

[Наука и всеобщая безопасность](#)  
[Том 12, номер 3 \(май 2005 г.\)](#)

---

**Письма в редакцию**

---

Приведенный ниже обмен письмами связан с двумя статьями, помещенными в последних выпусках журнала. Это «Ослабление опасности от хранящегося отработанного топлива энергетических реакторов в США» Роберта Альвареца, Яна Бейеа, Клауса Янберга, Юнгмина Канга, Эда Лаймана, Аллисона Макферлейна, Гордона Томпсона и Фрэнка фон Хиппеля, опубликованная в первом выпуске 11-го тома журнала «Наука и всеобщая безопасность» (2003 г.) – в дальнейшем она называется «Ослабление опасности», а также «Ущерб от большого выброса цезия-137 в атмосферу США» Яна Бейеа, Эда Лаймана и Фрэнка фон Хиппеля, опубликованная во втором выпуске 12-го тома журнала «Наука и всеобщая безопасность» (2004 г.) - в дальнейшем она называется «Ущерб от большого выброса».

**Замечания**

Уважаемый редактор,  
Приложение «Ущерб от большого выброса» является ценным ответом на критические замечания относительно плотности населения, которая была выбрана при ранее постулированных последствиях выброса цезия. Пересмотренные последствия для здоровья и экономики оказываются значительно меньшими – количество скрытых несчастных случаев в 44 раза меньше по сравнению с ранее рассмотренным случаем стопроцентного выбро-са. На дополнительную критику, не учтенную в этом приложении, ответил соавтор профессор Фрэнк фон Хиппель на встречах в Национальной академии наук. Он правильно утверждал, что «частичная разгрузка бассейна может оказаться недостаточной». Если достаточно большие усилия способны достигнуть дна массивной структуры отработанного топлива, они с большой вероятностью смогут разрушить находящееся рядом отработанное топливо и помешать адекватному воздушному охлаждению. Как упомянул фон Хиппель, могут потребоваться «разбрызгиватели воды», чтобы проникнуть через поврежденное топливо или иные обломки. Он также определил, что «следует разработать стратегии восстановления», чтобы справиться со смертельными уровнями радиации над бассейном. Кроме того, стратегия быстрого восстановления может оказаться необходимой для предотвращения окисления циркония в верхнем слое топлива. Расчетная температура воздуха на выходе составляет 900 градусов Цельсия, а расположенный рядом цирконий может быть еще горячее. При температуре 920 градусов для полного окисления циркония потребуется всего 15 минут. Смотрите приложение [55] к последнему варианту статьи «Ослабление опасности».

Если только эти уязвимые места не будут преодолены в пересмотренной конструкции, то относящаяся к преимуществам часть приведенного в дополнении анализа стоимость-эффективность останется под вопросом. Сам фон Хиппель не предложил стратегию восстановления, но очевидным выбором окажется повторное заполнение бассейна водой. Водные системы обладают преимуществами по сравнению с воздушными с точки зрения затрат, теплопроводности, уменьшения источников, уязвимости и восстановления. Фон Хиппель обратил также внимание, что «может не оказаться необходимым пройти весь путь назад до открытой упаковки». Если анализ теплопереноса покажет, что приемлемо удаление только 20% запасов цезия (см. рис. 2 из «Ущерб от крупного выброса»), затраты будут меньше, чем при предложенном поначалу удалении 75% запасов. Впрочем, понижение затрат таким образом имеет склонность к отказу от предложенного авторами начального преимущества в виде уменьшенных запасов цезия. Приемлемый результат при анализе теплопроводности кажется вероятным, если применять про-грамму MELCOR - усовершенствованную программу теплопереноса. Анализ Ядерной регулятивной комиссии (ЯРК), проведенный на основе программы MELCOR, привел к выводу, что « не существует иных мер, нежели удаление топлива и упаковка с меньшей плотностью». Это подразумевает, что приемлемо удаление 0% цезия, то есть нет необходимости в расширенной программе сухих контейнеров для обеспечения адекватной безопасности. Независимые анализы, проведенные при помощи программы MELCOR представителями ядерной промышленности, поддерживают такой вывод. Но вопросами разрушенного топлива и восстановления еще предстоит заниматься.

С учетом явного снижения последствий, необходимости применения водяных систем для преодоления нарушений в схемах воздушного охлаждения и отсутствия потребностей в крупной программе сухих

контейнеров мало остается от начального предложения о воздушном охлаждении, чтобы рекомендовать его. Впрочем, одно преимущество от усилий авторов заключается в поддержке вывода, что постулированные эффекты от событий в области ядерной энергетике в основном определяются экономическими последствиями, а не проблемами здоровья.

Хершель Спектер  
Президент компании RBR Consultants

### Ответ авторов

Уважаемый редактор,

М-р Спектер прав, что количество смертей от рака в результате пожара на бассейне с отработанным топливом, оцененное в докладе Брукхейвенской национальной лаборатории и в приложении к нашей статье «Ослабление опасности» [1], оказалось значительно выше количества, подсчитанного в нашей статье «Ущерб от крупного выброса» [2]. Это произошло в результате замены радиального распределения плотности населения на усредненные значения, что значительно сократило численность населения за пределами зоны обеззараживания. Впрочем, как мы отметили в «Ущерб от крупного выброса», относительно ограниченный успех попыток обеззараживания после аварии в Чернобыле поставил под сомнение осуществимость достижения теоретических ко-эффективных обеззараживания, которыми мы пользовались и которые оказались ниже реальных почти в восемь раз. Итак, придется либо увеличивать порог годовой дозы при долгосрочной эвакуации, установленный Агентством по защите окружающей среды (а это значительно увеличит дозу облучения населения и число смертей от рака), либо считать под угрозой гораздо большую площадь (а это поднимает экономические последствия значительно выше и так уже больших значений, подсчитанных в «Ущерб от крупного выброса»).

М-р Спектер неправ, считая, что быстрое водяное охлаждение после нападения на бассейн может оказаться необходимым при всех сценариях из-за высокой температуры воздуха. Мы использовали температуру охлаждающего воздуха на выходе из сборки, равную 900 градусам Цельсия, чтобы получить верхний предел на скорость воздуха в том случае, когда его движение определяется конвекцией. Впрочем, если охлаждение такого типа не заблокировано, то даже недавно выгруженное топливо в открытой упаковке или хранимое более года топливо в плотной упаковке не поднимут температуру воздуха выше 565 градусов. Ниже этой температуры окисление топлива будет протекать достаточно медленно, чтобы позволить продленный период воздушного охлаждения [3]. Но поскольку существует много сценариев, где воздушное охлаждение может быть затруднено, в статье «Ослабление опасности» рекомендовались дополнительные меры, например, установка водяных распылителей, что защищает м-р Спектер.

М-р Спектер предпочитает меры, которые окажутся менее дорогими, чем перевод на сухое хранение 80% отработанного топлива из бассейнов с плотной упаковкой, что потребует при возврате к открытой упаковке. Мы не возражаем против уменьшения расходов, если будущие анализы продемонстрируют, что более дешевые меры эффективны для предотвращения пожаров отработанного топлива в большом числе сценариев. В нашей статье мы предложили изучение частичных мер, например, облегчение конвекционного воздушного охлаждения путем удаления каждого пятого элемента топливной сборки. Еще одна, даже более дешевая возможность, которую следует проанализировать, связана с перестройкой структуры отработанного топлива, когда (в пределах возможности) каждая свежая топливная сборка помещается между старыми (более холодными) сборками, которые принимают на себя поток тепла и затем удаляет тепло при конвективном воздушном охлаждении.

Более 25 лет ЯРК не реагировала на доклады, выполненные для нее национальными лабораториями или даже своими сотрудниками, относительно возможности возгорания отработанного топлива. Мы поэтому ожидаем независимого рассмотрения предположений, которые легли в основу расчетов ЯРК и промышленности и о которых упоминал м-р Спектер, относительно поддержки дешевых мер, которые, как считается, помогут избежать необходимости возврата к хранению в открытой упаковке. Мы удовлетворены, что Конгресс прореагировал на статью «Ослабление опасности», поручив Национальной академии наук провести независимое рассмотрение риска и того, как его снизить [4]. Во время подготовки этого письма (июль 2004 г.) Национальная академия наук представила секретный доклад в Конгресс и ведет переговоры с ЯРК о несекретном варианте этого сообщения.

Ян Бейеа, Consulting in the Public Interest, 53 Clinton St., Lambertville, NY 08530; E-mail: jbeyea@cipi.com  
Эд Лайман, Union of Concerned Scientists, 6th Floor, 1707 H St., NW Washington, DC 20006; E-mail: elyman@ucsusa.org

Фрэнк фон Хиппель, Program on Science and Global Security, Princeton University, 221 Nassau St., 2nd Floor, Princeton, NJ 08542-4601; E-mail: fvhippel@princeton.edu

## Примечания и ссылки

1. a) A Safety and Regulatory Assessment of Generic BWR and PWR Permanently Shut-down Nuclear Power Plants, by R.J. Travis, R.E. Davis, E.G. Grove and M.A. Azarm (Brookhaven National Laboratory NUREG/CR-6451, 1997). b) «Ослабление опасности» (см. [29]).
2. «Ущерб от крупного выброса», стр.25.
3. См. [1a], pp.3-4 как основу для выбора температуры 565 градусов, а также «Ослабление угрозы», стр.10 и ссылка [62] для указания методов, которые мы применяли при расчете конвекционного охлаждения. Отметим здесь упущение в ссылке [62], которое привело нас к недооценке полной выгоды от конвективного охлаждения при переходе к хранению с открытой упаковкой: при этом пропадает необходимость в перегородках для контроля над критичностью и обеспечивается пространство вокруг каждой топливной сборки. В результате мы потеряли множитель порядка семи при определении конвективной скорости воздуха из-за уменьшения воздушного трения, а также такой же множитель для теплоемкости воздуха в открытом пространстве на каждую топливную сборку. В результате при заданном росте температуры конвективное воздушное охлаждение на каждую топливную сборку оказывается примерно в 50 раз выше для открытой упаковки, чем для конфигурации с плотной упаковкой.
4. Conference Report, Making appropriations for energy and water development for the fiscal year ending September 30, 2004, and for other purposes, House Report 108-357, Nov. 7, 2003, p.191; смотрите также последующие инструкции для ЯПК в Energy and water development appropriations bill, 2005, House Report 108-554/ June 24,2004, p.163.

---

[Содержание предыдущих выпусков](#)

*Последнее изменение: 25.04.2005*