

## **РЕЦЕНЗИЯ ЯДЕРНОЙ РЕГУЛЯТИВНОЙ КОМИССИИ США НА СТАТЬЮ «ОСЛАБЛЕНИЕ ОПАСНОСТИ ОТ ХРАНЯЩЕГОСЯ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ В США»**

В предыдущем выпуске (том 11, выпуск 1) мы опубликовали статью Альвареца и др. «Ослабление опасности от хранящегося отработанного топлива энергетических реакторов в США». В ответ на приглашение редактора, направленное председателю Ядерной регулятивной комиссии (ЯРК), комиссия обнародовала сейчас критическую рецензию на эту статью и направила ее в наш журнал для публикации. Мы публикуем рецензию в данном выпуске одновременно с ответом авторов оригинальной статьи.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сотрудники ЯРК просмотрели статью Роберта Альвареца и др. «Ослабление опасности от хранящегося отработанного топлива энергетических ядерных реакторов США» от 21 апреля 2003 г. (опубликованную в журнале «Наука и всеобщая безопасность», т.11, вып.1, 2003 г.) и пришли к выводу, что в ней не удалось предоставить доказательства в поддержку основных рекомендаций.

Основной аргумент статьи заключается в следующем: риск и потенциальные общественные затраты от нападения террористов на бассейны с отработанным топливом АЭС оправдывают сложные и дорогие меры по улучшению безопасности хранения топлива. Представленная в статье главная рекомендация состоит в удалении всего отработанного топлива, охлаждавшегося более пяти лет, из бассейнов для хранения, помещении этого топлива в контейнеры сухого хранения и переделке бассейнов с отработанным топливом для хранения оставшегося топлива в открытой конструкции – все это оценивается в 3.5-7 миллиардов долларов. Связанные с этим предложением выгоды обусловлены тем, что количество отработанного топлива, хранящегося в бассейнах, значительно уменьшается (по оценкам, в четыре раза), а оставшееся топливо может при хранении в открытой конструкции оставаться способным к охлаждению, даже если из бассейна исчезнет вся вода. Обсуждаются также дополнительные меры для улучшения охлаждения топлива и снижения риска серьезных аварий в бассейне с отработанным топливом.

Статья страдает от избыточного консерватизма (то есть, занижения параметров) при оценке затрат и результатов. Поэтому рекомендации по ускоренной программе сложных и дорогих мер не имеют разумной технической базы. В Соединенных Штатах отработанное топливо (как в сырой, так и в сухой конфигурации) остается безопасным и приняты меры по адекватной защите населения.

### **АНАЛИЗ**

В нашем отзыве на статью указывается, что данное исследование опасностей, связанных с хранением отработанного топлива, проведено недостаточно полно. Многие из 114 ссылок – это исследования ЯРК или работы по контрактам ЯРК, проведенные по разным причинам, но большую их часть нельзя применить к нападению террористов. Некоторые исследования по своему характеру подходят для этой темы, другие связаны с конкретными АЭС, но все они основываются на предположениях, которые, как кажется, не были достаточно рассмотрены авторами. Например, авторский анализ общественных затрат базируется на проведенном в 1997 г. исследовании Брукхейвенской национальной лаборатории (БНЛ), которое было выполнено с учетом размещения реакторной площадки в условиях очень высокой плотности проживающего в окружающем районе населения, что не является типичным усреднением для всей атомной промышленности. Однако, авторы предполагают, что это характерная площадка, подходящая для широких оценок промышленных затрат и результатов. В другом примере авторы приводят долю выброса цезия-137 из публикации

ЯРК. Но выбранная в публикации ЯРК величина была признана ограниченным предположением, не основанным на анализе, В строгих научных исследованиях с осторожностью изучаются прошлые данные и анализы. Они внимательно оцениваются и только затем наступает время для заключений, основанных на фактах, к которым в случае необходимости добавляются данные или анализы.

Анекдотическая информация разбросана по всему исследованию. Впрочем, во многих случаях она оказывается недостаточной или рассматривается вне контекста. Например, укажем на приведенные в статье способы удаления воды из бассейна, связанные с кипением воды под действием горения топлива реактивного самолета. В статье признается, что при горении топлива реактивного самолета только относительно небольшая доля тепла падает в бассейн. Но все же статья утверждает, что при сгорании 30 кубометров керосина выделится достаточно тепла, чтобы испарить 500 тонн воды. Это соответствует теоретическому 100-процентному поглощению выделившейся энергии для испарения указанной массы воды, что является исключительно неправильным истолкованием ожидаемого физического поведения. Даже сделав подобное неверное предположение, авторы не удосуживаются отметить, что для типичного бассейна потеря 500 тонн воды соответствует всего лишь умеренному понижению уровня воды, когда топливо остается надежно укрытым достаточным запасом воды. Упоминание о потенциальной опасности в этом случае, когда предполагается испарение воды из бассейна с отработанным топливом при горении керосина реактивного самолета без объяснения ожидаемых последствий (а в данном случае последствий нет) – это введение в заблуждение.

Кроме того, статья не пытается сравнивать риски, связанные с хранением отработанного топлива, и риски, связанные с другими критичными общественными инфраструктурами, например, с хранением опасных материалов. Без рассматривания рисков, связанных с хранением отработанного топлива, в контексте с другими рисками нет большого смысла для проведения анализа затрат и результатов, а также для предложения решения.

Сотрудники ЯРК прорецензировали статью и пришли к выводу, что она страдает от значительных ошибок. Мы определили четыре крупные области, где авторы ввели (на основе собственного анализа или на процитированных выводах из предыдущих исследований) нереалистичный консерватизм в свои оценки риска, а также затрат и результатов: 1) отсутствие оправдания постулированных вероятностей самого худшего повреждения бассейна с отработанным топливом; 2) переоценка выброса радиации; 3) переоценка последствий и социальных затрат при постулированных серьезных событиях; 4) недооценка затрат на главные рекомендации авторов. Каждая из этих областей обсуждается ниже.

### **Отсутствие оправдания постулированных вероятностей самого худшего повреждения бассейна с отработанным топливом**

В статье нет вероятностного анализа возможности нападения террористов, приводящего к серьезному ущербу для бассейна с отработанным топливом и для самого топлива. Вместо этого в статье приводится комментарий сотрудников ЯРК по поводу того, что «не существует установленных методов количественных оценок возможностей саботажа на ядерном предприятии». (Терроризм и саботаж приводятся в требованиях ЯРК без количественных оценок их вероятности.) В статье просто приводятся вероятности успеха при нападении, приводящем к самому худшему повреждению топлива и, по мнению авторов, оправдывающем (на основе анализа затрат и результатов) удаление из бассейна более старого топлива, хранение его в сухих контейнерах и хранение остающегося топлива в открытых конструкциях. Авторы приходят к заключению, что если в течение 30 лет набирается 0.7%-ный шанс нападения террористов, приводящего к полному выбросу запасов цезия-137 в отработанном топливе (или примерно 5%-ный шанс нападения террористов, приводящего к утечке 10% запаса цезия-137 в отработанном топливе), то, согласно их оценке, оправданы затраты в размере 3.5-7 миллиардов долларов на перемещение более старого отработанного топлива в контейнеры, но авторы не предоставляют никакого основания для приведенных вероятностей.

Авторы предполагают при обсуждении различных угроз бассейну с отработанным топливом, что процитированные вероятности нападения, приводящего к самому худшему повреждению топлива, являются разумными. Конкретно, при обсуждении потенциального на-

падения террористов с использованием большого самолета в статье цитируются прошлые исследования ЯРК, где *предполагалась* высокая условная вероятность того, что турбинный вал большого самолета проникнет в бассейн с отработанным топливом и осушит его, если самолет ударится о бассейн. Цитируется еще одна ссылка на упрощенную модель проникновения сквозь железобетон в поддержку точки зрения, что проникновение «нельзя исключить».

Прошлые доклады ЯРК, на которые приводятся ссылки (NUREG/CR-5042, «Оценки экстремальных опасностей для АЭС в США» и NUREG-1738, «Техническое исследование риска аварии в бассейне с отработанным топливом для выведенных из эксплуатации АЭС») применяли очень консервативные *предположения* относительно условной вероятности проникновения в бассейн турбинного вала большого самолета. Это было сделано отчасти потому, что риск оказывался приемлемо низким даже при таких консервативных предположениях, а более детального анализа в то время не требовалось. Но при оценке потенциальной уязвимости бассейна с отработанным топливом к событиям, связанным с террористами, использование такого очень высокого консерватизма неуместно и приводит к вводящим в заблуждение результатам.

После нападений 11 сентября 2001 г. ЯРК поддерживала дополнительные исследования, направленные на изучение проникновения турбинных валов двигателей самолетов сквозь бетонные структуры. Были проведены анализы с использованием как детального физического моделирования, так и экспериментально обоснованных моделей, разработанных в Сандийской национальной лаборатории и в Инженерном корпусе Армии США. Эти модели были специально разработаны для оценки проникновения прочных налетающих тел в разные материалы при различных размерах, скоростях и ориентациях. Хотя анализы еще продолжаются и конкретные результаты засекречены, общие выводы явно указывают на то, что предыдущие допущения о вероятности проникновения турбинного вала самолета преувеличены на порядки величины. Последние улучшенные расчеты сохраняют значительный, но все же реалистичный консерватизм. Например, в анализе не рассматривается, вообще говоря, благоприятное влияние стального вкладыша внутри бассейна или влияние самой воды в бассейне на усиление бетонных стен. Эффект от таких преувеличений заключается в дальнейшей поддержке вывода, что предыдущие предположения о проникновении турбинного вала двигателя сквозь стену бассейна слишком консервативны для реалистичной оценки. Поэтому анализы, основанные на таких предположениях (как делается в рассматриваемом исследовании), когда поддерживаются суждения об условной вероятности аварий в бассейне из-за нападения террористов с применением большого самолета, не отражают реальных структурных возможностей бассейнов АЭС для отработанного топлива.

Авторы намекают различными иными способами, как террористы могут напасть на бассейн с отработанным топливом, чтобы оправдать свои постулированные вероятности вызванного террористами события, приводящего к осушению бассейна с отработанным топливом (от 0.7% до 5% за тридцатилетний период). Однако, поступая таким образом, авторы статьи не доверяют адекватно ни физическим особенностям бассейнов, ни окружающей такие бассейны с отработанным топливом охране, не имеющей себе равной среди других наших общественных инфраструктур. Нельзя легко проникнуть к бассейнам с отработанным топливом на АЭС и нельзя легко пробить в них бреши. Напротив, это прочные структуры, сделанные с очень толстыми железобетонными стенами и с вкладышами из нержавеющей стали. Кроме того, другие конструктивные элементы таких бассейнов, не проанализированные в статье, могут придать им значительную стойкость к повреждению и могут увеличить способность справиться с любыми повреждениями. В число таких характеристик могут входить размещение части топлива (или всего топлива) ниже уровня грунта и защита бассейна другими структурами АЭС.

Вероятность нападения террористов не может быть надежно установлена на основе современной методологии и любая попытка количественной или даже качественной оценки вероятности нападения террористов оказывается весьма гипотетической [см. Private Fuel Storage, L.L.C. (Independent Spent Fuel Storage Installation), CLI-02-25, 56 NRC 340, 350 (2002)]. Тем не менее, бассейны с отработанным топливом на работающих АЭС защищены прочными лицензированными мерами безопасности, которые еще более усилились в результате распоряжений ЯРК от 25 февраля 2002 г. и 29 апреля 2003 г. (детали распоряжений носят закрытый характер). Еще до 11 сентября 2001 г. лицензии предусматривали мно-

жественные барьеры и датчики, хорошо вооруженную и тренированную охрану, готовую защищаться с подготовленных позиций. Распоряжения от 25 февраля 2002 г. и 29 апреля 2003 г. усилили эти возможности благодаря требованиям увеличить число патрулей, усилить службу безопасности, ввести дополнительные посты охраны, удалять автомашины на большее расстояние, чаще проводить тренировки, готовиться к защите от более крупных конструктивных угроз и увеличить сотрудничество с властями, следящими за выполнением законов. Короче говоря, комиссия полагает, что сочетание физических особенностей и безопасности бассейнов с отработанным топливом делают их весьма устойчивыми к нападению террористов.

### **Переоценка выбросов радиации**

При оценке повреждения топлива статья снова ссылается на прошлые исследования ЯРК, где с большим запасом *предполагались* конструкции бассейнов для анализа охлаждения и столь же консервативно *допускалась* степень выброса радиации. В докладе БНЛ «Серьезные аварии в бассейнах с отработанным топливом как поддержка вопроса общей безопасности (NUREG/CR-4982) *предполагалось*, что 10-100% цезия-137 выбрасывалось в атмосферу. Аналогично в работе NUREG-1738 исходный вариант *допускал* выброс 75% всего запаса цезия-137. Предположение о столь крупном выбросе в работе NUREG-1738 было большим преувеличением, но терпимым для целей этого исследования. Впрочем, это ни реалистичная оценка, ни подходящее предположение, относящиеся к вопросам безопасности, где требуется реализм. Текущие исследования, направленные на эти вопросы, включают в себя более детальный реалистичный анализ теплового поведения топлива в результате сценариев потери воды и более детальный реалистичный анализ выброса радионуклидов при тех сценариях, где не поддерживается адекватное охлаждение. На основе предыдущего анализа мы приходим к выводу, что отработанное топливо в бассейнах более легко охлаждается даже в случае полной потери воды. Далее, предварительный анализ указывает, что предыдущие оценки ЯРК относительно величины выбросов продуктов деления очень завышены, примерно на порядок величины. В более ранних исследованиях ЯРК применялись большие запасы прочности в характерных расчетах наряду с упрощенным моделированием.

Более того, статья вообще не доверяет возможному вмешательству операторов для исключения раскрытия топлива или обеспечения аварийного охлаждения отработанного топлива, хотя она признает в ряде случаев наличие очень большого срока, когда перестают действовать эффекты охлаждения. В нашем ведущемся сейчас анализе предполагается, что операторам доступны более длительные, чем оценивалось ранее, сроки для вмешательства и восстановления водного режима, чтобы топливо с уверенностью оставалось охлажденным.

Национальный исследовательский совет в своем докладе за 2002 г. «*Сделать страну более безопасной: роль науки и технологии в противодействии терроризму*» пришел к следующему выводу: « Угроза нападения террористов на установки для хранения отработанного топлива, как и на реакторы, сильно зависит от характеристик конструкции. Более того, отработанное топливо выделяет на порядки величины меньше тепла, чем работающий реактор, так что аварийное охлаждение топлива при нападении можно осуществить мерами, требующими 'низкой технологии', а это можно сделать без значительного облучения сотрудников.» Комиссия согласна с этим заявлением и в своем распоряжении от 25 февраля 2002 г. рекомендует лицам, получившим лицензии, разрабатывать руководства и стратегии для возможностей поддержания или восстановления охлаждения бассейнов с отработанным топливом на основе имеющихся или доступных ресурсов.

### **Переоценка последствий и общественных затрат для постулированного серьезного события**

Анализ авторов о заражении почвы при постулированном серьезном вредном событии соответствует диапазону выброса цезия-137 в 3.5-35 мекюри (МКи), но оценки затрат, приведенные в статье, взяты из доклада БНЛ 1997 г., где предполагалось, что выброс цезия-137 составлял 8-80 МКи. Исследование БНЛ проводилось для расположения реакторной

площадки с исключительно высокой плотностью населения в окружающем районе, что *не* является представительным для атомной промышленности в среднем. Но авторы допускают, что это типичная площадка, подходящая для широкой оценки риска от постулированном ими серьезного события. Применение характеристик площадки из доклада БНЛ вместо усредненного значения с учетом всех площадок сдвигает уровень экономического воздействия и общественных затрат постулированного события с наихудшим повреждением топлива в 5-10 раз. Более того, если производятся оценки для конкретной площадки, надо обращаться к конкретным особенностям площадки, которые смягчают повреждения бассейна и любые крупные утечки, включая положение бассейна или размещение топлива ниже уровня грунта и экранировку бассейна окружающими структурами. Когда приняты во внимание смягчающие характерные индивидуальные особенности, средние экономические воздействия и общественные затраты постулируемого события с серьезным повреждением топлива окажутся еще более уменьшенными.

### **Недооценка затрат на главные рекомендации**

Статья оценивает затраты на удаление постаревшего топлива из бассейнов и помещение его в контейнеры в размере 3.5-7 миллиардов долларов. Мы пришли к предварительному заключению, что оценка авторов занижена, по крайней мере, вдвое, если рассматривать затраты на модификацию бассейнов с отработанным топливом, на конструирование и постройку установок для сухого хранения, на поставку контейнеров сухого хранения, на загрузку контейнеров и транспортные расходы. Более того, статья не касается ни радиационного облучения сотрудников, которое связано с перемещением, удалением и замещением находящихся в бассейне подставок с отработанным топливом, ни дополнительного риска от таких манипуляций.

### **Факты, говорящие о безопасности бассейнов с отработанным топливом**

Повторим еще раз перед тем, как завершить рецензию, что надежность и безопасность бассейнов с отработанным топливом обеспечивается рядом физических структур, операционных мер и барьеров безопасности, которые беспрецедентны для гражданских инфраструктур в США:

- Бассейны с отработанным топливом на АЭС – это прочные структуры, сооруженные с очень толстыми железобетонными стенками и имеющие вкладыш из нержавеющей стали, который помещен внутри защищаемых участков.
- Многие из бассейнов с отработанным топливом сконструированы так, что бассейн и отработанное топливо находятся ниже уровня грунта, многие защищены другими структурами и многие имеют промежуточные стены, препятствующие ударам от самолетов или других объектов.
- В бассейнах с отработанным топливом находится громадное количество воды, а отработанное топливо в бассейне выделяет гораздо меньше тепла, чем действующий реактор. В результате в случае большинства событий (например, потеря охлаждения или небольшие утечки) у операторов окажется достаточно времени, чтобы скорректировать проблему или осуществить ремонт, необходимый для восстановления охлаждения.
- Кроме воды в бассейне с отработанным топливом у АЭС имеется много других источников воды, которые легко доступны и могут быть использованы в качестве запасной подпитки бассейна с отработанным топливом.
- После 11 сентября 2001 г. были предприняты дополнительные меры для уменьшения вероятности нападения террористов и для дальнейшего улучшения возможностей АЭС оказывать сопротивление нападению и устоять при нем. В число этих мер входят конкретные усовершенствования, связанные со стратегиями защиты от наземных нападений на бассейны с отработанным топливом. Кроме того, ЯРК дала указание владельцам лицензий разрабатывать правила и стратегии для поддержания и восстановления охлаждения в бассейне с отработанным топливом, используя имеющиеся или доступные ресурсы, если охлаждение потеряно по любой причине.

- Доступ к бассейнам с отработанным топливом требует прохождения через множество физических барьеров, которые должны обладать достаточной прочностью и обеспечить высокую степень уверенности в защите здоровья населения и надежности от радиологического саботажа. Попытка проведения радиологического саботажа в бассейне с отработанным топливом приведет к ответным действиям охраны, которые нейтрализуют угрозу. Более того, федеральное правительство предприняло многочисленные действия за последние 18 месяцев, чтобы помешать террористам применять крупные самолеты, уменьшая тем самым возможность нападения на все критичные инфраструктуры в результате подобных угроз.
- Сейчас продолжают анализы с использованием обновленных умеренно консервативных методов. Более подробное знакомство с этими более реалистичными анализами указывает на следующее:
  - отработанное топливо, хранящееся в бассейнах, легче охлаждается, чем предсказывалось в более ранних исследованиях ЯРК,
  - последствия такой аварии окажутся гораздо менее серьезными, чем оценивалось раньше,
  - выброс радионуклидов окажется намного меньшим (по крайней мере, в 10 раз для рассмотренных сценариев), а выброс радиоактивности начнется позже, чем оценивалось раньше, а это обеспечит более длительные сроки для осуществления эффективных защитных мер, например, эвакуации, приведет к ослаблению влияния на здоровье и уменьшит заражение почвы.

### **Заключение**

Если подвести итоги, мы приходим к выводу, что авторская оценка возможных аварий в бассейне с отработанным топливом, проистекающих в результате потенциальных нападений террористов, не рассматривает такие события в реалистичном виде. Во многих случаях авторы полагаются на исследования, где были сделаны слишком консервативные предположения или же в качестве основы применялись упрощенные и очень консервативные модели. Применение этих ранних исследований, большая часть которых выполнена самой ЯРК или по ее контрактам, приводит к излишне консервативным и вводящим в заблуждение результатам при оценке потенциальной уязвимости бассейна с отработанным топливом к террористическим действиям. Полное влияние объединенного консерватизма в обсужденных четырех крупных областях на приведенные в статье расчеты затрат и результатов для основной рекомендации составит порядки величины. С учетом всего этого ЯРК не верит, что фундаментальные рекомендации статьи, а именно, что все отработанное топливо с возрастом более пяти лет надо поместить в сухие контейнеры в ходе ускоренной десятилетней программы, стоящей многие миллиарды долларов, вообще обоснованы. Отработанное топливо, которое хранится как в сырых, так и в сухих конфигурациях, безопасно и существуют меры, которые адекватно защищают население.