, а также внутри вентиляционных труб здания 43. За пределами здания ни α-частиц, ни другой радиоактивности обнаружено не было. Как выяснили позднее, частички двуокиси плутония осели на холодной выхлопной трубе и на тканях фильтра Петрянова.

Вентиляционная система и фильтры были вторым барьером защиты (после оболочки твэлов), и этот барьер сработал надежно. Иначе даже небольшого количества плутония, вылившегося из лопнувшего твэла, было бы достаточно для того, чтобы окружающая местность оказалась зараженной радиоактивностью на долгие годы.

***Анализ аварии.***

Я был привлечен к анализу этого события, а в моем распоряжении был очень скудный материал: лишь записи мощности реактора и температуры оболочки одного из твэлов на ленте зашкаленного самописца. «Зашкал» произошёл как раз в момент аварийного импульса. Мощность регистрировалась только средняя, и таким образом никаких данных об энергии аварийного импульса не имелось.

Логика рассуждений, приведшая к определенному выводу относительно энерговыделения в импульсе, была не сложна. Самописец температуры продолжал писать данные о температуре спустя ещё 30 секунд после аварийной вспышки, когда температура опустилась ниже предела измерений. Эта кривая, как и следовало ожидать, представляла собой спадающую экспоненту – воздушное охлаждение работало с прежней продуктивностью. Экстраполировав эту кривую на момент вспышки и сделав поправку на теплоемкость стальной оболочки твэла, я получил оценку температуры плутония сразу после вспышки. Она оказалась аж 1000°С! (Более поздний и более точный анализ дал значение максимальной температуры плутония 880±30°С). Когда я объявил об этом на рабочем совещании у Франка, мне никто не поверил (или не хотели верить) – ведь температура плавления металлического плутония всего 640°С! Выходит весь, или почти весь плутоний был в расплавленном состоянии?! Мне тогда представилось, что холодный пот, выступивший на лбу у одного из присутствовавших, ощущался им как жар плутония, и он нервно вытер пот носовым платком. А я почему-то ждал, положит ли он платок в карман или оставит на столе?

Исходя из хода кривой мощности и известного времени, в течение которого мощность была ниже установленной, нетрудно было рассчитать, насколько за это время охладилась зона и сколько ввелось реактивности из-за отрицательного температурного эффекта, который для ИБР-30 равен ~ -10-5 кэфф /град. Зона охладилась на 60 градусов, пока мощность была низкой, и запас реактивности составил + 7 10-4 кэфф. Исходя из нагрева зоны на ~1000° С в импульсе и учитывая теплоту всех фазовых переходов плутония (их два в интервале 200-1000° С), нетрудно было оценить энерговыделение в аварийном импульсе и соответствующую ему реактивность. Они составили соответственно 1.9÷2 МДж и 1.34⋅10-3 кэфф . Энергия, выделенная в одном импульсе, превышала энергию 10-и импульсов нынешнего ИБР-2М, в котором плутония в 5 раз больше! Теперь уже нетрудно было рассчитать, что такой мощностью должен был обладать аварийный импульс, если совпадение ОПЗ и ВПЗ случилось в момент, когда вольфрамовый стержень был на 3/4 своей длины в зоне. Все рассчитанные параметры теперь соответствовали скудным экспериментальным данным, в том числе, и тому факту, что при аварии были зарегистрированы α-аэрозоли плутония в вентиляции ИБР-30. Очевидно, что расплавленный плутоний (а при Т~900° С весь плутоний был в течение нескольких секунд в жидком состоянии) должен был оказывать значительное давление на оболочку, и разгерметизация твэлов представлялась с этой точки зрения закономерным событием. Я ожидал, что бОльшая часть твэлов разгерметизирована.

Итак, авария произошла из-за рассинхронизации движения вольфрамового стержня и вращающихся урановых дисков ОПЗ и ВПЗ. При осмотре механизма установили отсутствие жесткой связи между валом кулачкового механизма, приводящего в движение вольфрамовый стержень, и валами ОПЗ и ВПЗ. Раскрутилась гайка, стягивающая фрикционную муфту. Почему? Не было шплинта или он выпал? У меня нет сведений на этот счёт.

, В нормальном режиме муфта должна быть затянута так, чтобы не было ее проскальзывания; проскальзывать она должна была, по замыслу конструктора, только в случае заклинивания стержня во избежание поломки валов. Как говорится, хотели убить муху на плече, а попали в глаз… Но безусловно сборка этого узла была выполнена некачественно. Это *– вторая предпосылка инцидента.*

Специально проведенные испытания механизма движения стержня показали, что при мгновенной потере связи во фрикционной муфте сначала, естественно, происходит рассинхронизация движения стержня РРИ и подвижных зон, и затем, не позднее, чем через 9 секунд при любой начальной фазе стержня РРИ, наступает временное совпадение в пределах ¼ длины стержня. В действительности, совпадение произошло через 30-40 секунд, что говорит о постепенном расцеплении муфты. Тонкий анализ хода температуры активной зоны ИБР-30 (по данным хода мощности) 10-11 июня показал, что небольшая рассинхронизация началась уже за несколько часов до аварии. Повторное почти полное совпадение наступило много позднее; значит, стопорящая гайка раскручивалась сначала совсем медленно, и только за 30-40 секунд до аварии этот процесс пошел быстро.

Когда стала ясна картина происшедшего, я был потрясен. Потрясен не тем, что аварийный импульс оказался таким, каким он был, а тем, что был он таким лишь *случайно.* Вольфрамовый стержень в течение времени своего торможения мог оказаться *в любом положении* в момент очередного совмещения ОПЗ и ВПЗ в зоне. Если бы он оказался, скажем, на 5/6 в зоне, то импульс был бы еще в 4 раза сильнее, и произошло бы разрушение реактора. Валерий Ломидзе (тогда он проработал в ЛНФ лишь 3 года, но уже зарекомендовал себя как хороший физик-теоретик реактора) сделал расчеты энерговыделения при больших реактивностях. По его модели, кинетическая энергия импульса в 4 МДж эквивалента взрыву 1 кг ТНТ. Не скажу, что это был бы Чернобыль. Далеко не так: чтобы разрушить здание 43, нужен взрыв внутреннего заряда в100 кг ТНТ (эти данные мы получили от экспертов уже после Чернобыля). Но заражение местности плутонием при взрыве в 1-2 кг ТНТ было бы таково, что часть населения Дубны, вероятно, пришлось бы временно эвакуировать.

Дальнейшая судьба импульсных периодических реакторов была бы предопределена однозначно. И судьбы многих, если не всех, сотрудников ЛНФ оказались бы совсем иными, чем сейчас. Судьбы тысяч человек мог определить какой-то небольшой кусочек вольфрама весом 50 г, окажись он на 1 см выше от того места, где он оказался 11 июня 1972 года в 5 час 20.мин утра. Атомный век…. Как говорил после Чернобыля один не безызвестный председатель Государственного Комитета по Атомной Энергии: «Наука требует жертв». Реформы в России 90-х годов прошлого века тоже принесли много жертв. А жертвами реформ становятся не те, кто их затевал….

***Визуальная инспекция тэлов***

Спустя несколько недель приступили к инспекции поврежденной активной зоны и ее разборке. Лев Константинович Кулькин, одетый в специальный скафандр, первым заглянул внутрь поврежденной зоны ИБР-30. (говорили, что это было наказанием ему за дрёму в недозволенное время; документально этот слух не подтвержден). Лев обнаружил зеленоватый налет затвердевшей окиси плутония на нескольких твэлах в одной из половин активной зоны. После разборки этой части зоны было установлено, что повреждена стальная оболочка только одного, может быть, двух соседних тепловыделяющих стержней, и во время аварии лишь малая часть плутония вытекла в жидком состоянии.

Таким образом, подтвердилось предположение, что плутоний действительно был в расплавленном состоянии. Причем заметная глазом трещина была в верхней части твэла, где тепловыделение ниже, чем в середине. Это свидетельствовало о том, что в поврежденном твэле ядерное топливо было расплавлено по всей длине, а также подтверждало расчетные оценки масштабов аварии.

Спустя какое-то время после аварии, (кажется, в 1975 году), Анатолий Рогов проделал расчеты на компьютере методом Монте-Карло. В своей модели он учел абсолютно точно всю геометрию ИБР-30, выделил каждый твэл. И получилось, что как раз на тот твэл, который был поврежден, приходится максимум объемного энерговыделения в плутонии. Причем самый напряженный твэл оказался не в центре активной зоны, а вблизи нейтроно-производящей вольфрамовой мишени ускорителя – до режима редких импульсов реактор долгое время (около трех лет) работал как бустер, умножая нейтроны мишени. В режиме бустера из мишени «сыплет» сильный поток жестких гамма-квантов, создающий повышенную тепловую нагрузку на твэл. Помимо того, именно в то место, где образовалась трещина в оболочке твэла, ударяли электроны, отражённые квази-зеркально от наклонной части вольфрамового стержня-мишени. В своё время я предупреждал В.Т. Руденко не делать скос на верхнем торце мишени – косое падение электронов не уменьшает плотность тепловыделения в мишени, как кажется «на глаз», а напротив – увеличивает энерговыделение в соседних твэлах. Всё это подтверждало , что разгерметизация именно этого твэла была не случайной. Другой вывод точных машинных расчетов подтвердил первоначальную оценку – плутоний во время аварийного импульса был расплавлен во всей зоне. *Непродуманную конструкцию мишени ускорителя можно считать одной из причин, усиливших последствия инцидента.*

***Причины. Резюме*** *…*

Итак, основная причина аварии – поломка привода вольфрамового стержня, точнее, смятие шплинта или гайки. Но эта поломка сама по себе, конечно, не должна была бы привести к серьезной аварии, если бы все необходимые средства безопасности были задействованы. Защита “по побочным импульсам” обязательно бы сработала задолго до аварии, но она была отключена (ранее об этом написано). Была бы защита по снижению мощности или по снижению температуры твэлов – она также предотвратила бы аварию. И, наконец, обрати операторы внимание на долговременное самопроизвольное снижение и «болтанку» мощности….

Вот так: отсутствие всех этих “если бы” и привело к тому, что произошло. Достаточно было состояться лишь одному, любому из вышеперечисленных действий – и ничего, кроме «технической неисправности», не произошло бы. В Чернобыле было 6 причин, у нас по моему счёту – 3-4; по мнению же Вадима Денисова их было 10 или 11. Он доcадовал, что я не хотел принимать во внимание все другие возможные обстоятельства, считая их непринципиальными, и Вадим намеревался написать свою версию, но, к глубокому сожалению не успел – он скончался в больнице МСЧ-9 15 марта 2015 в результате врачебной ошибки. Кстати, его дочь подала в суд на неправильное лечение и выиграла. Вадик не успел (или не хотел) ознакомить меня с неизвестными мне дополнительными обстоятельствами аварии, поэтому я заверяю этот документальный рассказ именно моей подписью, дабы не обидеть память моего незабвенного бессмертного друга.

Главный принцип зашиты любой установки - необходимость и достаточность, как в математике. Защита реактора ИБР-30 была спроектирована необходимой, но не достаточной: Этот драматический случай показал, что в реакторах периодического действия типа ИБР защита по снижению мощности также важна, как и по превышению мощности – она предотвращает аварии, связанные с рассинхронизацией модуляторов реактивности.

Возникает вопрос: почему же, когда почти весь плутоний был расплавлен, он все-таки остался внутри стальных оболочек, и лишь незначительное количество, возможно, несколько грамм, вылилось из одного-двух твэлов? И тут мы отдаем должное мудрости инженерной мысли конструкторов твэлов – инженеров и ученых ВНИИНМ – “девятки”, как называли это КБ Бочвара. Возглавлял коллектив, разработавший твэлы ИБР-30, *Игорь Стефанович Головнин,* трижды Лауреат, приятный в общении человек с хорошим чувством юмора. Он до самого выхода на пенсию уже в конце 20-го века сотрудничал с ЛНФ – его коллектив разработал твэлы ИБР-2, твэлы для активной зоны размножающей мишени ИРЭН, твэлы для ИБР-2М. Так вот, люди из “9” заключили в стальную оболочку “конфетку” из плутония в танталовом “фантике”. Танталовая фольга уплотнялась на торцахтак же, как заворачивается фольга на шоколадках. Тантал предотвратил соприкосновение плутония со сталью, иначе бы при температуре выше 5000 С эти металлы очень охотно и быстро прореагировали бы. Только в разгерметизированных твэлах давление плутония, видимо, было настолько велико, что он пробрался сквозь “завертку” фольги наверху твэла.

Получается, что нас выручила эта танталовая фольга, иначе зараженность плутонием была бы значительная. И тогда едва ли бы продолжали функционировать импульсные реакторы в Дубне. Достаточно парадоксально, но именно *этот барьер* – *«фантик» из детства* – *спас и импульсные реакторы и сохранил экологическую чистоту нашего замечательного города.*

*Напомню о тех независимых критических наложениях, ошибочных действиях (бездействиях), которые и привели к серьезному инциденту 11 июня 1972г:*

1. Начальник отдела ИБР-30 Василий Тимофеевич Руденко дал указание продолжить работу реактора с отказавшей аппаратурой зашиты реактора по побочным импульсам
2. Механический привод кулачкового механизма перемещения вольфрамового стержня (третьего элемента модуляции реактивности) был смонтирован с отклонением от технических требований
3. Дежурный персонал невнимательно следил за параметрами реактора – ненормальная работа аппарата явно отражалась действующими пультовыми приборами по крайней мере за полчаса до аварийного импульса.
4. Был отключен, по всей вероятности, дисплей, показывающий амплитуду каждого импульса мощности (один импульс в две секунды), иначе дежурный персонал не мог не среагировать на беспорядочные, тревожные флуктуации импульсов в пределах 100 %!

***Реакция руководства и разборки на высоком уровне***

Конечно, этот случай не мог не вызвать соответствующей реакции начальства. Никакого афиширования на общественность не было, подавляющая часть населения даже не знала, что что-то произошло на реакторе. Примечательно, что отчет Рогова о распределении энерговыделения и температуры в зоне ИБР-30 так и не был опубликован – его не пропустила экспертная комиссия по требованиям В.Т.Руденко, который был заместителем председателя. Видимо, Василий Тимофеевич, да и другие ответственные начальники, не хотели допустить даже намеков на тревожный характер аварии 1972 года. Пусть все думают, что это был просто дефектный твэл. Такова была официальная версия события. Причем, в формулировке официальных документов этот инцидент был отнесен к категории «нештатных ситуаций”, технических неполадок, а не к ядерной аварии.

Разумеется, и мой анализ события 1972 года, написанный по свежим следам уже в июле 1972 г в виде двух служебных отчетов также не мог быть опубликованным (всего было написано пять отчетов в течение года; только один из них сохранился у меня в оригинальном машинописном виде, три – только в виде копий, один исчез бесследно). Оригиналы пропали вместе со всем архивом В.Т. Руденко – сейф, вскрытый после его смерти, был абсолютно пуст! Вообще никаких документов времен руководства Руденко отделом ИБР-30 не было нигде найдено. Очевидно, В.Т. Руденко был из тех, кто не мог оставить для потомков что-либо, что могло бы усомнить их в его исключительности - я не могу вспомнить ни единого случая, когда «паук» (так называли начальника отдела «за глаза» – всё тащит себе, всё совершает один и молча) последовал бы чужому совету. Единственный, кто определенно читал все отчеты, был Сергей Константинович Николаев, но он, конечно, мало что понял.

Но от высокого начальства скрывать такие вещи нельзя. И.М. Франк доложил Б.Н. Боголюбову о событии в наиболее мягкой форме. Но это не спасло. Была назначена следственная комиссия во главе с ученым секретарем ОИЯИ Юрием Александровичем Щербаковым. Он, как помню, вел дело подобно прокурору, буквально вёл допросы, причём прямо в кабинете Франка. стараясь найти виновных в «ядерной аварии». Но он совершил фатальную ошибку – почему-то не вызывал на «допрос» рядовых исполнителей, только начальственный состав ЛНФ. Возможно, сознательно – Боголюбов жаждал благородной крови, наказание рядового состава – не царское дело. Илья Михайлович, напротив, упирал на то, что это “не авария, а просто результат дефекта в одном из твэлов”. Мой анализ не рассматривался на комиссии, и я сам участвовал только в одном заседании, придерживаясь согласованной версии «дефектного твэла». В конечном итоге, дипломатия и терпение Франка победили. Хотя дело доходило до того, что Боголюбов кричал на него и топал ногами (по свидетельству *А.В. Стрелкова, который, как это часто случается в его жизни, оказался в этот момент в помещении секретаря Боголюбова, и видел эту неприглядную сцену через полуоткрытую дверь)*, но переубедить Илью Михайловича не смог и признал отсутствие аварии. Боголюбов потом отыгрывался при подготовке пуска ИБР-2, задержав его почти на два года… Илья Франк действовал в июне 1972 твердо, хотя, зная его деликатную натуру, давалось ему это нелегко. В 1984, при подготовке к пуску ИБР-2, Илья Михайлович был менее решителен – возможно, сказывалось состояние здоровья, а может быть, это была продуманная позиция. Но об этом в главе «Три дня в жизни Евгения Павловича».

Именно дефект твэла и его разгерметизация – таково официальное объяснение случившегося. Никакой ядерной аварии, просто “нештатная ситуация”. Счастье для Лаборатории, что в те годы не было ГосАтомНадзора - ГАНа. Их инспекторов так просто обмануть не удалось бы. По современной классификации, это *была авария 5-го уровня*: “повреждение активной зоны и выход радиоактивных материалов в контролируемую зону”.

Теперь, спустя годы, понимаешь, насколько мудро поступил Илья Михайлович, отстояв версию «технической неисправности». Иначе фраза, с которой началась эта статья - «Дубна была пионером и в течение более 6*0 лет* остается единственным местом на Земле, где работают на науку уникальные установки – импульсные реакторы периодического действия, или сокращенно ИБР`ы» - никогда бы никем не произносилась. Вот вам и роль личности в истории!

***О пользе аварии***

Несмотря на весь драматизм ситуации, вызванный этой аварией, на бессонные ночи и Руденко, и Франка, и Николаева, и Язвицкого, и Лёвы Кулькина эта авария оказалась в итоге полезной для ЛНФ и будущего развития ИБР`ов. Прежде всего, подтвердилась безусловная необходимость защиты по побочным импульсам. Во-вторых, была понята необходимость введения аварийной защиты не только по превышению импульса, но и по снижению его величины (или снижению средней мощности). В-третьих, как говорится, “гром не грянет – мужик не перекрестится”: после этого события отношение к проекту ИБР-2 значительно изменилось в сторону более внимательного изучения возможных аварийных ситуаций и прогнозам их последствий. Приоритетом деятельности сектора ядерной безопасности (именно тогда группу физиков реактора преобразовали в сектор и доукомплектовали молодыми специалистами) стала именно безопасность, а не оптимизация ИБР`а как источника нейтронов (что было темой моей кандидатской диссертации). Диссертация же Валерия Ломидзе была уже наполовину посвящена анализу больших импульсов мощности. В ней, в частности, он показал, что существует предел энерговыделения для импульсного реактора. Правда, этот предел оказался опасно высоким: для ИБР-2 ~ 10 кг ТНТ, а для ИБР-30 – аж 100 кг ТНТ.

И, конечно, главным результатом было полное и безусловное прекращение работы ИБР`а в режиме редких импульсов. Правда, едва ли это можно расценивать как пользу. По крайней мере, в большой степени по этой причине работы по УХН уже больше никогда не велись на реакторах ЛНФ… Их продолжили в Москве, Мелекессе, Гренобле и на импульсных реакторах Арзамаса-16 (г. Саров) и Снежинска, но это уже другие рассказы, автор которых - *Александр Владимирович Стрелков*.