

Человеческий фактор в авариях на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима

Косарев А.В., д.т.н.

Аннотация

В статье рассмотрены причины и последовательность развития аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима. Сделана попытка понять, существующие до сих пор, загадки. Предложен способ принудительного гашения реакции деления в условиях расплава ядерного топлива в активной зоне реактора.

Введение

Первая в мире АЭС была запущена в СССР 27 июня 1954 года. По состоянию на 2022 год в 32 странах эксплуатировалось более 440 ядерных реакторов. АЭС обеспечивают примерно 10% мирового производства электроэнергии. Атомная энергетика обладает многими преимуществами. Достаточно сказать, что по своему воздействию на окружающую среду её относят к зелёной энергетике в сравнении с электростанциями на органическом топливе. Однако как показывает печальный опыт эксплуатации АЭС, они таят в себе возможности аварий с катастрофическими последствиями. Четыре самых крупных аварии: на АЭС Уиндскейл (Великобритания) в 1957 году, на АЭС Три - Майл Айленд (США) в 1979 году, на АЭС Чернобыль (СССР) в 1986 году и на АЭС Фукусима (Япония) в 2011 году до сих пор несут в себе опасность для живого. Это мрачные вехи на пути освоения человеком ядерной энергетике. К сожалению это неизбежная плата за прогресс, за новые знания и опыт. Покажем на примере аварий Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима, что главную опасность в период освоения новых технологий несут естественный недостаток производственных знаний и опыта, а так же излишняя самоуверенность.

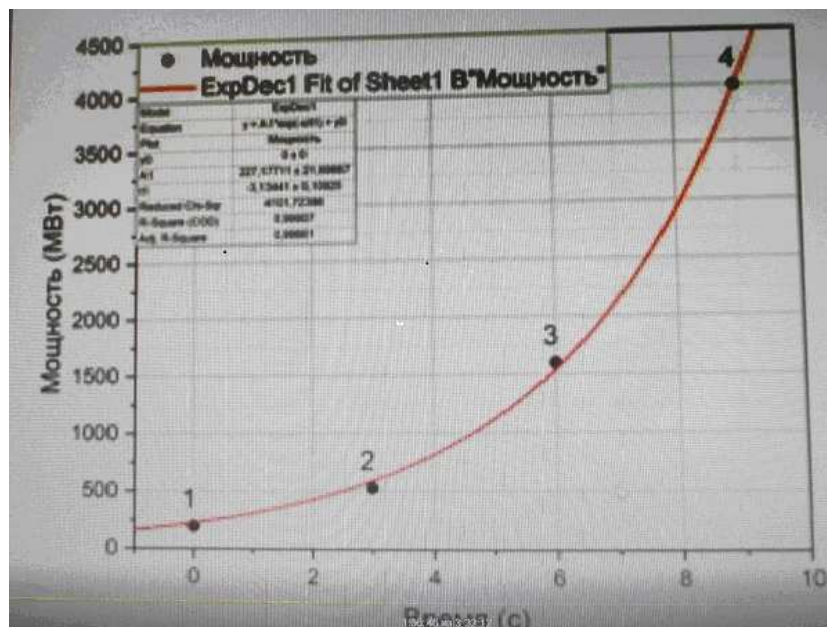
1. Причины возникновения и последовательность развития аварии на Чернобыльской АЭС.

Основанием и побудительной причиной написать эту статью стали два доклада [1, 2], сделанные Уруцкоевым Л.И. Уруцкоев Леонид Ирбекович не просто профессиональный физик - ядерщик, д.ф-м.н., профессор, но и участник ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Наблюдал ситуацию на месте, общался со многими ликвидаторами. Среди них были учёные - ядерщики, инженерно - технические работники и эксплуатационники рабочих профессий. Информация была из первых рук, имела объективный характер и несмотря на многие прошедшие после аварии годы, множество комиссионных расследований, несла много загадок. Загадочные факты были приведены и другими участниками вебинара. Перечислим некоторые из них.

1. Было два взрыва (на слух). Первый относительно слабый, второй сильный.
2. Когда просверлили отверстие в корпусе реактора, то оказалось, что он пустой. Только на дне было немного расплава. Не понятно куда подевались тонны топлива. Стенки реактора были чистыми, не обгорела даже белая краска внутренней поверхности корпуса реактора.
3. Перед взрывом был слышен сильный шум со стороны турбинного отделения.
4. В программе испытаний было прописано не отключать главные циркуляционные насосы (ГСН) по мере снижения мощности реактора, тогда как производственные инструкции требуют этого.
5. В результате взрыва все двери в реакторном отделении были вырваны во внутрь, в сторону реактора.
6. Кабели, закреплённые дюбелями на стенах внутри реакторного отделения и находившиеся под напряжением, были вырваны и валялись на полу. Кабели без напряжения оказались на месте.
7. По словам Уруцкоева Л.И. это не была свободная цепная реакция приводящая к взрыву. Всё происходило относительно медленно по сравнению с неконтролируемой реакцией и ядерным взрывом.

В ночь на 26 апреля 1986 года на четвёртом боке ЧАЭС проводились испытания с выбегом турбогенератора блока. Речь идёт об сценарии аварийного отключения турбогенератора по определённым причинам. И в этих условиях необходимо было разгрузить реактор до минимально допустимой мощности. Всё шло штатно со снижением мощности реактора до 300 Мвт. После

этого реактор резко сбросил мощность до 200 Мвт. Возникла нештатная и непонятная для эксплуатационного персонала ситуация. [1, 2]. Следующим этапом начался резкий разгон реактора. Согласно рисунка составленного по оценкам Кружилина в начале разгона было зафиксировано увеличение мощности реактора с 200 до 530 Мвт за 3-и секунды. В следующие 3-и секунды сработала АЗ при мощности 1600 Мвт. К концу 9-й секунды мощность должна была достигнуть 4000 Мвт и произошёл взрыв.



Перед физиками ядерщиками и конструкторами реакторов встал вопрос о причине разгона реактора. На вебинаре [1, 2] мы услышали две версии - разгон на мгновенных нейтронах (официальная версия) и разгон на запаздывающих нейтронах (этой версии придерживается Уруцкоев Л.И.). Физиками были просчитаны различные модели разгона реактора. В частности в своём докладе Уруцкоев Л.И. ссылается на работы Филиппова и Уруцкого. Их расчёты не соответствуют экспоненте Кружилина. На вебинаре, отвечая на вопросы Цветкова С.А. Леонид Ирбекович сказал: "Для мгновенных нейтронов разгон слишком медленный, а для запаздывающих слишком быстрый. Но математических решений таких нет". И далее Леонид Ирбекович отметил: "Время жизни запаздывающих нейтронов не могло измениться без серьёзных оснований".

При этом обе версии разгон связывают с увеличением коэффициента реактивности. Официальная версия состоит в том, что поглощение нейтронов водой на порядок больше чем графита. Увеличение доли пара в активной зоне в результате разогрева привело к увеличению реактивности. В следующий момент в результате перегрева произошёл паровой взрыв реактора.

Уруцкоев Л.И. объясняет разгон реактора по другому. (Время видеозаписи 1:10 - 1:22 [1]). "При увеличении % содержания пара в теплоносителе нейтроны замедляются менее эффективно и их скорость возрастает. А при возрастании средней скорости нейтронов сечение деления слегка увеличивается и мощность реактора возрастает". Здесь Леонид Ирбекович видимо оговорился. Сечение нейтронного захвата обратно пропорционально скорости нейтронов - это одна из главных закономерностей нейтронной физики и теории реакторов деления.

Обе версии и на мгновенных и на запаздывающих нейтронах не соответствуют кривой разгона Кружилина. Что же не позволяет составить математические модели развития ситуации с разгоном реактора? А причина ущербности этих моделей состоит в том, что они учитывают только закономерности ядерной физики и не учитывают действия эксплуатационного персонала.

Как мне видится развитие ситуации с разгоном реактора, отталкиваясь от моего инженерного опыта? Я более 10 - ти лет отработал на тепловых электростанциях. Работал непосредственно на эксплуатации и затем много лет занимался пуско наладочными и режимно наладочными

испытаниями на тепломеханическом оборудовании. Не понаслышке знаю что такое аварийные ситуации и правила поведения персонала в такой обстановке.

Обращаю внимание читателя на принципиальной важности сообщение Просвирнова А.А., [2], а так же [4, 5] о помпаже ГСН. Это и явилось спусковым крючком для последовательности роковых событий.

И так снижение мощности до 300 Мвт шло штатно. После этого произошло резкое снижение мощности реактора с 300 Мвт до 200 Мвт. Резкое снижение мощности реактора с 300 Мвт до 200 Мвт произошло по причине помпажа циркуляционных насосов. Но это было кажущееся снижение мощности реактора. На самом деле этого не было. Из-за помпажа (резкое вскипание воды в насосах по причине кавитации) 8-ми циркуляционных насосов системы охлаждения, они резко снизили перекачку воды по системе охлаждения реактора. Насосы стали колотить сами на себя перегоняя пар с напора на всас. Это и стало причиной сильного звука со стороны турбинного цеха. Так как расход воды в системе охлаждения резко сократился, то приборы показали резкое снижение тепловой мощности. Тепловая мощность определяется как произведение расхода теплоносителя (воды) на перепад температур. На самом деле реактор продолжал работать на мощности 300 Мвт. Увидев резкое снижение мощности, персонал предпринял действия по восстановлению мощности, чего требуют инструкции. А это поднятие стержней регулирования из активной зоны, что привело к восстановлению мощности по приборам. Но реально это был разгон реактора и какова реальная мощность никто не знал. Вслед за этим последовал взрыв. Таким образом в разгоне реактора нет никаких чудес. Всё соответствует физике на которой построены ядерные реакторы. Разгон произошёл ускоренно в сравнении с расчётами на запаздывающих нейтронах, так как концентрация нейтронов в активной зоне росла за счёт снижения поглощения нейтронов поднятыми стержнями. Обслуживающий персонал реактора нельзя обвинять в наступивших последствиях. Человек не способен за секунды проанализировать огромный объём информации, да ещё в экстремальных условиях. Они стремились восстановить режим. На реакторе имеется ещё дублирующий замер мощности по плотности нейтронного потока. Вопрос остаётся открытым. Или персонал в суматохе не обратил внимание на показания этого прибора или аварийная ситуация повлияла и на его показания.

Так как из-за помпажа насосов отвода тепла практически не было произошло резкое повышение температуры и давления в замкнутом объёме активной зоны реактора. Всё что находилось в корпусе реактора расплавилось. Когда просверлили корпус, то оказалось, что реактор пустой и лишь на дне осталось немного расплава. Резкое возрастание температуры привело к резкому возрастанию давления в объёме активной зоны и системе трубопроводов. Не думаю, что соотношение между паровой и водяной фазами в активной зоне сильно изменилось. С ростом давления растёт и температура кипения. Это ставит под сомнение официальную версию, что увеличение доли пара в активной зоне в результате разогрева привело к увеличению реактивности, разгону реактора и последующему паровому взрыву. Возможно какой то вклад этого явления и был, но не основной. Причиной мощного взрыва стало то, что в реакторе находились перед взрывом тонны перегретой воды. Высоким давлением сорвало крышку реактора. Перепад давлений между активной зоной и атмосферным давлением был огромным (выше критического перепада давлений), что привело к возникновению ударной волны. Это было воспринято как первый, более слабый взрыв. Как отметил один из турбинистов зашевелились бетонные плиты перекрытия в турбинном цехе. Следом из активной зоны в реакторное отделение хлынул высокоскоростной гидродинамический поток из расплава активной зоны, перегретой воды и пара. Высокоскоростной гидродинамический поток обладает свойством эжекции. Это привело ко всасу воздуха их реакторного отделения. Возникло разрежение, чем и объясняется, что все двери вырвало в сторону реактора. С гидродинамическим потоком вынесло много тонн перегретой воды. Перегретая вода накапливает огромную энергию и при резком снижении давления перегретая вода взрывается. Взрыв тонны перегретой воды равносителен взрыву 700 килограмм тротила. В реакторном отделении произошёл взрыв большой разрушительной силы, равносильный взрыву нескольких тонн тротила. Это был второй, очень мощный взрыв, который разрушил здание 4-го реактора и разбросал содержимое активной зоны по территории станции. Против версии

парового взрыва на Чернобыльской АЭС говорит авария на Фукусиме, где произошёл как раз паровой (газовый) взрыв. Взрыв перегретой воды на порядок мощнее парового взрыва. По этой причине разрушения строительных конструкций на Фукусиме не сопоставимо меньше чем на ЧАЭС. Выброс содержимого активной зоны при срыве крышки произошёл настолько быстро и при адиабатном охлаждении объёма реактивной зоны, что краска на внутренних стенках корпуса реактора не пострадала.

В этом и кроется загадка, куда же делось ядерное топливо из активной зоны. При этом главную опасность представляло не само топливо (уран 235, уран 239, наработанный плутоний), а накопившиеся в активной зоне радиоактивные осколки. Именно они обладают сильной радиацией и привели к заражению огромных территорий и массовым заболеваниям ликвидаторов аварии. Вот так одна непродуманная запись в проведение эксперимента, запрещающая отключать излишние мощности ГСН, привела к ещё не виданной техногенной катастрофе.

Теперь немного об оторванных кабелях и гуле со стороны турбинного цеха перед взрывом 4-го блока. Я так понимаю, что Уруцкоев Л.И. этой информацией подводит нас к восприятию своей гипотезы о воздействии электромагнитного импульса на разгон реактора. То, что странный гул раздавался перед взрывом со стороны турбинного отделения не свидетельствует о том, что авария началась в турбинном отделении. Этот гул издавали ГСН, работавшие в нерасчётном режиме. А ГСН находятся между реактором и турбинным отделением. Отрыв кабелей опять же в сторону реактора проще объяснить с помощью инженерной науки «сопромат». Дюбели, забитые в стену со всех сторон от шляпки до острия обтягиваются бетоном. Когда стена под воздействием разрядки выгнулась в сторону реактора, то давление бетона у шляпки ослабло, появился градиент напряжения, который и вырвал дюбели в сторону шляпки. Леонид Ирбекович отмечает, что кабели и щитки в углу остались на месте. Это и понятно. Угол жёсткая фигура и стена здесь не выгнулась. То, что в углу кабели были без напряжения не играет ни какой роли. Напряжение в кабелях здесь не при чём.

В заключение данного раздела отметим.

1. Главной причиной (спусковым крючком) аварии на ЧАЭС послужило включение в программу испытаний решения не отключать ГСН при снижении нагрузки реактора вопреки эксплуатационному регламенту. Это в конечном итоге привело к непреднамеренному рукотворному разгону реактора. Второй по значимости причиной стали конструктивные недостатки в системе управления и защиты. Скорость полного погружения стержней аварийной защиты на РБМК - 1000 четвёртого блока ЧАЭС составляла 18 секунд. Развитие же аварии произошло за 9-ть секунд. По результатам расследования аварии данный конструктивный недостаток был исправлен.

2. Нет оснований волноваться о каких-то не понятных явлениях, которые могут привести к повторению аварии подобной той, что произошла на ЧАЭС. Говорят о влиянии электромагнитного импульса, воздействии землетрясения, о некоей сверх большой трансмутации и т.п. Люди фантазийного склада мышления нагородят много чего.

2. Причины возникновения и последовательность развития аварии на АЭС Фукусима.

Авария на АЭС Фукусима в Японии, началась 11 марта 2011 года. Она была вызвана гигантским цунами, возникшим в результате сильного землетрясения, и стала самой серьёзной аварией на атомной электростанции после чернобыльской в 1986 году. Авария привела к тяжёлым последствиям для населения. Выброс радионуклидов в окружающую среду стал причиной эвакуации более 100 000 человек.

Одним из главных факторов, способствовавших аварии, стало широко распространённое в Японии мнение, что атомные электростанции страны настолько безопасны, что авария подобного масштаба просто немыслима. В результате Япония оказалась недостаточно подготовленной к тяжелой ядерной аварии. Авария на АЭС Фукусима выявила определенные недостатки в японской системе контроля и ответственности. Выявились недостатки в конструктивных особенностях станции, механизмах обеспечения аварийной готовности и реагирования и планах управления тяжелой аварией. [3].

На АЭС Фукусима землетрясение повредило линии электроснабжения на площадке, а цунами привело к значительному разрушению эксплуатационной инфраструктуры, а также инфраструктуры, обеспечивающей безопасность на площадке. В совокупности это привело к потере внешнего энергоснабжения и выходу из строя источников электроснабжения на площадке. Это, в свою очередь, привело к утрате функции охлаждения на трех работавших реакторных блоках, а также в бассейнах выдержки отработавшего топлива.

Несмотря на усилия операторов АЭС, направленные на сохранение контроля над станцией, произошел перегрев активной зоны реакторов энергоблоков 1-3, ядерное топливо расплавилось и была нарушена система регулирования и аварийной защиты. Из реакторных корпусов высокого давления произошли выбросы водорода, которые привели к взрывам внутри реакторных зданий блоков, и в результате были разрушены конструкции и оборудование и пострадал персонал станции. Радионуклиды со станции поступили в атмосферу и затем осаждались на поверхности суши и океана. Кроме того, произошли прямые сбросы в море.

После стабилизации состояния реакторов начались работы по подготовке к их окончательному выводу из эксплуатации. [3].

3. Устранение последствий.

Крупные аварии с ядерными реакторами на АЭС порождают огромные сложности по их устранению. Меры, обеспечивающие долгосрочную надежность стабильного состояния, включают:

мониторинг состояний станции и радиоактивной обстановки на прилегающих территориях;
охлаждение топлива и обломков топлива;

сохранение ядерной подкритичности;

обеспечение конструкционной устойчивости зданий реакторов;
обеспечение необходимого электроснабжения;

обеспечение выполнения фундаментальных функций безопасности в течение длительного времени.

К числу наиболее сложных задач относится задача сохранения ядерной подкритичности. Такая проблема возникает в связи с выходом из строя системы регулирования мощности реактора и его защиты от разгона. При расплаве ядерного топлива из-за перегрева активной зоны эта проблема неизбежна. Рабочая мощность реактора консервируется на уровне на момент аварии и ядерная реакция в активной зоне будет продолжаться десятки лет до выгорания топлива. Всё это время должны проводиться оценки и осуществляться мониторинг в целях исключения любой возможности достижения ядерной критичности в массе обломков.

Следует отметить, что ни одна из станций в мире, топливо которых в ходе предыдущих аварий было наиболее сильно повреждено, до сих пор не была переведена в окончательное конечное состояние, пригодное для полного вывода из эксплуатации.

Установки, топливо которых в ходе предыдущих аварий было наиболее сильно повреждено – это Уиндскейл, Три-Майл Айленд, Чернобыль и Фукусима до сих пор не выведены из окончательной эксплуатации. Реактор «Уиндскейл-пайл», поврежденный в 1957 году, находится в состоянии «наблюдения и обслуживания», а окончательный вывод из эксплуатации запланировано начать около 2050 года. Поврежденный в 1979 году блок АЭС «Три-Майл Айленд» находился в режиме безопасного хранения; полный демонтаж и реабилитацию площадки запланировано начать в пределах следующих 20 лет. Четвертый энергоблок Чернобыльской АЭС, сильно поврежденный в результате аварии в 1986 году, находится в процессе перевода в состояние безопасного хранения; окончательный вывод из эксплуатации запланировано начать около 2050 года. По оценкам японских специалистов вывод из эксплуатации 4-х блоков на Фукусиме предполагается завершить примерно за 30-40 лет. [3].

Кроме опасности выхода на критический уровень, которая в принципе угрожает десятки лет, реакторы с расплавленным топливом все эти годы накапливают радиоактивные осколки. Именно радиоактивные осколки создают радиоактивную опасность. Ядерное топливо (уран-235, уран-238, плутоний) имеет фон излучения не намного превышающий естественный фон. В связи с этим

встаёт инженерная задача прекращения ядерной реакции в повреждённом реакторе. Возможный вариант решения этой задачи рассмотрим ниже в пункте - 3.2.

3.1. Устранение последствий на Чернобыльской АЭС.

Особенностью аварии на ЧАЭС является полный выброс содержимого активной зоны из реактора. По этой причине здесь нет проблемы сохранения подкритичности. Характер катастрофичности аварии связан с высоким уровнем радиоактивного заражения огромных территорий. Особенно территории ЧАЭС и прилегающих к ней территорий. За прошедшее время всё возможное для защиты от радиации уже сделано. К тому же начальный, самый опасный период высокого уровня радиации, за 37 лет значительно снизился. Полное и окончательное устранение последствий аварии на Чернобыльской АЭС теперь определяет только время.

3.2. Устранение последствий на АЭС Фукусима.

На АЭС Фукусима предприняты все возможные на сегодня меры по устранению последствий аварии. Затрачены большие средства, но проблема охлаждения реакторов в связи с течением ядерных реакций в повреждённых реакторах остаётся актуальной. Большие объёмы накопленной радиоактивной воды приходится периодически сбрасывать в океан. И с имеющимся на сегодня арсеналом решений по устранению аварий на АЭС это будет продолжаться до выгорания ядерного топлива, т.е. десятки лет. Необходимо остановить течение ядерных реакций. Это возможно только внесением в активную зону материалов сильно поглощающих нейтроны (кадмий, карбид бора и др.). Прототип такой технологии уже десятки лет используется нефтяниками и газовиками. Это технология врезки новых отводов в действующие нефте и газопроводы. Освоенные нефтяниками и газовиками технологии обеспечивают герметичность при производстве работ. Необходимо доработать эту технологию для работы со стальным корпусом реактора и в активной зоне с расплавленным топливом. Технологическая последовательность включает подготовку необходимого количества отверстий в корпусе реактора. Внесение через отверстия нейтрон поглощающих стержней в засверленные в активной зоне полости или методом вдавливания в активную зону. При этом особое внимание необходимо уделять сохранению подкритичности. Желательно все эти работы максимально роботизировать. После остановки ядерной реакции приступать к извлечению и утилизации содержимого активной зоны. Эта технология позволит быстро нейтрализовать аварийный реактор с расплавленным топливом и исключит наработку в течении десятков лет новых радиоактивных осколков. На Фукусиме будет так же снята проблема с большими объёмами радиоактивной воды.

В аварии на АЭС Фукусима так же как и в аварии на Чернобыльской АЭС явно выражен негативный человеческий фактор. Он проявился при выборе площадки под АЭС и не учёте проектировщиками природных факторов. Но нельзя обвинять в этом ни проектировщиков, ни участников аварий. Многие из этих людей заплатили жизнями за печальный опыт, сопровождающий прогресс, особенно на начальных стадиях освоения новых технологий.

Выводы:

1. Необходим усиленный контроль за процессом проектирования и ввода в эксплуатацию новых АЭС со стороны МАГАТЭ. Это надо думать уже сделано.
2. Необходим полный перевод работы АЭС в автоматический режим. Замена человека на ИИ. Исключение (техническая невозможность) отключения всех видов автоматики безопасности в любых мероприятиях и ситуациях.
3. В странах с крупным объёмом ядерных энергетических мощностей иметь специальную технику для принудительного гашения реакции деления в условиях расплава ядерного топлива или других ситуаций с выходом из строя автоматики регулирования и аварийного останова реактора.

Литература:

1. Уруцкоев Л.И. Ретроспективный взгляд на Чернобыльскую аварию. Доклад на вебинаре Климова - Зателепина. 10.05.2023 год. Режим доступа:

- <http://lenr.seplm.ru/seminary/videozapis-doklada-urutskoeva-li-na-vebinare-klimova-zatelepina-10-maya>
2. Уруцкоев Л.И. "Землетрясение" на Чернобыльской АЭС. Доклад на вебинаре Климова - Зателепина. 13.09.2023 год. Режим доступа:
<http://lenr.seplm.ru/seminary/vebinar-1-sessii-osen-zima-2023-seminara-klimova-zatelepina-budet-prokhodit-13-sentyabrya-2023-sreda-s-1600>
3. Авария на АЭС «Фукусима - дайти». Доклад Генерального директора МАГАТЭ.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1710/Languages/Russian.pdf>
4. Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности. (INSAG-7, Чернобыльская авария: дополнение к INSAG-1). //Международное агенство по атомной энергии, Вена, 1993г.
5. Доклад экспертов для МАГАТЭ по Чернобыльской аварии. // Атомная энергия, Т.61, вып.5, ноябрь 1986 г. Режим доступа: <http://accidont.ru/expert.html>