

ЧЕРНОБЫЛЬ: ЛЕТ СПУСТЯ *семь*

Чернобыльскую аварию часто называют «наихудшей аварией в мире». Возможно, более правильно будет назвать ее «наиболее неверно истолкованной аварией в мире».

Дж. Джованович родился 30 июля 1928 года в Белграде. Окончил Белградский университет по специальности «Ядерная физика и физика высоких энергий». Работал в ведущих ядерных научно-исследовательских центрах: Брукхейвенской национальной лаборатории (США), Вашингтонском университете, Лаборатории ядерной физики в Оксфорде, ЦЕРНе. С 1979 года по настоящее время — профессор кафедры физики в Университете провинции Манитоба (Виннипег, Канада). Основная область деятельности — исследования свойств элементарных частиц и их взаимодействий. Член Американского физического общества и Канадской ассоциации физиков.

После аварии в Чернобыле опубликовал ряд полемических статей, отражающих профессиональный взгляд автора на саму аварию и ее последствия. В феврале 1989 года побывал в Чернобыле и с тех пор еще дважды посетил бывший СССР.

По мнению ученого, в ядерной энергетике много проблем, но их решение не должно ложиться только на узкую группу профессионалов, работающих за закрытыми дверьми. Необходимо включение общественности в процедуру решений конкретных задач развития атомной энергетики, но общественность при этом должна быть хорошо информирована. Участие же неинформированной или дезинформированной общественности может принести только вред при необходимости принятия рационального решения. Профессор Дж. Джованович рассматривает развитие ядерной энергетики как необходимое условие устойчивого развития общества; но, при этом считает, что средства массовой информации и общественность должны быть более подготовлены по проблемам атомной энергии и по другим проблемам окружающей среды; учебные заведения, а не средства массовой информации и антиядерные группы, должны играть ведущую роль в образовательной программе; должны расширяться и углубляться международное сотрудничество по всем ядерным проблемам и международный контроль за мирным использованием атомной энергии; ископаемые топлива, как источники энергии, должны быть заменены другими энергоносителями там, где есть альтернатива; особенно должно поощряться использование электроэнергии там, где она может заменить энергию сжигания ископаемых топлив; как можно быстрее должно быть введено полное запрещение на строительство новых электростанций, работающих по принципу сжигания ископаемых топлив; в развитых странах должен быть введен «парниковый налог» на сжигание ископаемых топлив, стимулирующих переход к атомной энергии. Публикую статью Джовановича, мы тем не менее не во всем согласны с автором в части характеристики Чернобыльской катастрофы.

* Публикуется сокращениями.

Дж. ДЖОВАНОВИЧ:

Я рассматриваю Чернобыльскую аварию не просто как очередную серьезную промышленную аварию (вроде взрыва в угольной шахте или утечки ядовитых газов), с которой каждая страна может спраиваться сама, без тесного взаимодействия с другими государствами. Я рассматриваю Чернобыльскую аварию как одну из тех, по существу неизбежных, аварий, с которыми сталкивается любая новая технология. Так как ядерная технология используется практически во всем мире, уроки, которые следует извлечь из Чернобыльской аварии, будут иметь не только локальное, но и мировое значение. По этой причине, а не потому, что радиоактивность вышла за государственные границы (что происходит и с кислотными дождями), я полагаю, что этой аварии следовало уделить особое внимание во всем мире, а не только в Советском Союзе. Полное понимание причин этой аварии необходимо для предотвращения (или точнее, для уменьшения числа) будущих аварий. Полное понимание ее последствий также необходимо, чтобы убедить напуганную мировую общественность в том, что, несмотря на возможность весьма серьезных ядерных аварий, они не угрожают выживанию человечества, как это иногда утверждается. Короче говоря, мы должны научиться не только тому, как избегать таких аварий, но и, если они все же происходят, тому, как при этом жить.

Допустима ли еще одна такая авария?

Противники и многие «слабые» защитники атомной энергетики считают совершенно неприемлемой еще одну аварию типа Чернобыльской. Многие готовы терпеть атомную энергетику, только если ее «правящие круги» дадут железную, абсолютную гарантию, что подобная авария больше не произойдет. Для этих людей Чернобыльская авария неприемлема. С другой стороны, если сравнить эту аварию и ее последствия с другими промышленными авариями и существующей реальностью, эту точку зрения вряд ли можно оправдать.

Официальные источники называют 31 случай смерти, наступивший сразу после аварии — все они среди пожарных или специалистов, работавших на АЭС. По неофициальным заявлениям, сравнительно недавно появившимся в средствах массовой информации, это число следует увеличить до нескольких десятков. В качестве сравнения: официальное число жертв в результате утечки ядовитого газа в Бхопале (Индия) спустя 10 лет возросло до 3403 и все еще продолжает расти из-за увечий, полученных многими людьми, которые так и не оправились от них.

Относительно данных по безопасности ГЭС. В 1926 году в Сент-Франсис (США) число смертельных случаев составило от 426 до 450; в 1959 году в Вега-де-Терра (Испания) — от 123 до 150; в 1961 году Бабий Яр (близ Киев) — 145; в 1963 году плотина Вайонт (Италия) — от 2600 до 3000; в августе 1979 года в Мории (Индия) — 1335 жертв. Добавив еще несколько примеров, получим общее число смертельных случаев примерно от 5700 до

7200 человек. Все эти жертвы пришлись на население, а не на специалистов, знающих о риске, связанном с выполняемой ими работой.

Число отдаленных смертей, вызванных раком (а их будет правильнее рассматривать как отрицательное воздействие на здоровье, как при курении, а не как смертельные случаи в результате аварии), в чернобыльском случае составляет от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч в соответствии с предполагаемой зависимостью между дозой и количеством онкологических заболеваний (этот вопрос будет главной темой следующего раздела). Если предположить, что эта зависимость является квадратичной или что существует некий порог, то это число резко снизится. А если допустить, что низкие уровни радиации оказывают гомеопатическое воздействие на наши организмы, то общий эффект утечки радиации на здоровье людей будет скорее положительным, чем вредным (1), за исключением тех случаев, когда получены высокие дозы. Но какова бы ни была эта зависимость между дозой и ее эффектом, эти замедленные (хронические) последствия аварии должны сравниваться с последствиями для здоровья от других промышленных аварий и видов деятельности, например с загрязнением воздуха. По данным ряда серьезных исследований, при допущении линейной зависимости между загрязнением воздуха и его последствиями только в Северной Америке 50 тысяч человек преждевременно умирают каждый год из-за практикуемого выброса газов, в основном с работающими на угле электростанций.

Что касается того, во что обошлисся авария и меры по ее ликвидации, то последствия действительно велики и, пожалуй, беспредельны. Однако насколько же они велики? Если советскими властями и делался подобный анализ расходов, мне это неизвестно, хотя в западной прессе и упоминалась цифра в несколько миллиардов рублей. В отсутствие официальных данных мы можем попытаться дать собственную, с точностью до порядка величины, оценку. Капитальные затраты на утраченную станцию составляют, допустим, 2 миллиарда долларов, а стоимость укрытия реактора — половина этой суммы. 135 тысяч человек были эвакуированы, а их дома брошены. Стоимость недвижимого имущества и их личной собственности вряд ли может быть больше $1.35 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{10} = 6.7$ миллиарда долларов. Если 50 тысяч человек-лет были затрачены на дезактивацию и ликвидацию последствий в дополнение к работам по укрытию реактора и этим людям выплачивалось по 20 тысяч долларов в год, их заработка плата составит ~1 миллиард долларов. Если все это сложить, можно сказать, что прямые затраты от аварии в канадских долларах за последние 5 лет вряд ли могут превысить 10—15 миллиардов долларов, впрочем, составят и меньшую сумму. Следует также упомянуть и некоторые другие (косвенные) затраты. Например, какова стоимость утраченных сельскохозяйственных земель? Мы могли бы взять среднюю рыночную стоимость такой земли в Канаде, применив ее к Чернобылю. Однако это может быть сочтено неправильным, так как заброшенные земли будут обращены в леса, древесина от которых будет получена лишь через 100 лет, в то время как где-либо в другом месте существующий лес может быть сведен, в площади отведен под сельское хозяйство (в этой части страны леса и сельскохозяйственные угодья существуют бок о бок). Таким образом, на счет аварии следует отнести лишь затраты на сведение леса минус стоимость полученной древесины.

Значительная часть перечисленных выше затрат, разумеется, пришлась на уменьшение радиоактивного облучения населения путем проведения широкой дезактивации и эвакуации людей из районов с превышением допустимых пределов загрязнения. Эти меры призваны снизить теоретическую заболеваемость раком, то есть дать результаты в диапазоне от отсутствия улучшений в здоровье населения (в случае существования порога) до получения некоторых улучшений, которые могут быть теоретически оценены, если брать гипотезу о нали-

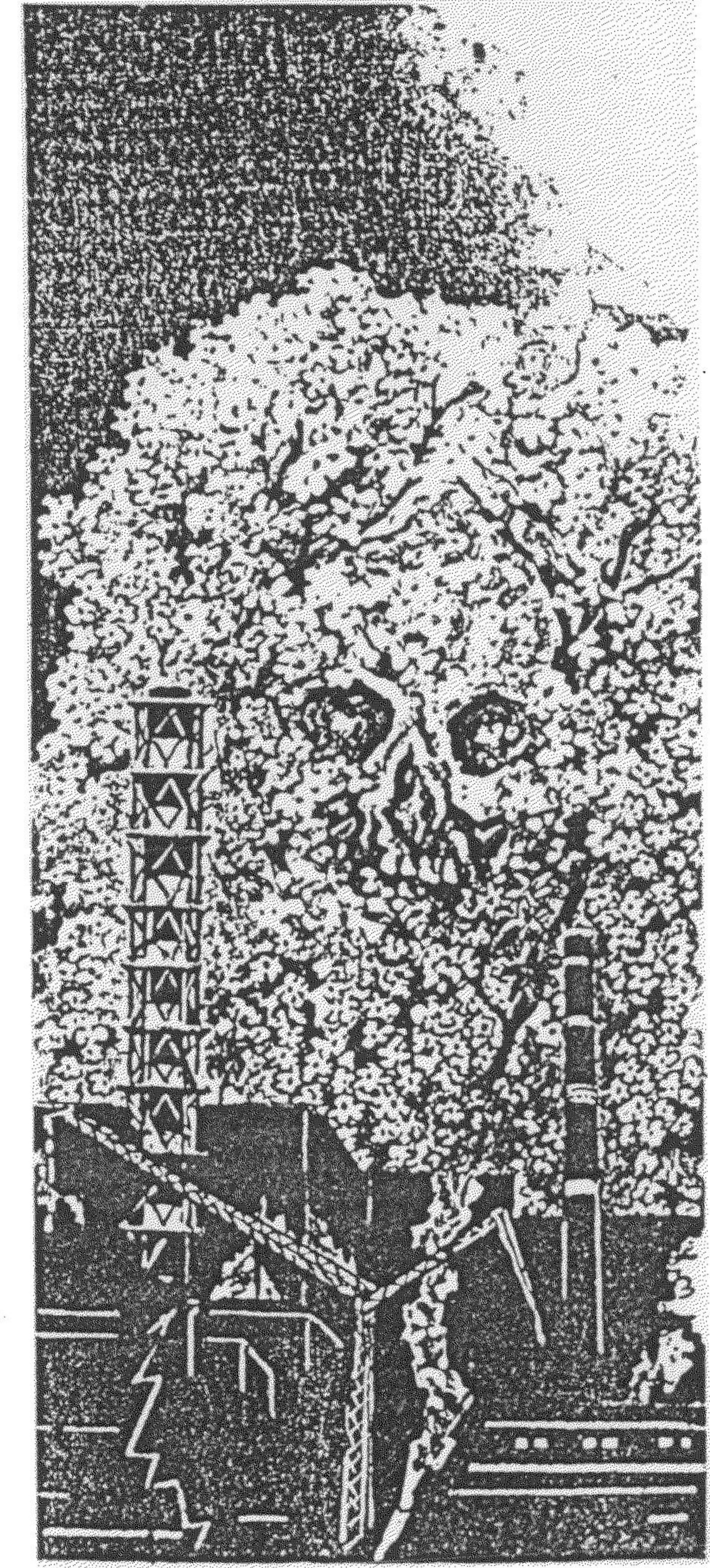


Рис. Недковой М.

Экспертиза

ции линейной зависимости. Могут утверждать, что эти затраты следует сравнивать с затратами на снижение выбросов двуокиси серы со станций на органическом топливе, так как эти меры также направлены на улучшение здоровья населения¹ (и состояния окружающей среды). У меня нет самых последних данных по затратам на борьбу с кислотными дождями. Однако, по оценке специалистов, сокращение выбросов SO_2 в США с 22 до 12 миллионов тонн год без снижения выбросов NO_x , должно обходиться ежегодно в 5,0–7,5 миллиарда долларов США по курсу 1990 года². В связи с тем что, как утверждают, работающие на угле советские станции и другие предприятия не чище своих аналогов в США, трудно сказать, почему их затраты должны быть меньше. И последнее: борьба с техногенными кислотными дождями значительно дороже расчистки после Чернобыльской аварии.

Допускаю, что 1 кВт·ч продается за 0,05 доллара (различные цены выше), годовая сумма продажи электроэнергии в мире оценивается в 500 миллиардов долларов, причем 83 миллиарда долларов — вклад АЭС. В СССР эти цифры составляют соответственно 83 и 11 миллиардов долларов. Сравним это с прямыми затратами, понесенными в результате Чернобыльской аварии, которые, как указывалось выше, составили 2–3 миллиарда долларов в год. Теперь мы можем провести два полярных (противоположных) сравнения. Рассмотрим атомную энергетику в бывшем СССР как коммерческое предприятие с общим объемом продажи на сумму 11 миллиардов долларов и, без страхового полиса. Ясно, что это предприятие обанкротилось бы. На другом полюсе — сравнение в мировом масштабе. Аварии на «Три-Майл-Айленд» и в Чернобыле до сих пор были единственными серьезными авариями в гражданской атомной энергетике мира. Атомная энергетика — молодая, очень сложная технология, которая сейчас дает в мире общий годовой доход ~100 миллиардов долларов, а в странах с атомной энергетикой будет в конечном счете давать >10 000 миллиардов долларов. Уроки, которые следует извлечь из аварии на «Три-Майл-Айленд» и в Чернобыле, пойдут на пользу ядерной технологии, всему миру, а не только фирме «Метрополитэн Эдисон Ко.», эксплуатировавшей реактор «Три-Майл-Айленд», и Минэнерго Украины. В результате научных исследований в области атомной энергетики было создано несколько типов энергетических реакторов, которые в настоящее времярабатывают электроэнергию в промышленных масштабах, однако необходимы и дальнейшие серьезные исследования для создания новых типов реакторов. Таким образом, можно утверждать, что стоимость этих двух аварий и большинства тех, что произойдут в будущем, должна быть «отнесена» на счет затрат на научные исследования и разработки для этой новой и важной технологии. Технологию, которая в конечном счете будет давать доход, по крайней мере вдвое превышающий сумму совокупного общественного продукта США. В этом смысле можно утверждать, что стоимость Чернобыльской аварии невелика, а может быть, и незначительна. Читатель сам может решить, которому из этих двух крайних сравнений (или чему-либо посередине) отдать предпочтение. Я лично предпочитаю мыслить глобально. Долговременное радиоактивное загрязнение является особенностью ядерных аварий. Многократно отмечалось, что несколько тысяч квадратных

километров хороших сельскохозяйственных земель утрачено для производства продуктов питания на десятилетия, а в случае серьезного загрязнения плутонием — практически навсегда. Однако строительство платины на Днепре для производства электроэнергии немногим от этого отличается. Создание огромных водохранилищ на Днепре привело к затоплению даже больших площадей сельскохозяйственных угодий и вывело их из оборота опять-таки, по существу, навсегда. Короче говоря, когда наука ликвидирует заблуждения, связанные с Чернобыльской аварией, и надувательство в средствах массовой информации, станет ясно, что авария вызвала (и будет вызывать) значительно меньший общий ущерб, чем многие другие промышленные аварии и промышленная деятельность. Их мы принимаем как факт, факт того, что Технологической Утопии не существует. Если мы применим те же критерии к Чернобыльской аварии, то она также должна рассматриваться как «допустимая».

Возможна ли еще более серьезная ядерная авария?

Некоторыми людьми выражается опасение, что возможны ядерные аварии тяжелее Чернобыльской. Например, А. Шэфер писал: «Гарантий нет. Они (специалисты по атомной энергетике) говорят: риск невелик. Критики же отвечают, что даже маленький риск для выживания человечества себя не оправдывает».

И еще в той же работе: «...если мы как сообщество ошибемся с атомной энергетикой или если это случится с французами... то уже не одна деревня во Франции и даже не одна Франция, а, возможно, все человечество неизбежно заплатят за это». Как будет показано ниже, эта точка зрения не может иметь под собой никаких научных оснований.

Есть две основных типа аварий на ядерных реакторах: 1) расплавление активной зоны и 2) взрыв при превышении критичности на мгновенных нейтронах — разгон мощности с последующим (взрывным) разрушением активной зоны реактора. Авария на «Три-Майл-Айленд» относится к первой категории, а Чернобыльская авария — ко второй. Хотя расплавление активной зоны может быть значительно хуже того, что имело место на «Три-Майл-Айленд», качественно очевидно, что наихудший вариант расплавления активной зоны по тяжести последствий не может быть «серьезнее» наихудшего «варианта» взрыва.

В настоящее время в мире существуют 4 основных типа энергетических реакторов. Это PWR (легководные реакторы под давлением), BWR (кипящие легководные реакторы), CANDU (тяжеловодные реакторы) и графитовые реакторы (советские РБМК и британские MAGNOX).

В случае взрыва при превышении критичности на мгновенных нейтронах наиболее сильным его эффект будет на советских РБМК и наименее сильным — на реакторах CANDU. Причина заключается в том, что энергия «цепления», необходимая для взрыва реактора, будет присутствовать в наименьшем количестве с CANDU (благодаря множеству тонких каналов под давлением и тонкой внешней оболочке) и в наибольшем количестве — в РБМК (наличие большой массы графита и бочкообразной «оболочки» по бокам и снизу). PWR и BWR находятся где-то между ними, но ближе к CANDU. Таким образом, основные законы физики, а не созданные человеком сложнейшие средства безопасности свидетельствуют о том, что взрыв на любом реакторе PWR, BWR и CANDU никогда не может быть таким сильным, как в Чернобыле. Выход радиоактивности происходит не только во время взрыва, но и после него в течение нескольких дней, пока активная зона достаточно не остынет, и не затвердеет. Могут ли эти выбросы оказаться опаснее на реакторах PWR, BWR и CANDU, чем при Чернобыльской аварии? Краткий ответ — нет, потому что вода, в отличие от графита, не горит.

Для такого сравнения может и не быть очевидных оснований. Следует подчеркнуть, что я говорю здесь конкретно не об эвакуации, проведенной в течение нескольких дней после аварии, а о той, что была проведена недавно или предполагается в будущем.

«Затраты на дополнительные снижения выбросов имеют весьма линейный характер. Так, снижение выбросов SO_2 еще на 10 млн. т/год (до 10 % существующих выбросов) стоило бы значительно больше, чем «всего» 10–15 млрд. дол. США (1990 г.) в год. А «в добавок» к этому были бы еще и затраты на сокращение выбросов NO_x .

В Чернобыле при разгоне реактора на мгновенных нейтронах расплавилась и испарилась часть уранового топлива. Во время взрыва это газообразное топливо вошло в графит, и значительная часть его затвердела в виде микроскопических частиц. Наконец, при горении графита эти крупинки высокоактивного топлива были подняты в воздух и разнесены на огромные расстояния. Для сравнения давайте предположим, что при сходном разгоне реактора с тяжелой водой в качестве замедлителя топливо испаряется и реактор взрывается. Выше уже указывалось, что такой взрыв имел бы значительно меньшую мощность, чем в чернобыльском случае. Но самом деле трудно себе представить, каким образом топливо вообще могло бы испариться, так как вода испарилась бы значительно раньше, взорвав активную зону. Тем не менее, даже если бы топливо испарилось и затвердело в виде микроскопических частиц, не было бы графитового пожара, чтобы поднять его вверх. Предположим, водородный взрыв³ мог бы произойти после взрыва при разгоне на мгновенных нейтронах и поднять вверх часть топлива, но такой взрыв мог бы произойти и в графитовом реакторе (по-видимому, это случилось и в Чернобыле) вдобавок к горению графита.

Помимо всего этого энергетические реакторы PWR, BWR и CANDU окружены очень прочными защитными конструкциями. Таким образом, сочетание всех трех факторов — более слабого взрыва при разгоне на мгновенных нейтронах, отсутствия горения графита и наличия защитной оболочки — делает физически невозможным повторение на любом из существующих реакторов PWR, BWR и CANDU столь же серьезной аварии, как та, что произошла в Чернобыле. Следует подчеркнуть, что этот анализ не зависит от каких-либо предположений относительно сложных технических систем безопасности (за исключением выполняющей пассивную функцию защитной оболочки).

Этот короткий анализ вовсе не говорит о том, что никогда не будет аварии хуже Чернобыльской. Существует много различных путей создания реакторов. В быстрых реакторах, например, используются большие объемы легко воспламеняющегося жидкого натрия в качестве теплоносителя. Если бы в одном из этих реакторов по какой-либо причине произошел взрыв (при разгоне на мгновенных нейтронах) и при этом реактор не имел бы защитной оболочки или ее разорвало бы взрывом, последующий натриевый пожар был бы значительно сильнее пожара в графите, а распространение радиоактивности было бы намного больше, чем в чернобыльском случае. В связи с тем что в этих реакторах находится большое количество плутония, общее радиоактивное загрязнение было бы также значительно больше, чем при Чернобыльской аварии.

Проведенный качественный анализ позволяет также сделать вывод о том, что существующие промышленные реакторы типа PWR, BWR и CANDU обладают большой внутренней присущей безопасности (в основе которой лежит использование законов физики, а не технических средств), чем любые графитовые или быстрые натриевые реакторы. Короче говоря, по законам физики авария типа Чернобыльской (или тяжелее) невозможна в Пикеринге или Брусе на АЭС с тяжеловодными реакторами CANDU.

Что было причиной аварии?

В официальном советском докладе, представленном в МАГАТЭ в 1986 году, в качестве основных причин аварии назывались шесть нарушений правил эксплуатации. В то

* При высоких температурах (ближних к 1000 °C) вода окисляет цирконий и высвобождает водород; благодаря своим хорошим нейтронным свойствам цирконий широко используется в активных зонах большинства реакторов.

же самое время отмечалось и было признано, что особая конструкция стержней управления также способствовала возникновению аварии. Так, в Советском Союзе подразумевали, что в аварии виновны и конструкторы, и операторы.

В западных средствах информации роль конструктивных особенностей была практически забыта и вся вина возложена непосредственно на операторов. Их, как правило, клеймят за некомпетентность, недисциплинированность и безрассудство. Считается, что они были плохо подготовлены. Эти объяснения часто имеют политическую подоплеку. Нередко утверждают, что плохих операторов породило советское общество и что наши, западные, операторы лучше. Следовательно, такая авария не может произойти на Западе. Совершенно очевидно, что такого рода аргументация неубедительна.

В Советском Союзе также обычно считали, что главными виновниками являются операторы, хотя время от времени, например в мемуарах Легасова, недвусмысленно указывается, что более глубокие корни аварии скрыты в системе, а не только в операторах. По чернобыльскому делу представали перед судом, были признаны виновными и отправлены в тюрьму несколько руководителей станции. Сам суд был закрытым, и стенограммы его так и не были обнародованы. Поэтому мы не знаем, расследовалась ли на суде роль особенностей конструкции управляющих стержней в этой аварии. В конце концов руководители станции были признаны виновными и отправлены в тюрьму. Храбрые пожарные были удостоены медали. После трагедии, как это часто бывает, общество нашло своих и злодеев, и героев.

Полна ли эта история? По-видимому, нет.

Для правильного понимания причин столь сильного взрыва при разгоне на мгновенных нейтронах необходимо рассмотреть некоторые конструктивные особенности чернобыльского реактора. Активная зона реактора состоит из вертикальных графитовых колонн, в которых во время разгона проходят каналы с урановым топливом и трубы охлаждения под давлением. Охлаждающая вода поднимается снизу и выходит наверху. Непосредственно над активной зоной реактора размещается тяжелый экран биологической защиты, сквозь который проходят стержни управления и паропроводы под давлением. Над экраном биологической защиты находится пол реактора здания. Перегрузочная машина расположена в помещении над реактором. Она может загружать и выгружать урановое топливо при работе реактора на мощности. Боковые и нижние стены шахты реактора образуют очень прочную локальную защитную оболочку. Как сообщалось, эта защитная конструкция выдержала взрыв. Как будет показано ниже, цепная реакция произошла в нижней части активной зоны. Нейтронный поток и мощность возрастали там экспоненциально, также росла и температура топлива. Единственным способом остановить цепную реакцию было, разумеется, раздробление и (или) «гомогенизация» активной зоны*. При очень прочных боковых и нижних стенах шахты вся эта конструкция выглядела как огромная заряженная пушка. «Порох» в нижней части активной зоны воспламенился. Лежащая выше большая часть активной зоны, верхний экран биологической защиты и пол реакторного зала стали как бы гигантской пулевой, без выброса которой цепная реакция не могла бы остановиться. Энергия, необходимая для выброса «пули» (энергия сцепления реактора), очевидно, была очень велика. Поэтому мощность взрыва должна была быть еще большей. По данным Министерства энергетики США, температура

* Неоднородное размещение топлива и замедлителя, при котором куски топлива окружены замедлителем, обеспечивает лучший баланс нейтронов, чем при рассеянии топлива в замедлителе. Кроме того, реакторы конструируются так, чтобы топливные стержни находились в положении, обеспечивающем наилучший баланс нейтронов. Поэтому испарение топлива и/или расщепление реактора остановили бы реакцию.

(Окончание на стр. 46)

* Для такого сравнения может и не быть очевидных оснований. Следует подчеркнуть, что я говорю здесь конкретно не об эвакуации, проведенной в течение нескольких дней после аварии, а о той, что была проведена недавно или предполагается в будущем.

** Затраты на дополнительные снижения выбросов имеют весьма линейный характер. Так, снижение выбросов SO_2 еще на 10 млн. т/год (до 10 % существующих выбросов) стоило бы значительно больше, чем «всего» 10–15 млрд. дол. США (1990 г.) в год. А «в добавок» к этому были бы еще и затраты на сокращение выбросов NO_x .

Чернобыль: семь лет спустя

(Окончание. Начало на стр. 6)

уранового топлива в одной из областей активной зоны превышала 6000 К, а давление пара — 500 атм. В результате взрыва ~25 % графита и 3—4 процента топлива были выброшены из шахты.

В реакторах РБМК стержни управления (и аварийной защиты) имели весьма специфическую конструкцию.

Вследствие этой особенности конструкции при введении стержня из полностью извлеченного положения нижняя, заполненная водой часть его выводится из реактора и замещается находящимся выше графитовым вытеснителем. В то же время сверху в активную зону начинает входить борокарбидный поглотитель. В связи с тем что вода поглощает нейтроны лучше графита, при замещении ее графитом образуется не меньше, а больше нейтронов для деления атомов урана. Это означает, что стержни аварийной защиты в начале процесса быстрой остановки увеличивают положительную реактивность (!) в нижней части активной зоны и отрицательную реактивность — в верхней части активной зоны.

В советском докладе в Вене объясняется, что в результате ряда ошибок операторов реактор был введен в особо неустойчивый режим. Эта неустойчивость возникла как следствие изменения расходов воды и работы реактора на малой мощности, что увеличило положительный пустотный коэффициент*. Заметив, что мощность реактора стала нарастать со скоростью быстрее нормальной, операторы решили заглушить реактор. Поэтому была нажата кнопка аварийной защиты. 2—4 секунды спустя реактор взорвался. В докладе упоминалось о том, что указанная особенность конструкции стержней аварийной защиты могла способствовать разгону на мгновенных нейтронах с последующим взрывом, но в завершающей части было сказано: «Таким образом, первопричиной аварии было крайне невероятное сочетание нарушений инструкций и правил эксплуатации со стороны персонала блока». Как уже отмечалось, это объяснение было широко принято во всем мире. Однако накопились данные о том, что это не было единственной причиной.

Согласно расчетам, выполненным фирмой AECL в Канаде и институтом EPRI в США, особенности конструкции стержней управления сыграли очень важную роль в происшедшем после разгона взрыва. Более того, моделирование аварии показало, что если бы аварийная остановка была начата в 01.23.40 и этим действием была внесена лишь отрицательная реактивность, реактор 4-го чернобыльского блока был бы благополучно остановлен. Указанные расчеты дают достаточно полное объяснение аварии, но полученные результаты зависели от ряда предположений относительно состояния реактора (пространственной зависимости выгорания топлива, точного положения всех управляющих и поглощающих стержней и пр.) непосредственно перед взрывом, то есть существует некоторая неопределенность расчетов. Общий эффект заключается в суммарном приросте реактивности в нижней части активной зоны и уменьшении ее верхней части.

В результате конкретных событий с развитием мощности на 4-м чернобыльском блоке за предшествовавшие

24 часа и нескольких ошибок операторов распределение нейтронного потока приобрело ярко выраженную двугорбую форму, предположительно несколько напоминающую ту, что представлена сплошной линией. Когда оператор нажал аварийную кнопку, стержни пришли в движение, увеличив реактивность в нижней части, и реактор взорвался. Таким образом, ясно, что именно это движение аварийных стержней, а вовсе не неустойчивость расхода воды и кипение (то есть положительный пустотный коэффициент), является основной причиной того, что в реакторе была превышена критичность за счет мгновенных нейтронов и произошел взрыв. Несмотря на относительно большой положительный пустотный коэффициент при низком уровне мощности реактора, временная постоянная для обезвоживания была намного больше времени, необходимого для входления стержней в реактор. Таким образом, если бы стержни не имели эту особую конструкцию, несмотря на все ошибки операторов, аварии бы не произошло. С другой стороны, если бы операторы не совершили ошибок, несмотря на особенности стержней, аварии бы не было. Более того, если бы диспетчер не потребовал выдать электроэнергию и энергосистему еще в течение 12 часов, не появилось бы такого количества ксенона в центре активной зоны и не было распределения по двугорбой кривой. Возможно, не было бы и аварии, несмотря как на ошибки операторов, так и на особенности конструкции стержней.

Будет ли польза от попыток тщательно разобраться во всех этих причинах, приведших к аварии? Думаю, да. Основание же для этого я вижу не в том, что в результате тщательного расследования можно обнаружить истинного злодея — его может вообще не быть! Основание в том, что тем самым можно пролить свет на то, как работает человеческий ум или, точнее, как работает вместе группа умов, чтобы создать такой сложный технологический объект, как ядерный реактор, включенный в энергетическую сеть. Такое знание может оказаться полезным при проектировании не только будущих ядерных реакторов, но и любых других сложных технологических схем.

Когда Чернобыльская авария будет рассмотрена в перспективе технологического мира — мира, который должен получать электроэнергию, чтобы выжить и процветать, — то она предстанет совсем не в том свете, как ее изображали средства массовой информации. Это была тяжелая авария, но не худшая в мире, как ее часто называют. Авария показала, что атомная энергетика потенциально опасна, но также и то, что она не угрожает «выживанию человечества», как полагают некоторые.

Есть бесконечное множество путей проектирования ядерных реакторов. Чернобыльский и другие реакторы РБМК представляют собой первое поколение советских энергетических реакторов и были спроектированы «без запаса надежности». Как западные, так и советские реакторы типа PWR, BWR и CANDU имеют в корне более «надежную» конструкцию. Таким образом, вполне можно заявить, базируясь на законах физики, а не на сложных инженерных устройствах безопасности, что авария чернобыльского типа не может произойти на АЭС нового поколения.

Сделанные выше заявления не следует воспринимать как то, что авария типа чернобыльской или еще хуже, никогда больше не произойдет.

* Пустотный коэффициент является постоянной величиной, устанавливающей зависимость между долей пространства в трубах охлаждения, занимаемого пузырьками кипящей воды (пустоты), и мощностью реактора. Положительный коэффициент означает, что большая мощность дает больше пустот, которые поглощают меньше нейтронов. Меньшее поглощение нейтронов водой означает большее поглощение их топливом, то есть увеличение мощности, увеличение пустот.