

А. К. Калугин Сего~~дня~~шнее
понимание
аварии

АВАРИЯ на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС явилась одной из крупнейших катастроф современности. Не только из-за того, что погиб 31 человек и затрачены огромные средства, чтобы убрать основную часть радиоактивной «грязи» и закрыть разрушенный блок. Более 100 тыс. жителей пришлось переселить из зоны наибольшего заражения; на долгие годы выведены из хозяйственного оборота значительные земельные участки. Во всем мире возникло сомнение в надежности атомных станций. И хотя прошло уже больше 4 лет, продолжают с неослабевающей силой звучать вопросы: что же случилось в ночь на 26 апреля 1986 г.? Почему? И кто ответствен за это?

© Калугин А. К. Сего~~дня~~шнее понимание аварии.

Вопросы вполне закономерны, ведь любая авария — это суровый урок, осознав который до конца, можно намного уменьшить риск подобных аварий в будущем. Чтобы ответить на них, придется вспомнить, как формировались концепции нынешних реакторов.

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
РЕАКТОРОВ

Ядерный реактор — это установка, в которой может идти самоподдерживающаяся цепная реакция деления. Она происходит при поглощении нейтронов ядрами ^{235}U , одного из изотопов урана. При этом высвобождаются 2—3 нейтрона и выделяется большое количество тепла. Если число нейтронов,

Журнал "Прярсдо" № 11. 1990



Александр Константинович Калугин, кандидат физико-математических наук; начальник отдела Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные научные интересы связаны с физическими аспектами безопасности ядерных энергетических установок.

высвобождающихся при делении урана, в точности равно числу поглощающихся нейтронов (с учетом утечки за пределы реактора), количество тепла, выделяющееся в единицу времени, т. е. тепловая мощность реактора, постоянно. Изменяя интенсивность поглощения нейтронов, можно регулировать уровень мощности.

Первые реакторы создавались исключительно для военных целей — как мощные генераторы нейтронов, которые, поглощаясь в природном уране, дают плутоний для ядерного оружия, или компактные источники пара для вращения турбогенератора подводной лодки. Реакторы первого типа представляют собой огромные графитовые цилиндры, пронизанные трубами, содержащими урановое топливо в металлической оболочке. По трубам циркулирует жидкость или газ, охлаждающие топливные стержни. Если сначала тепло, выделяющееся в реакторе, никак не использовалось, то со временем часть его стали применять для производства пара и выработки электроэнергии (Колдер-Холл в Англии, Сибирская АЭС в СССР). По мере совершенствования конструкционных материалов удавалось получать все более высокие давление и температуру пара и повышать КПД установки. Так появились реакторы Белоярской АЭС, где температура пара достигала 450 °С, а позднее — реакторы РБМК, установленные, в частности, на Чернобыльской АЭС. Реакторы второго типа представляют собой толстостенный герметичный сосуд из нержавеющей стали, в который вода подается и из которого отводится по не-

¹ Иногда, как, например, в канадских реакторах CANDU, вместо графита используется тяжелая вода.

большому числу труб; поскольку корпус выдерживает высокое давление (более 100 атм), воду можно нагревать до температуры выше 300 °С. Нагретая вода поступает в парогенератор, где за счет своего тепла испаряет воду второго контура, подключенного к турбогенератору. Логическим развитием реактора этого типа стали корпусные реакторы (PWR, ВВЭР), получившие наиболее широкое развитие во всем мире.

Следует подчеркнуть, что от военного реактора до АЭС, как говорится, дистанция огромного размера. Если в первом случае затраты не имеют особого значения, то стоимость электроэнергии на атомной станции должна быть не выше, чем, скажем, на угольной, в противном случае она просто не нужна. Можно, конечно, манипулируя нашими не очень обоснованными ценами, доказывать, как это делают многие публицисты, принципиальную независимость атомной энергетики, которая якобы и существует только из-за амбициозности заправил отечественного военно-промышленного комплекса. Но предполагать нечто подобное, например, для Франции, производящей на АЭС более 70 % электроэнергии, по меньшей мере нелогично.

Именно по этой причине основные усилия атомщиков в 50—60-е годы были направлены на повышение экономичности атомных станций. А ведь далеко не очевидно, что реактор, идеально подходящий для производства plutония, окажется столь же хорошим на АЭС. Да и строгую дисциплину на военном предприятии поддерживать гораздо легче, чем на гражданском. Многолетний опыт безаварийной эксплуатации военных реакторов в СССР породил глубоко укоренившуюся философию: достаточно написать правильную инструкцию по управлению реактором — и безопасность обеспечена. Ведь само собой разумеется, что инструкцию обязательно выполнят. Оказалось, что далеко не разумеется. И первый важнейший урок Чернобыля: безопасность АЭС не может основываться на инструкциях. Если при заданных отклонениях какого-то параметра реактор необходимо «заглушить», это должно происходить автоматически, без вмешательства оператора. Более того, нужно принять меры, чтобы такая автоматическая защита не могла быть произвольно отключена.

Но после Чернобыля возникла совершенно новая философия безопасности. Теперь в концепции новых реакторов безопасность встраивается изначально. Техника, даже многократно дублированная, тоже может отказывать. Однако можно сконструировать

реактор так, чтобы если, например, в нем начала неуправляемо возрастать мощность, его внутренние свойства без вмешательства извне изменялись, приводя к затуханию реакции деления.

Второй важнейший концептуальный урок Чернобыля характерен, к сожалению, только для нашей страны, из него до сих пор не сделано надлежащих выводов.

Первый реактор в нашей стране был создан в фантастически короткие сроки, да еще в условиях послевоенной разрухи, и проработал без малого 40 лет. Это привело к опасному убеждению, что можно создавать большие атомные энергостановки без серьезного научно-технического обоснования. Во всем мире, например, принято отрабатывать новые реакторные концепции на небольших генераторах. Мы же сразу построили РБМК-1000 мощностью миллион киловатт! Все научные и опытно-конструкторские работы по созданию корпусного реактора ВВЭР-1000 обошлись в несколько десятков миллионов рублей. Для сравнения приведем только одну цифру: комиссия США по ядерному регулированию тратит на научные исследования по повышению безопасности реакторов около 500 млн долл. ежегодно.

После Чернобыля была сформулирована широкая программа исследований по безопасности АЭС, выполнение которой позволило бы существенно уменьшить последствия даже очень маловероятных аварий и практически исключить риск для населения, проживающего вне санитарно-защитных зон АЭС. Был подготовлен проект постановления правительства, требующий согласования 50 (!) министерств и ведомств. Материалы уже два года безрезультатно блуждают по многочисленным кабинетам.

Таким образом, опыт развития атомной энергетики позволяет сделать два основных вывода: во-первых, безопасность АЭС должна базироваться не только на инструкциях, но и на технических средствах, а еще лучше — на внутренних свойствах реактора; во-вторых, безопасность стоит денег.

КОНТРОЛЬ ЗА БЕЗОПАСНОСТЬЮ АЭС

Особое значение контроля за безопасностью различных сооружений и установок было осознано давно. В старое доброе время, когда испытывался на прочность вновь построенный мост, его нагружали трехкратной нагрузкой, а инженер — автор проекта и руководитель строительства стояли под мостом во время испытаний. Подход простой и убедительный, хотя неоднократно бывали случаи, когда впоследствии мосты обруши-

вались при ураганном ветре или землетрясении.

Представим себе, что разработан проект атомной станции. Его обязательной частью является специальный документ — «Техническое обоснование безопасности» (ТОБ), где показано, что ни одно из рассмотренных событий (например, разрыв трубы метрового диаметра, подающей воду в половину каналов реактора, сваливший с отказом любой из систем безопасности, а также с выходом из строя всех источников электроснабжения²) не приведет к недопустимому выбросу активности. Этот документ поступает на рассмотрение в Государственный комитет по надзору за безопасностью ведения работ в атомной энергетике и промышленности (ГАЭН³), и пока он не получит одобрения, строительство АЭС не начинается. ТОБ прежде всего проверяется с формальной стороны: все ли ситуации рассмотрены, учтены ли требуемые нормами наложение событий и, главное, что получается в результате рассмотрения. Но как все-таки убедиться, что все рассчитано правильно? Не устраивать же на реакторе настоящую аварию, да еще (по аналогии с мостом) посадив за пульт управления генерального конструктора!

На самом деле все аварии моделируются по частям. В одном эксперименте моделируется разрыв трубы и измеряют, как быстро из канала уйдет вода, в другом проверяют, как при этом меняется мощность реактора, и с какой скоростью срабатывает аварийная защита, в третьем — как ведет себя топливо при перегреве и сколько из него выходит радиоактивных газов, в четвертом — насколько надежно радиоактивный пар конденсируется в специальных герметичных емкостях. Для каждого звена создается расчетная модель, которая должна правильно описывать совокупность экспериментов, а потом все они объединяются в надежно проверенную расчетную модель станции в целом. Правильностьстыковки расчетов и экспериментов на каждом этапе и модели в целом оценивают сотрудники научно-технического центра ГАЭН (т. е. специалисты, а не чиновники) с привлечением независимых

² Современные нормы безопасности АЭС требуют рассматривать именно такое наложение событий. Для РБМК анализируется около 50 различных нарушений нормальной работы.

³ Летом прошлого года ГАЭН объединен с аналогичным комитетом по надзору за безопасностью в других отраслях промышленности. На этот раз наши парламентарии явно перестарались в стремлении сократить количество чиновников. Во всем мире атомную промышленность — в силу специфики — контролируют специальные организации.

экспертов, в том числе зарубежных, как это делалось для Горьковской АСТ. Эксперименты, конечно, стоят больших денег, но это как раз тот случай, когда экономить нельзя.

Но это еще не все. Пусть все 50 нештатных ситуаций рассмотрены и расчеты признаны правильными. Ни в одной из них топливо не расплавилось. Хорошо, говорят вам, а если оно все-таки расплавится? Это (у нас в стране) уже послечернобыльский подход. И нужно доказать, что и в этом случае население не пострадает. А для этого требуются еще более дорогостоящие эксперименты⁴. Но зарубежный опыт показывает, что поставленная цель вполне достижима.

Весь описанный выше подход сформировался, к сожалению, только после Чернобыля — в 1986 г. ГАЭНу было всего два года. И к тому же подчинялся этот комитет заместителю Председателя Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу, т. е. лицу, ответственному в то же время за обеспечение страны электроэнергией. И бывали случаи, когда стремление выполнить план любой ценой оттесняло на задний план вопросы безопасности. Сейчас ГАЭН входит в Бюро Совета Министров СССР по чрезвычайным ситуациям.

И последнее: авария на Чернобыльской АЭС произошла во время эксперимента. Вообще говоря, использование АЭС для проведения экспериментов весьма желательно — как уже говорилось, экспериментальные установки очень дороги. Но при одном обязательном условии: любой эксперимент — тоже нештатная ситуация, поэтому его безопасность должна быть обоснована точно так же, как для других ситуаций, и теми же людьми, которые участвовали в проектировании АЭС. За этим должны следить инспекторы ГАЭНа, которые работают на каждой атомной станции. Кроме того, на АЭС должен быть специалист по безопасности реактора, имеющий право запретить выполнение любой операции, если считает ее потенциально опасной. Такой человек есть — заместитель главного инженера по науке и ядерной безопасности, т. е. руководитель достаточно высокого ранга.

Таким образом, в отношении контроля за безопасностью из чернобыльской аварии извлечены достаточно серьезные уроки.

РЕАКТОРЫ РБМК

Прежде чем обсуждать развитие событий при аварии, необходимо немного

⁴ Именно эти исследования предусмотрены в неутвержденной программе, о которой говорилось выше.

подробнее ознакомиться с особенностями реакторов РБМК.

Графитовая кладка этих реакторов сложена из кирпичей размером 25×25×60 см. В центре каждого кирпича имеется отверстие для циркониевого канала. Всего в реакторе 1884 канала, из которых 1661 содержит по 2 топливные сборки из 18 стержней (твэлов) каждая, а остальные предназначены для стержней управления и защиты и измерительных устройств.

В топливные каналы снизу мощными центробежными насосами подается вода с температурой 270 °С и давлением 70 атм. Омывая твэлы, вода частично испаряется, и пароводяная смесь из каждого канала поступает в барабаны-сепараторы диаметром более 2 м и длиной около 30 м. Там пар отделяется от воды и по паропроводам идет к двум турбинам мощностью по 500 МВт. Вода из сепаратора смешивается с конденсатом пара, прошедшего через турбину, и возвращается в реактор.

Однако, если посмотреть на тепловую схему станции, которая обычно висит на стене БЩУ (блочный щит управления — так называется помещение, откуда управляют основными агрегатами АЭС), на площади в несколько квадратных метров вы увидите огромное количество труб, вентилей, клапанов, насосов, среди которых реактор представляется небольшим (несколько сантиметров) квадратиком. Элементы арматуры, измерительные приборы, кабели исчисляются многими тысячами. Большая часть работников АЭС занята обслуживанием этого тепломеханического оборудования и понятия не имеет о том, что такое «реактор». Это еще не беда. Но когда директор и главный инженер АЭС (как правило, выходцы с тепловых станций) начинают относиться к реактору пропорционально его размеру на тепловой схеме, это уже опасно. И совсем скверно, когда представители энергетических институтов и руководители энергетической промышленности начинают рассуждать, что реактор, в сущности, ничем не отличается от обычного парового котла. На самом деле очень даже отличается: Стоит прекратить подачу топлива в котел, как он погаснет. Ядерного же топлива хватает на три года, и не дай Бог ему сгореть быстрее — произойдет взрыв.

Чтобы этого не случилось, на реакторе имеется система управления и защиты. Как только мощность реактора самопроизвольно

⁵ Странно, но на АЭС с корпусными реакторами, где оборудования гораздо меньше, персонала столько же — 1000—1200 чел. на блок мощностью 1 ГВт.

повышается всего на 10 %, регулирующие стержни под действием собственного веса падают в реактор, а поскольку они сделаны из карбида бора, сильно поглощающего нейтроны, реакция деления сразу же прекращается. То же происходит при возникновении других аварийных ситуаций. В менее опасных случаях (например, отключился один насос из шести) стержни вводятся в реактор частично, уменьшая его мощность до безопасного уровня. Но почему может возрасти мощность и как быстро стержни заглушат реактор? На эти и многие другие вопросы и дает ответ техническое обоснование безопасности.

Для понимания существа чернобыльской аварии достаточно ограничиться двумя поставленными вопросами. Итак, почему может увеличиться мощность? Только если нейтронов поглощается меньше, чем рождается. Скажем, извлекли из реактора поглощающий стержень — и через 10 с мощность возрастает на 10 %, так что сработает аварийная защита. Или сломался насос, подающий холодный конденсат после турбины. В реактор начинает поступать вода уже с температурой 280 °С, и в каналах с топливом становится больше пара и меньше воды. Но вода тоже поглощает нейтроны, хотя, с другой стороны, экранирует от них не только ^{235}U , но и (что даже более важно) ^{238}U , не делающий тепловыми нейtronами изотоп урана, из которого на 98 % состоит топливо. Результирующий эффект сложным образом зависит от соотношения масс и распределения различных материалов в реакторе.

Если при увеличении количества пара в реакторе поглощение нейтронов уменьшается и мощность растет, говорят, что паровой эффект положителен. Это, вообще говоря, характеризует конструкцию не лучшим образом. Ведь если, как в нашем примере, количество пара увеличилось из-за повышения входной температуры, мощность возрастет, и количество пара еще более увеличится... Стержни из карбида бора нужно будет достаточно быстро ввести в активную зону, чтобы стабилизировать реакцию.

В требованиях к безопасности АЭС, действовавших в 1986 г., было сказано: «...паровой эффект, как правило, должен быть отрицательным, в противном случае должно быть обосновано в проекте, что это не опасно». В РБМК паровой эффект положителен, и его безопасность была обоснована. Но, как оказалось, плохо. И потому приходится вернуться к вопросу о быстродействии системы аварийной защиты.

Поглощающие стержни в РБМК выполняют функцию не только аварийной защиты, но и регулирования (изменения скорости выделения энергии во всем реакторе или отдельных его частях). Ясно, что для блока мощностью 1 ГВт недопустимы резкие регулирующие воздействия. Поэтому скорость перемещения стержней была выбрана небольшой — 40 см/с, т. е. для полного извлечения или погружения стержня в реактор требовалось 18 с. Но как тогда выполнять функции защиты? Можно было для этого выделить специальную группу стержней с высокой скоростью ввода (так, кстати, и сделано после аварии). Однако сначала разработчики предпочли другой путь решения проблемы. В РБМК более 200 поглощающих стержней. Если все они по аварийному сигналу вводятся в реактор и если хотя бы несколько десятков стержней начинают свое движение не с самого верха, а из промежуточного положения, реакция прекращается достаточно быстро⁶.

Однако если все стержни вводятся в реактор из верхнего положения со скоростью 40 см/с, в первые несколько секунд мощность практически не меняется. Ясно, что такая защита никуда не годится. Именно поэтому в эксплуатационной инструкции было недвусмысленное указание, что если число стержней, опущенных внутрь реактора, меньше определенной величины, он должен быть немедленно загашен. Яркий пример обеспечения безопасности при помощи инструкций.

На эти обстоятельства наложилась серьезная недоработка в конструкции стержня. Дело в том, что поглощающие стержни тоже надо охлаждать. Когда стержень извлечен, в канале остается вода, которая как уже говорилось, также поглощает нейтроны. Это увеличивает расход топлива и снижает экономичность АЭС. Поэтому под поглощающим стержнем подведен графитовый цилиндр, вытесняющий лишнюю воду. При погружении поглощающего стержня вытеснитель опускается под реактор. А там хватало места, чтобы разместить вытеснитель длиной не более 4,5 м. При верхнем положении стержня вытеснитель оказывался в центральной части реактора, а вверху и внизу оставались столбы воды высотой около 1 м. Когда такая конструкция начинает перемещаться вниз из крайнего положения, в верхнюю часть реактора вводится сильный поглотитель (карбид бора), а снизу выводится слабый поглотитель (вода). В очень редких си-

⁶ Начальное положение стержней важно, поскольку они гасят цепную реакцию, поглощая нейтроны, а у верхней границы реактора этих частиц мало.

туациях, когда по какой-то причине большинство нейтронов оказывается в нижней части реактора, ввод всех стержней из крайнего верхнего положения в первые 3 с может привести к уменьшению поглощения нейтронов и росту мощности.

Это обстоятельство было хорошо известно создателям реактора РБМК. Велись, хотя и недостаточно интенсивно, работы по исправлению такого конструктивного дефекта. И опять же была непоколебимая вера во всемогущество инструкции (при наличии в реакторе регламентного количества стержней срабатывание аварийной защиты не приводит к росту мощности).

Таким образом, в конструкции РБМК было по меньшей мере два слабых места: положительный паровой эффект и аварийная защита, которая при нарушении эксплуатационных инструкций глушала реактор недостаточно быстро, а в ряде случаев могла даже кратковременно повысить его мощность.

26 АПРЕЛЯ 1986 Г.

25 апреля 1986 г. 4-й блок Чернобыльской АЭС должен был остановиться на плановый ремонт. Перед остановкой предполагалось провести эксперимент по проверке одной из систем безопасности.

Выше уже говорилось, что при авариях предполагается отключение внешних источников электроэнергии. Поэтому на АЭС имеются автономные дизель-генераторы, запускающиеся через 15 с после остановки реактора. Если в течение этого времени насосы, охлаждающие реактор, смогут питаться от генераторов АЭС за счет инерции вращения массивного ротора турбины, все в порядке. Это и предстояло проверить.

Но ведь блок к этому времени проработал уже три года с непроверенной системой безопасности. Как же так? Видимо, некогда было проверить во время пуска (план прежде всего). Дескать, две системы из трех проверили — и то хорошо, ведь они рассчитаны на очень маловероятный случай. Между прочим, если бы эксперимент даже со всеми нарушениями проводился при пуске, аварии бы не было — в это время у РБМК паровой эффект отрицателен.

Программа эксперимента не была согласована не только ни с одной из организаций, проектировавших АЭС, но даже с заместителем главного инженера по науке. Видимо, главный инженер, утвердивший ее, решил, что раз речь идет о турбине — нечего беспокоить реакторщиков. Но на самом деле по программе к турбогенератору

следовало подключить 4 из 8 насосов, подающих воду для охлаждения реактора, и это не могло не сказаться на его работе (для выполнения эксперимента можно было подключить любые другие, менее ответственные агрегаты).

Но и эта программа была выполнена неточно: вместо запланированных 40 % мощности реактор работал на мощности около 6 % от номинальной, причем через два часа после начала снижения мощности, а это неминуемо привело к необходимости извлечь из реактора практически все поглощающие стержни⁷. Если бы реактор заглушили, когда количество стержней в нем стало меньше минимально допустимого, аварии не случилось бы. Но эксперимент продолжался.

Внимательный читатель, наверное, обратил внимание на множество «если бы». Это и называется «наложением ряда маловероятных ситуаций» — практически все крупные аварии происходят в результате таких наложений.

В 1 час. 23 мин. 04 сек. 26 апреля были закрыты клапаны, отсекающие паропровод от турбины, и она начала медленно сбавливать обороты. В такой ситуации реактор должен был автоматически заглушиться. Но соответствующая защита была отключена. Зачем? Эксперимент этого не требовал. Единственное предположение — проводившие эксперимент хотели сохранить возможность повторить его еще раз. Так же непонятно, почему через 36 с была нажата кнопка аварийной защиты (при этом все поглощающие стержни вводятся в реактор). То ли убедились в том, что генератор дает ток, то ли что-то уже было не так. Неизвестно. Но через несколько секунд после нажатия кнопки здание блока сильно тряхнуло, погас свет, зажглось аварийное освещение, и тут же последовал мощный взрыв, а поглощающие стержни остановились, не дойдя до нижнего положения.

ПРИЧИНЫ АВАРИИ

27 апреля 1986 г. автор, работавший в то время начальником отдела РБМК в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова, вместе с группой специалистов ИАЭ и НИКИЭТ (Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники, главный конструктор РБМК) вылетел на место аварии.

28 апреля группа прибыла на АЭС, где в подвальном помещении администра-

⁷ При уменьшении мощности реактора в нем начинают накапливаться сильно поглощающие нейтроны продукты деления урана, и для компенсации этого стержни приходится извлекать.

тивного корпуса находились документы с 4-го энергоблока: журналы с записью про-исходивших событий, ленты самописцев, регистрирующих мощность реактора, давление и расход охлаждающей воды. И самый драгоценный материал: данные системы автоматической регистрации почти всех параметров энергоблока, записанные с интервалом 1—2 с.

Из этих данных следовало, что через 3 с после нажатия кнопки аварийной защиты мощность реактора не только не уменьшилась, но возросла в 2,6 раза; еще через 2 с поток воды через реактор упал вдвое, а давление подскочило с 65 до 85 атм; еще через 2 с расход воды восстановился, но повысилось давление в герметичном кожухе, окружающем графитовую кладку, что свидетельствовало о разрыве труб, содержащих топливо; дальнейшие показания говорили только о том, что вся система контроля вышла из строя.

Такое резкое увеличение давления, приведшее к разрыву труб и выбросу верхней защитной плиты весом 2000 т, могло произойти только в случае, если за несколько секунд мощность реактора выросла в сотни раз. Это можно было объяснить положительным паровым эффектом при бездействующей аварийной защите. Было понятно, почему не сработала защита: в момент нажатия кнопки практически все стержни находились в крайнем верхнем положении.

Оставалось неясным, почему начала расти мощность, и казалось, что это как-то связано с проводившимся экспериментом: когда он начался, 4 из 8 работавших насосов, питавшиеся от турбогенератора, стали постепенно снижать обороты. Это должно было привести к небольшому увеличению количества пара в реакторе, но такое возмущение, в принципе, подавляется по командам автоматического регулирования погружением тех немногих стержней, которые в реакторе находились.

Требовалось найти более сильное возмущение, и в качестве первой версии предположили, что при проведении эксперимента началась кавитация в насосах. Это явление возникает, когда температура воды на входе в насос равна температуре кипения при соответствующем давлении. Тогда за счет быстрого движения давление в насосной камере падает и вода начинает кипеть. При этом в реактор подается смесь воды и пара, срабатывает положительный паровой эффект, а значит, может начаться разгон. Так как работа шла, так сказать, в полевых условиях, это, конечно, были грубые оценки. 9 мая группа вернулась в Москву, где к рабо-

те подключились три независимых коллектива, использующие мощные ЭВМ.

За неделю удалось уточнить величину парового эффекта, выяснить, как его можно снизить и сделать отрицательным. Детально проанализировали изменение мощности при вводе стержней. Оказалось, что при этом нельзя исключить некоторый рост мощности. Во всяком случае стало ясно, что эксплуатировать реакторы РБМК без исключения этих двух дефектов невозможно. В кратчайший срок были предложены простые способы их устранения: поставить в каждый реактор по 80 поглотителей, что снижает паровой эффект до безопасной величины; удлинить на метр штангу, соединяющую поглощающие стержни и графитовые вытеснители, так что последние теперь располагаются у нижней границы реактора и воды под ними нет. И одновременно началось внедрение той самой всесторонней системы контроля безопасности, о которой уже говорилось.

Все это привело к 20 %-ному увеличению расхода ядерного топлива на 1 кВт·ч электроэнергии, но возможность повторения аварии даже при нарушении инструкций была надежно исключена.

КОНФЕРЕНЦИЯ МАГАТЭ И РАБОЧАЯ ВСТРЕЧА В ДАГОМЫСЕ

К августу 1986 г. был подготовлен материал для конференции МАГАТЭ под названием «Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия». Конференция проходила в Вене с 25 по 29 сентября 1986 г. Несколько сот зарубежных специалистов, многочисленные журналисты были потрясены объемом представленной информации, а главное — открытостью обсуждения. Советским специалистам приходилось отвечать на десятки вопросов, и на каждый в меру нашего понимания давался откровенный ответ. Академик В. А. Легасов — глава советской делегации — стал одним из 10 популярнейших в мире людей. Если бы знали, чего это ему стоило!

Много писалось о преступниках-ученых, скрывших от народа правду об аварии. Но до 1985 г. действовал принцип «при социализме аварий не бывает», и данные обо всех авариях считались секретными. Когда материал для МАГАТЭ готовился к открытому опубликованию, один из высокопоставленных чиновников написал: «Документ содержит совершенно секретные сведения. Считаю, что авторов следует привлечь к партийной и уголовной ответственности за разглашение государственной тайны».

Пришлось решать вопрос на уровне Н. И. Рыжкова. Перед отъездом в Вену члены советской делегации получили четкие инструкции: с иностранцами не общаться, ни на один вопрос не отвечать, говорить слово в слово то, что написано в подготовленном материале. Только благодаря решительной позиции В. А. Легасова (видимо, подкрепленной соответствующими полномочиями) удалось отойти от этой схемы.

Специальная комиссия Экспертов МАГАТЭ подтвердила правильность основных выводов доклада о причинах аварии и мерах повышения безопасности реакторов РБМК.

Анализ причин аварии, приведенный в Венском докладе 1986 г., был по необходимости выполнен на очень грубой модели. Хотя он и давал ответ на вопрос, что надо в первую очередь сделать, чтобы исключить подобные аварии в будущем, оставались неясными многие важные детали: в какой части реактора началось плавление топлива, почему произошел второй взрыв и т. д. На эти и многие другие вопросы может дать ответ только подробная модель. Такая модель РБМК была создана и сейчас проходит апробацию. Плохо изучена вторая фаза аварии (то, что произошло после взрыва), а это очень важно для понимания механизмов выхода радиоактивных продуктов из топлива при авариях, их переноса в окружающей среде.

За прошедшие годы во многих странах (США, Канада, Англия, Япония) проведен самостоятельный анализ чернобыльской аварии. Интересно, что ряд зарубежных специалистов не исключает, что кавитация в насосах могла оказать определенное негативное влияние в первой фазе аварии, хотя мы в последнее время отошли от этой версии.

Два года назад было решено провести серию международных рабочих встреч (достаточно узких совещаний нескольких десятков специалистов) для углубленного анализа крупнейших аварий на АЭС, в частности

в Уиндскэйле (Англия, 1957 г.), на АЭС «Три Майл Айленд» (США, 1979 г.) и в Чернобыле.

Первая такая встреча по анализу чернобыльской аварии прошла в Дагомысе в конце октября 1989 г. В ней участвовали 80 советских и зарубежных специалистов, которые разделились на 5 рабочих групп, рассматривавших разные аспекты аварии и ее последствий. Ученые обменялись сведениями по анализу аварии, придилично обсудили меры по повышению безопасности РБМК. Зарубежные коллеги подтвердили эффективность принятых мер и дали ряд ценных рекомендаций. Были также рассмотрены новейшие данные по радиоактивной загрязненности территории СССР и других стран, методы ее измерений и медико-биологические последствия аварии.

Материалы совещания готовятся к печати.

КТО ВИНОВАТ?

Думается, изложенное выше в какой-то степени подсказывает общий ответ на этот традиционный вопрос. Сложнее ответить, кто виноват, конкретно. Вспоминаются многочисленные постановления 70—80-х годов, посвященные развитию атомной энергетики. Все они как две капли воды похожи друг на друга: вначале отмечается, что предыдущее постановление не выполнено, строго предупреждаются руководители ведомств, ответственных за его выполнение, а потом следует изумительная по изощренности фраза: «Возложить персональную ответственность за безопасность атомных станций на...» — и далее перечисляются два десятка руководителей тех же ведомств, которые только что предупреждались.

За последние 4 года неоднократно предпринимались попытки персонифицировать ответственность в сфере безопасности АЭС, но дело не доведено до конца. И это еще один урок Чернобыля, который требует скорейшего решения.